

PERUBAHAN MORFOLOGI DAN KIMIA BATUAN PEMBAWA FOSFAT AKIBAT PELINDIAN DENGAN *ASPERGILLUS NIGER*

TATANG WAHYUDI

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara,
Jl. Jend. Sudirman 623 Bndung, Tlp. 022-6030483

Naskah masuk : 06 Januari 2008, revisi pertama : 13 Juni 2008, revisi kedua : 20 September 2008,
revisi terakhir : Januari 2009

ABSTRACT

Bioleaching, utilizing oxalic acid medium generated by the phosphorous oxidizing capabilities of *Aspergillus niger* in 10 days, has proved to be useful in releasing phosphorous from its rocks. In terms of evaluating process performance, microscopic and chemical studies were conducted to bioleaching. The results show several features occur during the process. Porosity and permeability developments on the surface of dahlite and calcite during bioleaching process imply that the process is effective to leach such minerals. Both are competent agents for leaching solution to contact with the required elements available within the minerals. The detected pits on the mineral surface reflect solution activity when leached the materials.

Keywords: phosphate-bearing rocks, dahlite, calcite, microscopic feature, bioleaching, oxalic acid

SARI

Pelindian dengan mikroorganisme (*bioleaching*) menggunakan kapang *Aspergillus niger* selama 10 hari terhadap batuan pembawa fosfat Cijulang menyisakan ampas pelindian yang menarik untuk dikaji. Analisis kimia dan mikroskopik terhadap percontoh ampas pelindian tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi percobaan tertentu, metode tersebut efektif untuk mengolah fosfat. Fitur mikroskopi yang terdeteksi pada mineral dahlit dan kalsit adalah berkembangnya porositas dan permeabilitas yang terbentuk selama proses pelindian. Kedua hal ini merupakan sarana efektif bagi larutan pelindi untuk kontak dengan permukaan batuan fosfat, meningkatkan kelarutan matriks material dan memperbesar jalan bagi larutan meresap ke bagian tubuh mineral. Fitur terdeteksi lainnya berupa alur-alur pada permukaan mineral yang merupakan refleksi aktivitas larutan pelindi ketika 'memakan' komponen yang terkandung dalam material terlindi.

Kata kunci: batuan pembawa fosfat, dahlit, kalsit, fitur mikroskopi, *bioleaching*, asam oksalat

1. PENDAHULUAN

Endapan fosfat alam Indonesia kadarnya bervariasi, tetapi pada umumnya mempunyai kadar rendah. Fosfat berkadar tinggi memang ada, hanya sebarannya bersifat sporadis dan cadangannya kecil. Salah satu

endapan fosfat berkadar rendah berada di Cijulang, Ciamis-Jawa Barat ($\pm 14\%$ kadar P_2O_5). Banyak pakar yang telah mencoba untuk meningkatkan kadar fosfat dari daerah ini dengan berbagai cara pengolahan, baik secara fisika maupun kimia. Pengolahan secara fisika melalui peremukan (*crush-*

ing), pencampuran (*blending*), pengeringan (*drying*) dan penggerusan (*grinding*) telah dilakukan oleh Tim Bimbingan Pertambangan Fosfat dari Pusat Pengembangan Teknologi Mineral pada 1984. Hasilnya memang belum bisa memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan oleh industri yaitu 36% kadar P_2O_5 (Ardha dkk.1991) juga telah melakukan serangkaian proses untuk meningkatkan kadar fosfat melalui pencucian, flotasi, kalsinasi dan pemisahan secara magnetik dan mampu meningkatkan kadar fosfat sampai 30% . Pengolahan secara kimia juga telah dilakukan melalui proses pelarutan HCl tersirkulasi walaupun hasilnya hanya mampu meningkatkan kadar fosfat dari 17, 29 menjadi 23,79% dengan perolehan 70,18% (Ardha, 1997). Kendala yang dihadapi dalam mengolah fosfat dengan cara-cara di atas adalah mahal biaya pengolahan dan belum dapat diturunkannya material pengotor dalam jumlah signifikan.

Salah satu pengolahan alternatif untuk meningkatkan kadar fosfat adalah pelindian dengan jasad renik (*micro organism*) tertentu (kapang atau bakteri) seperti *Aspergillus niger*, *Thiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans*, *Thiobacillus thiooxidans* dan lain-lain (<http://www.moonminer.com/bioleaching.html>). Batuan fosfat Cijulang diolah dengan proses tersebut pada skala laboratorium dengan memanfaatkan kapang *Aspergillus niger* dengan waktu pemrosesan selama 10 hari. Dalam proses ini, kapang mengeluarkan asam oksalat sebagai hasil samping proses fermentasi asam sitrat yang berperan dalam proses pelindian.

Limbah pelindian berupa ampas padat menarik untuk dikaji. Melalui pengujian difraksi sinar-x (XRD), mikroskop optik dan SEM-EDX dapat diperoleh informasi mineralogi mengenai fasa, tekstur dan struktur mikro yang terdapat dalam limbah padat tersebut. Interpretasi terhadap informasi tersebut yang dipadu dengan pengujian kimia diharapkan dapat mengungkap kinerja proses *bioleaching*. Maksud penelitian ini adalah mengevaluasi kenampakan tekstur dan struktur mikro yang terdapat pada percontoh ampas hasil *bioleaching*. Tujuannya untuk mengetahui efek proses tersebut terhadap batuan fosfat yang dilindi.

