

Uji Karakteristik Magnesium Fosfat dari Pelarutan Mineral Dolomit dengan Asam Fosfat

(Characteristic Test of Magnesium Phosphate from Dissolution of Dolomite Minerals with Phosphoric Acid)

Bayu S. Dewangga¹, Moch. Alief Setyanugraha¹, Luluk Edahwati^{2*}

¹ Program Studi Teknik Kimia UPN Veteran Jawa Timur, Jln. Raya Rungkut Madya Gunung Anyar, Surabaya 60249, Indonesia

² Program Studi Teknik Mesin UPN Veteran Jawa Timur, Jln. Raya Rungkut Madya Gunung Anyar, Surabaya 60249, Indonesia

Inti Sari

Magnesium fosfat ($Mg_3(PO_4)_2$) adalah senyawa organik yang terbentuk dari garam magnesium yang berasal dari asam fosfat (H_3PO_4) dengan kata lain, unsur magnesium yang melapisi antara anion fosfat. Selain itu magnesium fosfat saat ini dibutuhkan oleh industri, khususnya pada bidang material maju dan biologis. Namun hal yang menjadi kebutuhan saat ini adalah mahalanya harga bahan dasar yang mengharuskan impor. Mineral dolomit tersebar melimpah di Indonesia, dengan kandungan kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) di dalamnya, sehingga dapat dijadikan sebagai bahan dasar alternatif sintesis magnesium fosfat. Tahapan-tahapan dalam pembuatan magnesium fosfat adalah kalsinasi, pelarutan mineral dolomit dengan asam fosfat menggunakan metode extraction-aeration, dan proses terakhirnya adalah kristalisasi. Variabel penelitian menggunakan variasi konsentrasi asam fosfat (H_3PO_4) yaitu 8N dan 10N serta laju alir udara 1, 2, dan 3 L/menit. Hasil yang dipaparkan adalah mengenai karakteristik magnesium fosfat yang diperoleh menggunakan metode XRF (X-Ray Fluorescence) dan SEM-EDX (Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray). Dari hasil tersebut dapat dijadikan sebagai acuan karakteristik dari magnesium fosfat yang diperoleh dari sintesis mineral dolomit.

Kata Kunci: Dolomit; ekstraksi-aerasi; analisis SEM; magnesium fosfat; sintesis

Abstract

Magnesium phosphate ($Mg_3(PO_4)_2$) is an organic compound formed from magnesium salts derived from phosphoric acid (H_3PO_4) in other words, elemental magnesium that is sandwiched between the phosphate anions. In addition, magnesium phosphate has been needed by industry, especially in the field of advanced and biological materials. However, what is currently needed is the high price of basic materials that require imports. The mineral dolomite is widely distributed in Indonesia, contains calcium (Ca) and magnesium (Mg) in it so that it can be used as an alternative base material for the synthesis of

Key Words: Dolomite; aeration-extraction; SEM analysis; magnesium phosphate; synthesis

Published by

Department of Chemical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Universitas Muslim Indonesia, Makassar

Address

Jalan Urip Sumohardjo km. 05 (Kampus 2 UMI)
Makassar- Sulawesi Selatan

Email :

jcpe@umi.ac.id

*Corresponding Author

lulukedahwati@gmail.com



Journal History

Paper received : 25 Maret 2022

Received in revised : 28 April 2022

Accepted : 30 Mei 2022

magnesium phosphate. The steps in the manufacture of magnesium phosphate are calcination, dissolution of dolomite minerals with phosphoric acid using the extraction-aeration method, and the last process is crystallization. The research variables used variations in the concentration of phosphoric acid (H_3PO_4), namely 8N and 10N, and airflow rates of 1, 2, and 3 L/min. The results presented regarding the characteristics of magnesium phosphate obtained using the XRF method (X-Ray Fluorescence) and SEM-EDX (Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray). From these results, it can be used as a reference for the characteristics of magnesium phosphate obtained from the synthesis of dolomite minerals.

PENDAHULUAN

Negara Indonesia memiliki kekayaan alam yang melimpah, berupa barang tambang dan mineral. Keterlimpahan barang tambang tersebut hanya sebagian kecil yang dimanfaatkan sebagai bahan olahan jadi. Salah satu barang tambang yang sampai sekarang belum banyak pengolahannya adalah dolomit. Dolomit merupakan batuan mineral yang diperoleh dari alam, di dalamnya terdapat unsur hara berbentuk Magnesium (Mg), Kalsium (Ca), dan mempunyai rumus kimia $CaMg(CO_3)_2$ [11]. Dolomit biasanya digunakan oleh petani lokal sebagai pupuk yang bermanfaat untuk meningkatkan kandungan hara serta menetralkan asam pada tanah. [16]. Dari mineral tersebut dapat disintesis melalui metode ekstraksi dan aerasi untuk menghasilkan magnesium fosfat ($Mg_3(PO_4)_2$). Namun saat ini industri di Indonesia masih tergantung terhadap impor bahan magnesium fosfat untuk memenuhi kebutuhannya dan masih belum tersedia industri yang mampu menghasilkan magnesium fosfat dengan bahan baku mineral dolomit. Oleh karena itu, penelitian tentang perolehan magnesium fosfat dari dolomit masih terbuka lebar, karena belum terdapat proses yang pernah dilakukan.

Untuk mencapai hasil yang optimum dari proses ekstraksi magnesium dari dolomit, perlu diketahui acuan yang digunakan dalam pengaruh proses tersebut. Semakin banyak pendekatan data yang digunakan dalam proses penelitian, maka hasil yang diperoleh akan semakin optimum. Sebelum proses ekstraksi, dolomit dikalsinasi terlebih dahulu. Kalsinasi merupakan suatu proses pemanasan suatu batuan kapur dengan menggunakan sedikit atau tanpa oksigen untuk terjadinya proses dekomposisi *thermal*. Terdapat dua tahapan dalam proses kalsinasi mineral dolomit, pertama adalah penguraian magnesium karbonat ($MgCO_3$) menjadi magnesium oksida (MgO), dilanjutkan dengan penguraian kalsium karbonat ($CaCO_3$) menjadi kalsium oksida (CaO). Rentang reaksi penguraian magnesium karbonat terjadi pada

suhu 510 – 700°C sedangkan untuk kalsium karbonat sekitar suhu 800 – 900°C [9], [5], [19], dan [14].

Tahap selanjutnya adalah proses sintesis yang menggunakan metode ekstraksi. Menurut penelitian yang telah dilakukan tentang pembuatan kiserit ($MgSO_4 \cdot H_2O$) dari bahan baku dolomit dengan menggunakan larutan asam sulfat. Pada prosesnya menggunakan dolomit dengan berat 100 gr dan ukuran 100-200 mesh serta variabel peubahnya adalah waktu reaksi 30 dan 60 menit yang direaksikan dengan asam sulfat 9N per volume mulai dari 49-59 mL. Hasil penelitian didapatkan kristal kiserit dengan struktur monoklin dengan produk samping berupa gypsum, serta kadar MgO yang diperoleh berkisar antara 25,2-28,6% dengan perolehan kiserit tertinggi yang dicapai dalam uji pelarutan adalah 94,1% dan 97,9% [20].

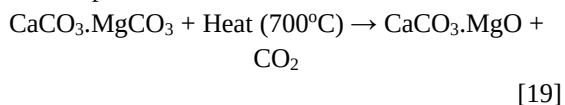
Dalam penelitian tentang ekstraksi magnesium dari mineral dolomit menggunakan metode *leaching* asam klorida. Pada prosesnya, digunakan variabel kadar konsentrasi asam klorida sebesar 0,5-2 M dengan menggunakan suhu reaksi 30-75°C dengan waktu pencucian selama 1-3 jam. Sebelum dilakukan proses *leaching* pada mineral dolomit, terlebih dahulu dilakukan kalsinasi dengan suhu 900°C dalam waktu 5 jam. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa ekstraksi Mg meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi HCl, suhu reaksi, dan kecepatan pengadukan dengan kondisi optimum untuk proses *leaching* adalah 2 M HCl pada suhu 75°C selama 3 jam dengan perbandingan padat/cair 20 mL/g dan kecepatan pengadukan 400 rpm dihasilkan ekstrak Mg dengan kemurnian 98,82% [12], [13], dan [15].

Berdasarkan mekanisme kerja untuk perolehan kristal magnesium fosfat, perlu dilakukan proses pemanasan terhadap larutan agar diperoleh padatan kristal tersebut, sehingga pada penelitian kali ini digunakan ekstraksi dengan metode *evaporation crystallization* (EC). Zat pelarut akan terpisah dari zat terlarut melalui perlakuan dengan pemanasan. Zat terlarut akan terpisah dari larutan dengan membentuk kristal padat. Pada suhu tertentu, zat pelarut pada

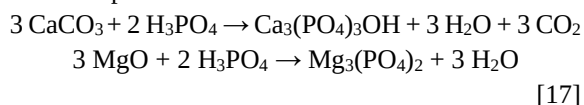
larutan jenuh dapat menguap dengan bantuan energi panas yang diberikan dari luar. Melalui penguapan zat pelarut secara bertahap, maka larutan akan mencapai kondisi jenuh [1].