2. BAHAN DAN METODE

Percontoh batuan fosfat untuk keperluan penelitian ini diperoleh dari daerah Cijulang yang dikenal berkadar rendah. Hasil pemercontohan kemudian dikering-ovenkan untuk kemudian difraksinasi di

Laboratorium Preparasi. Ukuran partikel yang diambil untuk keperluan penelitian adalah -140 + 200 dan -200 mesh contoh awal. Pada tahap awal, percontoh diuji komposisi kimianya dengan metode kimia basah di Laboratorium Pengujian Kimia. Selanjutnya untuk mengetahui komposisi mineral *head sample*, dilakukan pengujian dengan teknik difraksi sinar-x (XRD) menggunakan alat difraktometer sinar-x Shimadzu XRD-7000. Dalam hal ini, batuan fosfat yang sudah digerus halus dianalisis menggunakan radiasi Cu-K α . Informasi mengenai fasa serta struktur mikro yang terdapat dalam percontoh *head sample* juga diperoleh melalui analisis mikroskop polarisasi yang dilengkapi dengan pengujian SEM-EDX untuk mengetahui komposisi unsur-unsur yang terdapat pada permukaan percontoh spesimen.

Penelitian perubahan morfologi dan kimia batuan pembawa fosfat akibat pelindian dengan kapang menggunakan ampas hasil pelindian dengan kode percontoh A1, A2, A3, B1, B2 dan B3. Kode A dan B menunjukkan ukuran fraksi umpan pelindian masing-masing -140 + 200 mesh untuk A dan -200 mesh untuk B. Angka 1, 2 dan 3 di depan huruf A dan B mengacu kepada persen padatan yang digunakan pada saat pelindian yaitu 5, 10 dan 20%. Kepada percontoh tersebut dilakukan pengujian mikroskop polarisasi dan kimia untuk mengetahui perkembangan yang terjadi setelah batuan tersebut dilindi dengan kapang selama 10 hari.

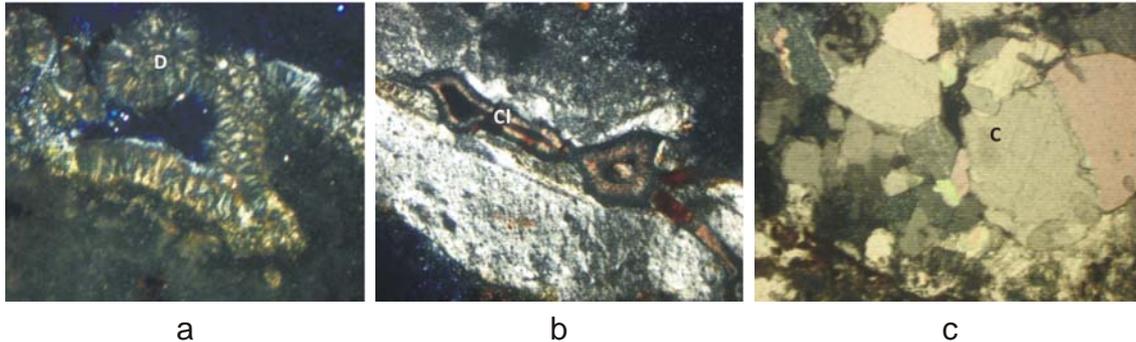
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Bahan Baku (*Head Sample*)

Analisis unsur-unsur dan mineralogi percontoh batuan fosfat menunjukkan hadirnya mineral fosfat yang tergolong ke dalam hidroksilapatit. Mineral tersebut adalah dahlit yang mempunyai formula $Ca_5(PO_4,CO_3)_3$ dan kolofan – sejenis apatit dengan formula empiris $Ca_5(PO_4)_{2.5}(CO_3)_{0.5}F$ dalam jumlah yang relatif lebih sedikit dibandingkan dahlit. Keberadaan dahlit dan kolofan diduga akibat pengayaan batugamping oleh kotoran burung (guano) dan air laut (<http://en.wikipedia.org/wiki/Phosphate>). Dahlit memperlihatkan struktur menyerat dan perawakan radial sedangkan kolofan menunjukkan struktur rekahan. Ditinjau dari segi pengolahan mineral, kondisi ini menguntungkan karena memudahkan larutan pelindi untuk meresap ke bagian-bagian tertentu tubuh mineral, sehingga unsur-unsur tertentu yang diinginkan akan mudah dilepaskan. Namun, kesulitan peningkatan kadar fosfat disebabkan oleh ikut terlindinya unsur-unsur pengotor. Selain kedua

mineral fosfat di atas, percontoh batuan fosfat juga disusun oleh kalsit (CaCO_3), kuarsa (SiO_2), mineral opak (*opaque*) dan fragmen batuan. Mineral opak kemungkinannya berupa magnetit atau hematit hasil pelapukan mineral induknya yang berasal dari fragmen batuan. Informasi mineralogi di atas diperoleh dari pengujian dengan mikroskop optik. Gambar 1 memperlihatkan sebagian komposisi mineral percontoh batuan fosfat *head sample*.

Belerang yang terdeteksi dapat berasal dari material sulfid atau sulfat seperti mineral gipsum atau $\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$. Mineral tersebut memang tidak terdeteksi pada batuan yang dijadikan spesimen pengujian mikroskop optik atau SEM, tetapi indikasi ke arah itu ada, mengingat batuan fosfat Cijulang terdapat di area yang berbatasan dengan laut. Pada 3,5% salinitas air laut, unsur-unsur belerang dan kalsium masing-masing berkadar 904 dan 411 ppm.



Gambar 1. Tiga mineral utama yang terdapat dalam percontoh batuan fosfat Cijulang; ; a - dahlit (D), b - kolofane (Cl) dan c - kalsit (C)

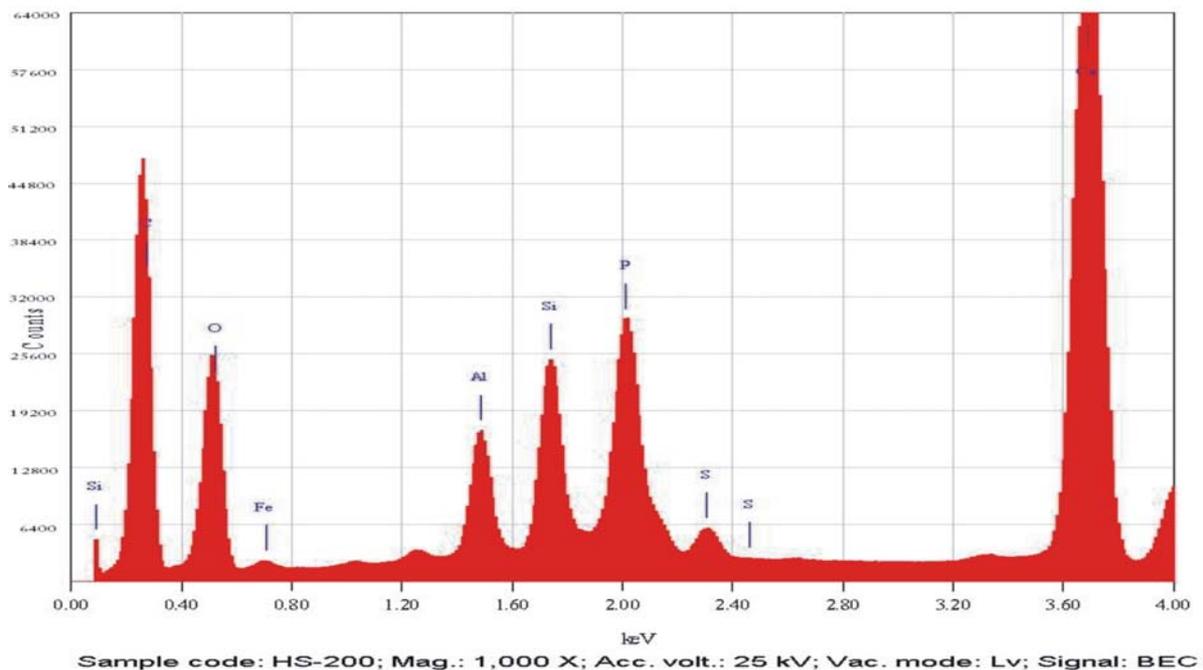
Pengujian unsur-unsur yang terdapat pada permukaan sayatan poles percontoh batuan fosfat Cijulang dilakukan dengan SEM-EDX. Metode pengujiannya adalah pemetaan secara sinar-x. Hasil analisis menunjukkan adanya unsur fosfor (P), kalsium (Ca), karbon (C), aluminium (Al), besi (Fe), silikon (Si) and oksigen (O). Tabel 1 dan Gambar 2 memperlihatkan unsur-unsur yang terdeteksi. Fosfor diduga berasal dari dahlit dan kolofan, sedangkan kalsium berasal dari dahlit, kolofan dan kalsit. Aluminium dan silikon kemungkinan berasal dari mineral silikat yang terkandung dalam fragmen batuan, sedangkan besi diduga berasal dari mineral silikat atau opak.

Kuantitas yang relatif cukup untuk terjadinya pengayaan Ca dan S pada batuan fosfat (<http://www.seafriends.org.nz/oceano/seawater.htm>). Kehadiran unsur-unsur bukan pembentuk fosfat pada batuan fosfat Cijulang merupakan unsur-unsur pengotor yang tidak diharapkan, apabila mineral fosfat ini diolah untuk keperluan industri tertentu.

Pemetaan unsur-unsur pada salah satu mineral dahlit yang terdapat dalam spesimen sayatan poles batuan fosfat memperlihatkan kalsium lebih banyak terkonsentrasi di bagian kiri bawah sampai tengah mineral (Gambar 3) yang ditunjukkan oleh skala

Tabel 1. Unsur-unsur pada spesimen percontoh batuan fosfat yang terdeteksi dengan SEM-EDX metode *x-ray mapping*

Unsur teridentifikasi	Intensitas (counts)	Energi (keV)
Fosfor ($_{15}\text{P}^{32}$)	30,720	2.013
Kalsium ($_{20}\text{Ca}^{40}$)	64,000	3.690
Karbon ($_{6}\text{C}^{12}$)	48,960	0.277
Aluminium ($_{13}\text{Al}^{27}$)	17,280	1.486
Besi ($_{26}\text{Fe}^{56}$)	02,560	6.398
Silikon ($_{14}\text{Si}^{28}$)	25,280	1.739
Belerang ($_{16}\text{S}^{32}$)	06,080	2.307
Oksigen ($_{8}\text{O}^{16}$)	27,200	0.521