Untuk reaksi yang terjadi dalam proses pembuatan magnesium fosfat terjadi beberapa tahapan, yaitu dari tahap kalsinasi, ekstraksi, dan kristalisasi. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:

1. Tahap Kalsinasi



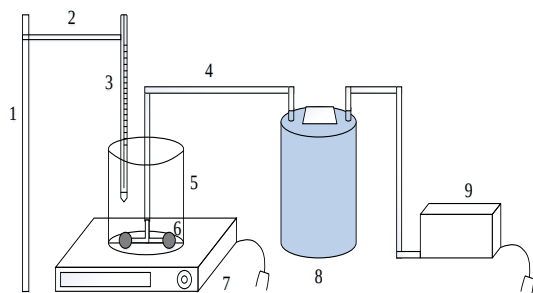
2. Tahap Ekstraksi



Dengan proses ekstraksi menggunakan pelarut dan proses pembuatan yang belum pernah dilakukan sebelumnya, dapat diketahui hasil penelitian magnesium fosfat yang diperoleh dengan pembeda pada pelarutnya yang berupa asam fosfat dan proses yang digunakan adalah ekstraksi dengan bantuan aerasi. Aerasi merupakan pemasukan oksigen dari udara ke dalam larutan. Salah satu fungsi aerasi adalah membantu pengadukan secara mekanis menggunakan udara dan kombinasi aerasi yang diaplikasikan bertujuan untuk mengurangi pembentukan film pasif antara padatan atau bahan dengan pelarut dalam proses ekstraksi [3], [10], dan [2].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen pada Laboratorium Biomassa dan Bioplastik, UPN “Veteran” Jawa Timur dengan menggunakan skema alat uji yang ditunjukkan pada gambar 1. Dalam gambar tersebut memperlihatkan skema instalasi alat percobaan yang digunakan dalam pemanfaatan dolomit untuk membuat magnesium fosfat.



Gambar 1. Rangkaian Alat Ekstraksi Aerasi

Keterangan

1. Statif
2. Klem
3. *Thermometer*
4. Selang
5. *Beaker glass*
6. Aerator
7. *Hot plate*
8. *Stabilizier*
9. Kompresor

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bijih dolomit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) yang didapatkan dari penambang desa Pucangan, Kecamatan Palang, Kabupaten Tuban. Akuades (H_2O) dan asam fosfat (H_3PO_4) didapatkan dari Laboratorium Pengantar Teknik Kimia I, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.

Kondisi yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah temperatur kalsinasi 700°C dengan waktu kalsinasi selama 3 jam. Rasio asam fosfat (H_3PO_4) dengan bijih dolomit sebesar 5 mL/gr. Ukuran partikel lewat ayakan 80 mesh. Massa dolomit 200 gr, serta temperatur ekstraksi 60°C dan waktu ekstraksi selama 1 jam. Sedangkan untuk kondisi peubah yang digunakan dalam penelitian ini yaitu konsentrasi asam fosfat 8N, dan 10N dengan laju alir udara operasi 1, 2, dan 3 L/menit.

Untuk memperoleh magnesium fosfat dari pelarutan bijih dolomit menggunakan asam fosfat harus melalui dua proses yaitu proses kalsinasi sebagai proses *pretreatment* bijih dolomit yang dilanjutkan dengan proses ekstraksi. Proses Kalsinasi dengan perlakuan meletakkan dolomit secukupnya di dalam cawan petri, setelah itu masukkan ke dalam *furnace* dengan suhu operasi 700°C selama 3 jam. Setelah dikalsinasi, biarkan terlebih dolomit di dalam *furnace* selama sehari untuk menstabilkan suhunya agar sesuai dengan suhu kamar.

Dilanjutkan dengan proses Ekstraksi. Dolomit yang diperlukan dalam satu perlakuan adalah 100 gr dengan ukuran partikel 80 mesh yang dilarutkan ke dalam larutan asam fosfat 500 mL dengan konsentrasi sesuai variabel secara bertahap. Proses ekstraksi dilakukan selama satu jam pada temperatur 60°C selama 1 jam dan atur rate udara sesuai dengan variabel. Setelah itu disaring untuk memisahkan filtrat dan residu, dan proses terakhir adalah menguapkan

filtrat pada suhu 100°C sampai diperoleh kristal magnesium fosfat ($\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengamatan

Hasil kalsinasi menunjukkan bahan baku dolomit menjadi lebih halus dan tampak lebih kering. Hal tersebut dikarenakan terjadi pelepasan karbon dioksida dari senyawa MgCO_3 menjadi MgO dan CO_2 pada rentang suhu 510°C hingga 750°C [19]. Selanjutnya dolomit yang telah terkalsinasi secara parsial tersebut dilakukan proses ekstraksi menggunakan pelarut asam fosfat dengan konsentrasi yang telah divariasikan serta laju alir udara saat proses aerasi. Hasil pengamatan saat proses ekstraksi berlangsung diketahui terbentuk gelembung gas ketika bahan dolomit direaksikan dengan pelarut asam fosfat. Gas tersebut merupakan gas CO_2 yang berasal dari CaCO_3 , hal tersebut mengacu kepada persamaan reaksi yang ada. Hal serupa juga terjadi pada penelitian terdahulu, ketika CaCO_3 bereaksi dengan asam akan menghasilkan gas CO_2 [20].