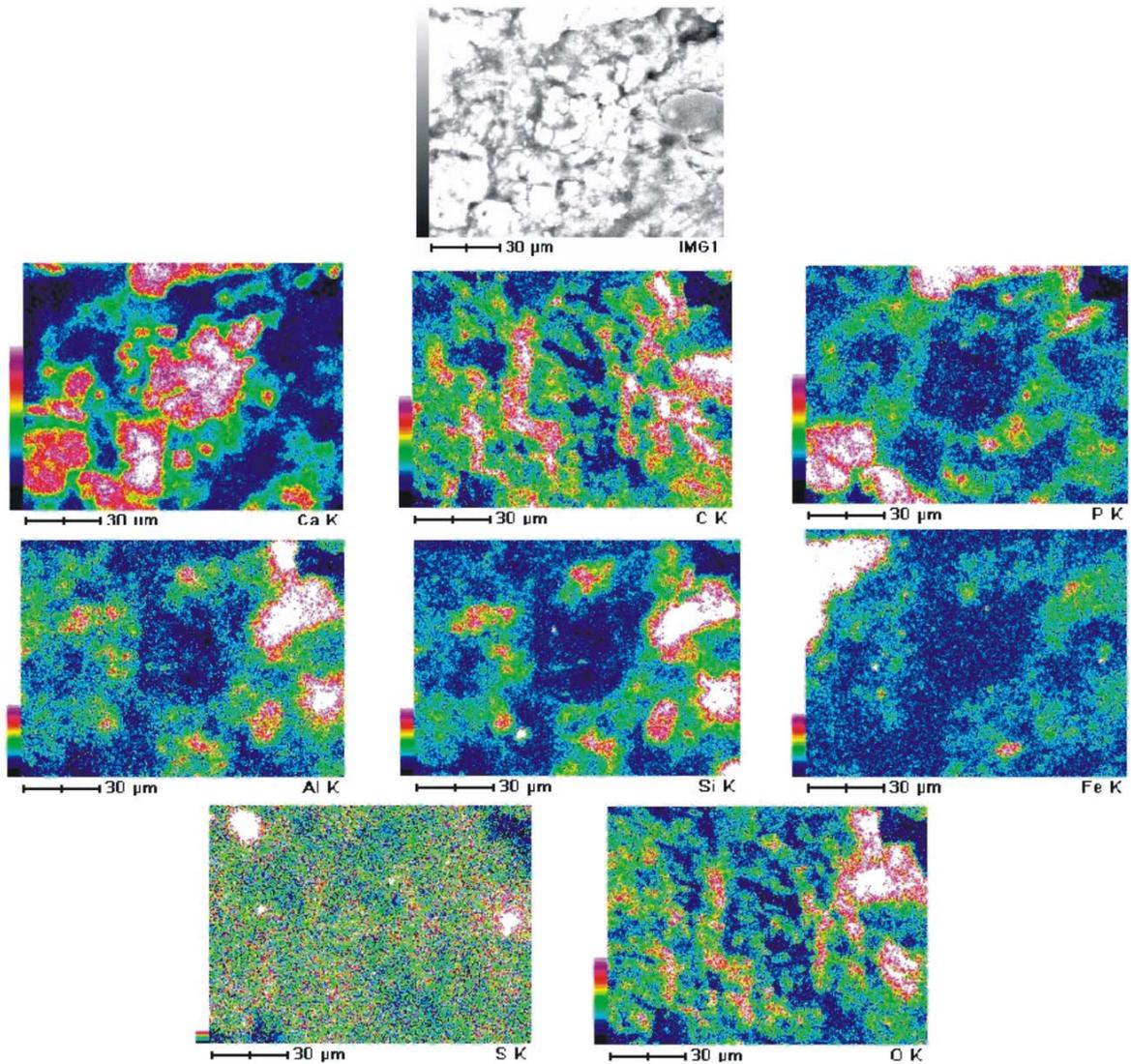
Gambar 2. Komposisi unsur yang terdapat pada batuan fosfat Cijulang yang dianalisis dengan metode *energy-dispersive x-ray* (EDX)

warna merah keunguan, sedangkan konsentrasi karbon terbanyak terdapat di bagian kiri dan kanan mineral. Fosfor paling banyak terkonsentrasi di bagian kiri bawah dan tengah atas mineral. Walaupun konsentrasi unsur terbanyak masing-masing unsur pembentuk fosfat terpisah-pisah (tidak mengelompok menjadi satu), tidak berarti bagian tepi mineral tersebut tidak terdapat P atau C. Kedua jenis unsur tersebut secara menyeluruh terdapat pada dahlit hanya konsentrasinya di bagian pinggir mineral tidak sebanyak di bagian tengah mineral. Keterangan yang sama berlaku untuk unsur pembentuk fosfat lainnya (P); dan ini berarti pada bagian tengah mineral masih terdapat unsur fosfor. Namun kuantitasnya dibandingkan dengan kuantitas P di bagian kiri bawah dan atas adalah lebih kecil. Jika dilihat pada Gambar 3; aluminium, silikon dan besi terkonsentrasi paling banyak pada bagian kanan atas foto dan noktah-noktah yang tersebar di bagian kiri atas dan kanan bawah. Diduga pada bagian-bagian tersebut, material silikat berasosiasi dengan mineral dahlit. Khusus untuk unsur belerang, pada gambar terdapat dua noktah putih yang dikelilingi oleh warna merah (sudut kiri atas dan tengah kanan gambar). Ada kemungkinan kedua noktah tersebut adalah gipsum yang berasosiasi dengan dahlit; selebihnya unsur belerang merupakan unsur pengganggu yang menyebar di seluruh permukaan

mineral. Satu area berwarna putih di bagian kiri atas foto mengandung unsur besi terkonsentrasi paling banyak. Bagian ini diduga mineral opak. Besi sebagai bagian mineral silikat, sebarannya hampir mengikuti pola sebaran aluminium dan silikon.

Terdapatnya dua noktah putih mengandung Al dan Si pada hasil pemetaan secara sinar-x menunjukkan bahwa area tersebut adalah partikel silikat. Pengujian percontoh batuan fosfat Cijulang dengan XRD menunjukkan adanya mineral monmorilonit sebagai mineral silikat. Di samping itu, terdeteksi pula adanya mineral silikat – kuarsa. Kedua mineral ini berasal dari lapukan fragmen batuan. Pengujian XRD ini hanya mendeteksi dahlit sebagai mineral fosfat. Kalsit tidak terdeteksi. Diasumsikan, percontoh yang dianalisis untuk XRD ini (berasal dari bongkah yang dipreparasi sampai fraksi -200 mesh) memang tidak mengandung mineral tersebut seperti terlihat pada Tabel 2. Keberadaan kalsit memang hanya terdeteksi oleh pengujian mikroskop optik saja melalui penelusuran pada spesimen yang memerlukan waktu lama (karena kecilnya kuantitas mineral tersebut dalam percontoh).

Pengujian kimia batuan fosfat Cijulang *head sample* mengidentifikasi beberapa unsur dalam bentuk oksidanya (Tabel 3). Percontoh yang dianalisis adalah



Gambar 3. Pengujian SEM-EDS metode *x-ray mapping* pada batuan fosfat Cijulang mendeteksi adanya 8 unsur, yaitu kalsium (Ca), karbon (C), fosfor (P), aluminium (Al), silikon (Si), besi (Fe), belerang (S) dan oksigen (O)

Tabel 2. Pengujian mineralogi batuan fosfat Cijulang dengan metode XRD

Mineral teridentifikasi	Formula mineral
Dahlit	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_3\text{F}$
Monmorilonit	$\text{Na}(\text{Al}, \text{Mg})_2 \text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Kuarsa	SiO_2

bongkah yang telah difraksinasi menjadi tiga (3) ukuran partikel yaitu -100 + 140, -140 + 200 dan -200 mesh. Dari ketiga percontoh, kuantitas fosfat dalam bentuk P_2O_5 berkisar antara 18 sampai 19%. Kelihatannya, makin halus partikel makin banyak

mineral fosfat (dahlit) yang terbebaskan sehingga ada kenaikan kadar P_2O_5 walaupun tidak signifikan.

Kuantitas fosfat hasil pengujian kimia tidak berbeda jauh dengan hasil pengujian terhadap percontoh

Tabel 3. Pengujian kimia terhadap percontoh batuan fosfat Cijulang

Kode	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅
%									
-100+140	17,82	0,15	6,00	0,209	0,091	22,19	0,550	0,467	18,26
-140+200	16,39	9,52	5,83	0,208	0,068	23,61	0,534	0,457	19,54
-200	16,71	7,71	5,70	0,212	0,069	23,37	0,535	0,437	19,56

sejenis dengan metode SEM-EDX (Tabel 4). Walaupun kuantitas yang diperoleh untuk P₂O₅ pada pengujian terahir lebih rendah dibandingkan dengan hasil pengujian kimia (hanya 12,04%), angka tersebut masih dalam kisaran wajar, yaitu pada angka belasan persen. Ada keterbatasan pada pengujian SEM-EDX, yaitu material uji terbatas pada material yang terlihat pada monitor saja. Pada perbesaran tertentu biasanya hanya satu atau dua partikel yang termuat pada monitor. Jadi hasil yang diperoleh hanya mewakili partikel yang terpampang pada layar, tidak mewakili keseluruhan persentase yang ada.

Sebenarnya ada perbedaan yang mendasar mengenai pengujian secara SEM-EDX dengan metode kimia;

juga oksigen dalam bentuk unsur. Hasil pengujian kimia terhadap unsur belerang dilakukan dalam bentuk belerang trioksida (SO₃) menunjukkan hasil nihil. Bila mengacu kepada hasil analisis SEM-EDX yang menunjukkan kandungan belerang pada partikel yang dideteksi hanya 0,82% (Tabel 4), hal ini dapat dimengerti. Kemungkinan pada percontoh uji untuk analisis kimia, kandungan belerangnya memang rendah (dalam unit ppb). Karbon (C) memang tidak dianalisis untuk keperluan penelitian ini karena fasilitas pengujiannya belum tersedia.

Sebenarnya ada perbedaan yang mendasar mengenai pengujian secara SEM-EDX dengan metode kimia; yang pertama, pengujiannya lebih bersifat kualitatif

Tabel 4. Hasil pengujian SEM-EDS metode *x-ray mapping* untuk *head sample* fosfat Cijulang

Element	(keV)	mass %	Error %	At %	Compound	mass %	Cation	K
C K	0,277	36,58	0,47	78,91	C	38,58	0,00	11,6433
O		24,41						
Al K	1,486	2,82	0,62	1,32	Al ₂ O ₃	5,33	1,65	2,5885
Si K	1,739	3,27	0,56	2,95	SiO ₂	7,01	1,83	3,6325
P K	2,013	5,25	0,63	2,14	P ₂ O ₅	12,04	2,67	8,7698
S K	2,307	0,82	0,62	0,65	SO ₃	2,05	0,40	1,2755
Ca K	3,690	21,84	0,55	13,76	CaO	30,55	8,57	37,3861
Fe K	6,398	5,02	1,05	2,27	FeO	6,46	1,41	6,7918
Total		100,00		100,00		100,00		16,53

yang pertama, pengujiannya lebih bersifat kualitatif dibandingkan dengan yang kedua. Walaupun tercantum angka-angka yang menunjukkan kuantitas, informasi yang diperoleh tidak mewakili keseluruhan percontoh yang ada; hanya untuk partikel terdeteksi saja. Hal ini berbeda dengan pengujian secara kimia, angka yang ditunjukkan relatif mewakili kandungan unsur-unsur yang ada pada percontoh uji. Unsur oksigen (O) yang terdeteksi oleh pengujian dengan metode SEM sebenarnya sama dengan oksigen yang terdeteksi oleh pengujian kimia. Keduanya sudah diubah ke dalam bentuk oksida (Tabel 3 dan 4); memang hasil pengujian SEM-EDX mencantumkan