Pada proses filtrasi diperoleh pengamatan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi yang digunakan akan menyebabkan waktu filtrasi yang semakin lama. Hal tersebut dikarenakan semakin bertambahnya konsentrasi larutan maka viskositas filtrat dari hasil ekstraksi juga akan meningkat. Dari proses filtrasi diperoleh filtrat yang tidak berwarna dan residu berwarna putih. Residu yang diperoleh dari proses ini merupakan senyawa *Hydroxyapatite* dengan rumus molekul $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$. Senyawa ini dapat diperoleh dengan cara mereaksikan kapur mati dengan asam fosfat. Filtrat yang diperoleh mengandung senyawa magnesium [17].

Pada saat kristalisasi berlangsung, diperoleh hasil pengamatan bahwa semakin besar konsentrasi pelarut maka waktu kristalisasi relatif lebih lama. Selain itu, semakin lama proses kristalisasi berlangsung maka uap yang dihasilkan akan semakin sedikit, hal tersebut karena terjadi penurunan laju penguapan akibat kadar air yang semakin berkurang. Dalam proses kristalisasi juga diperoleh pengamatan berupa terjadinya perubahan fasa yang semula cair menjadi padat. Kristalisasi juga merupakan proses pemisahan padatan dengan cairan, Sebab ketika proses kristalisasi terdapat perpindahan massa zat yang terlarut dari solvent kepadatan murni pada fasa kristal [6]. Kristalisasi

magnesium fosfat yaitu terjadinya proses pelepasan H_2O dari senyawa *tetrahydrate* menjadi *dihydrate* saat dipanaskan pada rentang temperatur 60°C hingga 120°C [4].

Hasil Perolehan Massa Kristalisasi

Tabel 1. Perolehan Massa Padatan untuk Tiap Variabel

Konsentrasi (N)	Massa (gr)		
	1 L/menit	2 L/menit	3 L/menit
8	12,1123	12,8973	15,1251
10	28,8088	29,3025	31,3255

Berdasarkan data untuk padatan terbentuk yang diperoleh dari berbagai variasi percobaan, diperoleh hubungan antara massa padatan yang terbentuk dengan laju alir udara pada berbagai konsentrasi pelarut yang digunakan. Diketahui bahwa konsentrasi berpengaruh terhadap jumlah massa yang terbentuk. Hasil padatan yang paling banyak diperoleh yaitu pada konsentrasi 10N dengan laju alir udara aerasi 3L/menit, didapatkan berat padatan sebesar 31,3255 gr. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa, semakin tinggi konsentrasi asam fosfat yang digunakan, maka semakin besar massa padatan yang diperoleh setelah proses kristalisasi.

Kenaikan jumlah perolehan massa terhadap tiap kenaikan konsentrasi dapat terjadi akibat adanya peningkatan kandungan fosfor pentoksida yang semakin banyak. Proses pembuatan asam fosfat salah satunya adalah dengan cara *thermal process*, dimana dilakukan pembakaran terhadap fosfor untuk menghasilkan fosfor pentoksida yang kemudian dilarutkan dalam air, dengan itu akan diperoleh asam fosfat dengan kadar tinggi. Oleh karena itu, semakin tinggi konsentrasi asam fosfat, maka semakin banyak fosfor pentoksida yang terkandung. Hal tersebut membuat semakin meningkatnya massa yang terbentuk setelah proses kristalisasi.

Dapat diamati bahwa semakin cepat laju alir udara yang digunakan pada saat proses aerasi, menunjukkan hasil rata-rata perolehan massa terbentuk yang fluktuatif. Hal ini dikarenakan semakin cepat laju alir udara yang dialirkan maka semakin besar pengadukan mekanisnya dan berpengaruh pada proses ekstraksinya, selain itu pada proses aerasi berfungsi untuk mengurangi pembentukan film pasif antara padatan dengan pelarut dalam proses ekstraksi

dan sesuai dengan Hukum Fick bahwa film pasif atau lapisan pada bahan dapat mempengaruhi konsentrasi hasil dari proses ekstraksi. Semakin tebal lapisannya maka hasil ekstraksi akan semakin sedikit dan konsentrasi ekstraksinya juga semakin kecil [7].