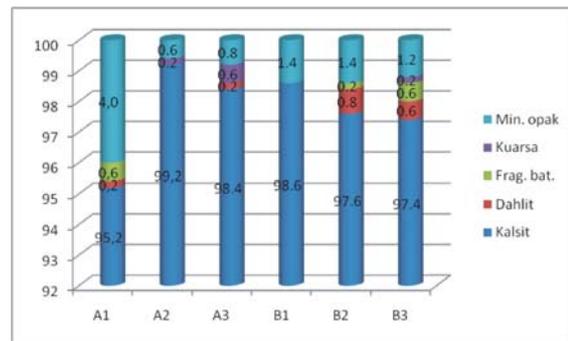
dibandingkan dengan yang kedua. Walaupun tercantum angka-angka yang menunjukkan kuantitas, informasi yang diperoleh tidak mewakili keseluruhan percontoh yang ada; hanya untuk partikel terdeteksi saja. Hal ini berbeda dengan pengujian secara kimia, angka yang ditunjukkan relatif mewakili kandungan unsur-unsur yang ada pada percontoh uji. Unsur oksigen (O) yang terdeteksi oleh pengujian dengan metode SEM sebenarnya sama dengan oksigen yang terdeteksi oleh pengujian kimia. Keduanya sudah diubah ke dalam bentuk oksida (Tabel 3 dan 4); memang hasil pengujian SEM-EDX mencantumkan juga oksigen dalam bentuk unsur. Hasil pengujian

kimia terhadap unsur belerang dilakukan dalam bentuk belerang trioksida (SO_3) menunjukkan hasil nihil. Bila mengacu kepada hasil analisis SEM-EDX yang menunjukkan kandungan belerang pada partikel yang dideteksi hanya 0,82% (Tabel 4), hal ini dapat dimengerti. Kemungkinan pada percontoh uji untuk analisis kimia, kandungan belerangnya memang rendah (dalam unit ppb). Karbon (C) memang tidak dianalisis untuk keperluan penelitian ini karena fasilitas pengujiannya belum tersedia.

3.2. Ampas Pelindian

Pelindian terhadap batuan fosfat Cijulang telah dilakukan menggunakan metode *bioleaching*. Dalam hal ini, asam oksalat yang merupakan metabolit hasil ekskresi kapang *Aspergillus niger* merupakan media pelindi untuk melarutkan fosfat. Hasil pelindian berupa filtrat dan ampas; yang disebut terakhir berupa padatan dan dianalisis dengan mikroskop optik untuk mengetahui sejauh mana perubahan yang terjadi pada mineral fosfat Cijulang setelah dilindi oleh asam oksalat tersebut. Hasil pengamatan mikroskop optik pada ampas tersebut ditabulasikan untuk divisualkan seperti tertera pada Gambar 4. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kalsit merupakan mineral yang paling dominan dalam ampas. Kuantitasnya berkisar antara 95 -99%. Walaupun kuantitasnya tidak sebanyak mineral kalsit, mineral opak merupakan mineral dominan kedua setelah kalsit. Mineral ini terdapat pada semua percontoh yang diuji secara mikroskop optik. Dari kondisi ini dapat diketahui bahwa kedua jenis mineral ini tidak mengalami perubahan yang signifikan setelah pelindian atau relatif tidak terlindi. Dari keenam percontoh, dahlit terlindi dengan baik pada percontoh, A2 dan B1; empat percontoh lainnya (A1, A3, B2 dan B3) masih menyisakan dahlit cukup banyak sebagai mineral yang tidak terlindi. Jika dahlit terlindi habis pada percontoh A1, A2 dan B1, kuarsa dan fragmen batuan masing-masing habis terlindi pada percontoh A1, B1 dan B2 serta A2, A3 dan B1. Terlindinya kuarsa dan fragmen batuan yang keduanya merupakan sumber mineral silikat dengan berbagai kandungan unsur pengotornya; sebenarnya merugikan proses karena unsur-unsur pengotor juga ikut terlindi. Wahyudi dkk. (2008) menyarankan untuk mengatur pH larutan dengan pengadukan berkecepatan rendah, agar logam-logam pengotor dalam larutan atau filtrat hasil pelindian dapat dipisahkan sehingga diperoleh fosfat dengan kemurnian lebih tinggi.

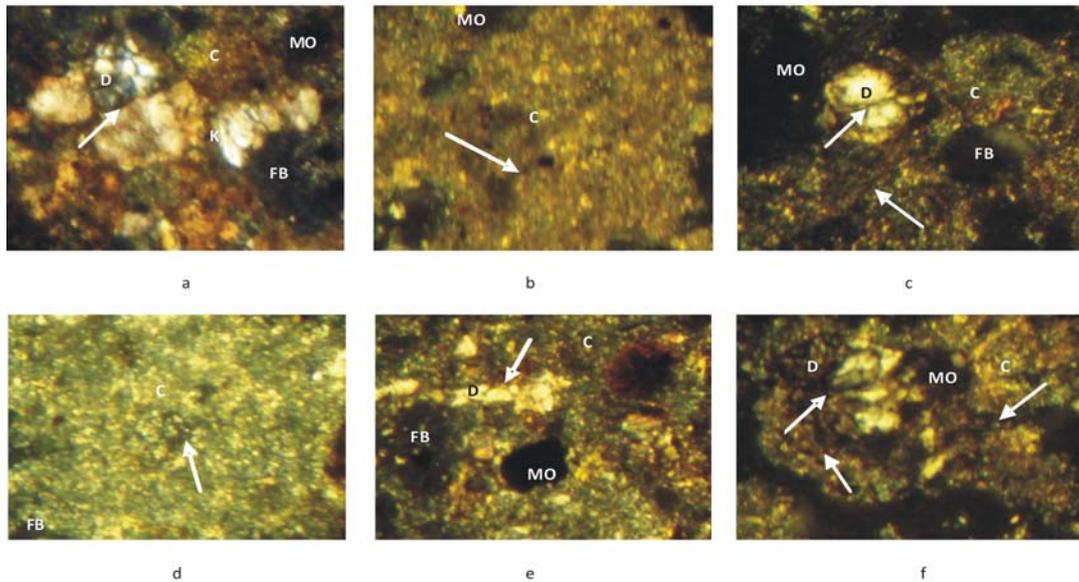
Hasil uji mikroskop optik terhadap enam percontoh ampas hasil pelindian telah dilakukan (Gambar 5).



Gambar 4. Distribusi mineral yang tersisa dalam ampas hasil pelindian

Pada percontoh asli (*head sample* yang belum mengalami pelindian), terlihat bahwa mineral dahlit (D) mempunyai struktur menyerat secara radial (Gambar 1a). Pelindian yang berlangsung selama 10 hari menyisakan ampas yang masih mengandung mineral dahlit (percontoh A1, A3, B2 dan B3). Struktur menyerat pada mineral ini terlihat makin melebar yang diduga sebagai akibat masuknya larutan pelindi melalui struktur tersebut. Makin lebar struktur ini makin intensif proses pelindian berlangsung. Selain struktur menyerat, pada percontoh uji terdapat pula struktur spons seperti diperlihatkan oleh kalsit (C) semua percontoh ampas yang diuji dengan mikroskop optik (Gambar 5a –f). Fitur ini menunjukkan porositas dan permeabilitas yang mengembang sebagai akibat proses pelindian oleh asam oksalat atau karena rusaknya permukaan kalsit (C). Dalam hal ini, material karbonat akan dengan mudah terangkat dari struktur mineralnya. Struktur ini juga merupakan sarana efektif bagi larutan pelindi untuk kontak dengan permukaan batuan fosfat, meningkatkan kelarutan matriks material dan memperbesar jalan bagi larutan meresap ke bagian tubuh mineral (Meyer dan Yen, 2002). Di lihat dari tampilannya, mineral kalsit mengalami pengecilan ukuran terutama bila dibandingkan dengan kalsit yang belum mengalami pelindian (Gambar 1c). Muszer dan Karas (2003) menyebutkan bahwa makin kecil ukuran butiran, makin efektif proses disolusi yang terjadi pada material karbonat.

Keenam foto di atas memperlihatkan adanya alur-alur (*pits*, tanda panah putih). Pada dahlit terlihat seperti retakan-retakan di permukaan mineral tersebut (Gambar 5a, c, e dan f) sedangkan pada kalsit tampilannya sangat halus (Gambar 5c dan f). Meyer dan Yen (2002) menyebutkan bahwa alur-alur tersebut adalah bekas larutan pelindi ketika kontak

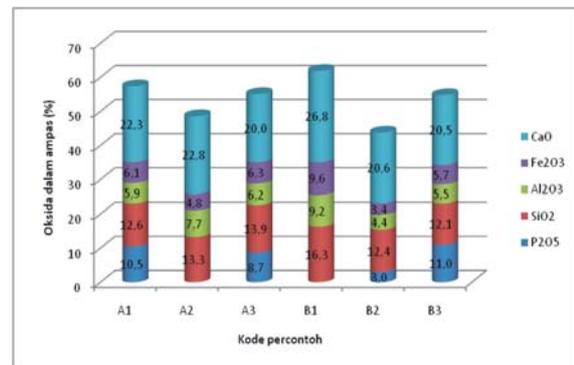


Gambar 5. Fotomikrograf mineral pembawa fosfat Cijulang; a, b, c, d, e, dan f adalah mineral pembawa fosfat yang telah mengalami pelindian asam oksalat dengan masing-masing dengan kode percontoh A1, A2, A3, B1, B2, B3. D – dahlit, C – kalsit, K – kuarsa, MO – mineral opak, FB – fragmen batuan.

dengan permukaan material terlindi. Alur ini merefleksikan kuantitas material yang telah terlindi pada area tersebut. Bentuknya yang tidak beraturan merupakan efek khas kinerja larutan pelindi (<http://www.anl.gov>). Kinerja tersebut dapat diketahui secara kuantitatif dengan mengukur luas dan lebar alur melalui metode luas permukaan (*surface area*). Rodriguez-Lorenzo, Vallet-Reg dan Ferreira (2001) telah melakukan hal ini untuk hidrosilapatit sintesis, tetapi metode tersebut belum dapat diterapkan pada penelitian ini. Pada Gambar 5b dan d, kalsit merupakan mineral dominan yang terdeteksi pada percontoh uji. Tidak ditemukan adanya dahlit pada kedua percontoh uji. Diasumsikan mineral tersebut pada percontoh uji ini telah terlindi habis dan berubah menjadi filtrat sehingga fitur *pits* yang menjadi penanda bekas kontak antara larutan pelindi dengan mineral terlindi tidak ditemukan lagi.

Analisis kimia terhadap ampas hasil pelindian menguji oksida-oksida sejenis seperti tercantum pada Tabel 3. Karena kuantitasnya relatif kecil (< 0,5%); oksida-oksida kalium, natrium, magnesium tidak ditampilkan pada Gambar 6. Dari histogram terlihat bahwa kalsium dan kuarsa masih mempunyai kuantitas yang lebih besar dibandingkan ketiga oksida lainnya. Oksida fosfat terdeteksi pada percontoh A1, A3, B2 dan B3; tidak terdeteksi pada

percontoh A2 dan B1. Hal ini berarti bahwa material fosfat pada percontoh A2 dan B1 terlindi relatif habis sedangkan pada keempat percontoh lainnya, asam oksalat hasil ekskresi *Aspergillus niger* belum mampu melindi total material fosfat dalam umpan pelindian. Bila mengacu kepada Gambar 3, 4 dan 5 ada kesesuaian antara hasil pengujian mikroskop optik dengan analisis kimia – fosfat terlindi habis pada percontoh A2 dan B1. Kenampakan mikroskopik pada kedua percontoh tersebut hanya sisa-sisa (*remnants*) material karbonat.



Gambar 6. Distribusi oksida-oksida yang tersisa pada 6 percontoh ampas pelindian *bioleaching*

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Batuan pembawa fosfat (*phosphate-bearing rocks*) dari daerah Cijulang disusun oleh fragmen batuan, mineral opak, kuarsa, kalsit, dahlit dan kolofan. Dua mineral yang disebut terakhir merupakan mineral fosfat yang tergolong ke dalam kelompok hidroksilapatit. Dahlit memperlihatkan struktur mikro radial menyerat sedangkan struktur mikro yang terdapat pada kolofan berupa rekahan (*fracture*).

Pengujian secara kimia terhadap *head sample* menunjukkan bahwa batuan fosfat Cijulang berkadar rendah (18 – 19%). Bila mengacu kepada hasil *x-ray mapping* salah satu partikel mineral fosfat (dahlit), distribusi unsur-unsur penyusun mineral fosfat tersebut (Ca, P, C dan O) tidak merata. Hal ini menguatkan bahwa endapan fosfat Cijulang memang berkadar rendah.

Pengujian secara kimia dan mikroskop optik terhadap enam percontoh ampas pelindian *bioleaching* menunjukkan bahwa material fosfat terlindi habis pada percontoh A2 dan B1, namun masih tersisa pada empat percontoh lainnya. Terlepas dari kuantitas persen ekstraksi yang diperoleh, kondisi percobaan *bioleaching* untuk percontoh A2 (-140 mesh + 200 mesh, 10% padatan) dan B1 (-200 mesh, 5% padatan) efektif dalam melepaskan unsur fosfor dari ikatannya.

Selama pelindian, terjadi pengembangan porositas dan permeabilitas pada mineral yang terlindi. Contoh kongkrit ditunjukkan oleh mineral kalsit yang memperlihatkan struktur spons yang tersusun karena pengecilan ukuran partikel kalsit atau rusaknya permukaan kalsit. Pengembangan porositas dan permeabilitas juga terjadi pada dahlit dan mineral lain. Pada dahlit ditunjukkan dengan semakin lebarnya struktur menyerat yang dimilikinya. Kondisi ini berakibat pada semakin luasnya permukaan partikel untuk kontak dengan media pelindi yang ditunjukkan dengan terdeteksinya alur-alur halus yang merupakan refleksi aktifitas larutan pelindi ketika 'memakan' komponen-komponen yang ada pada mineral tersebut.

Pengujian kimia dan mikroskopi terhadap ampas hasil pelindian *bioleaching* menggunakan kapang *Aspergillus niger* tidak bersifat selektif dalam melindi unsur-unsur yang terdapat dalam batuan fosfat. Disarankan pada penelitian lanjutan yang akan dilakukan pada skala meja dilakukan pengaturan pH dengan pengadukan berkecepatan rendah, untuk mengurangi ikut terlindinya unsur-unsur pengotor.

Selain itu, penggunaan jasad renik lain seperti *Baccillus sp.* sebagai media pelindi batuan pembawa fosfat layak dicoba untuk mengetahui kinerjanya apakah lebih baik dari kinerja kapang atau tidak.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Prof. Ris. Ngurah Ardha, M.Met.E atas masukan-masukan yang diberikan selama penulisan makalah; Dra. Sri Handayani, M.Sc. yang telah melakukan proses *bioleaching* batuan fosfat Cijulang, sehingga percontoh ampas yang dihasilkan dapat dikaji kembali secara kimia dan mineralogi. Penelitian ini didanai oleh Proyek Penelitian dan Pengembangan Mineral Tahun Anggaran 2008.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardha, N., Soenara, T., Purnomo, H. dan Rasyad, S.S., 1991. Upaya Peningkatan Mutu Fosfat dari Batuan fosfat Kadar Rendah Cijulang – Ciamis. *Laporan Teknik Penelitian*. n. 148. Pusat Pengembangan Teknologi Mineral.
- Ardha, N., 1997. Uji Pelindian batugamping Fosfatan dengan Asam dan asam Tersirkulasi untuk Peningkatan Kadar Fosfat. *Makalah Teknik* no. 1. thn. 6, h. 1 – 7. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral.
- <http://www.anl.gov>, diakses pada 03/02/09, jam 14.40
- <http://www.moonminer.com/bioleaching.html>, diakses pada 05/02/09, jam 11.05
- <http://www.seafriends.org.nz/oceano/seawater.htm>, diakses pada 02/02, jam 11.00
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Phosphate>, diakses pada 02/02/09, jam 9.55
- Meyer, W.C. dan Yen, T.F. 2002. *The Effect of Bioleaching on Green River Oil Shale*. Department of Geological Sciences and Chemical Engineering, University of Southrn California, CA 9007. h. 94 – 98.
- Muszer, Antoni dan Karas, Henry. 2003. Application Of Microscopic Mineralogical Analysis Of Copper Concentrate After Bioleaching Process. *Mineralogical Society of Poland – Special Pa-*

pers v 22. MSP – Poland.

Rodriguez-Lorenz, L.M., Vallet-Reg, M. dan Ferreira, J.M.F. 2001. Fabrication of hydroxyapatite bodies by uniaxial pressing from a precipitated powder. *Biomaterials* n. **22**, h. 583-588.

Tim Bimbingan Pertambangan Fosfat. 1984. *Bimbingan Pertambangan Fosfat di Batukaras Kecamatan Cijulang, Kabupaten Ciamis*.

Direktorat Jenderal Pertambangan Umum, Pusat Pengembangan Teknologi Mineral.

Wahyudi, T. dkk. 2008. Pengembangan Bioteknologi untuk Pengolahan Mineral (Studi Kasus : Ekstraksi Fosfat dari Endapan Fosfat Alam dengan Metode *Bioleaching*). *Laporan Teknik Penelitian* (dalam proses cetak). Bandung: Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara.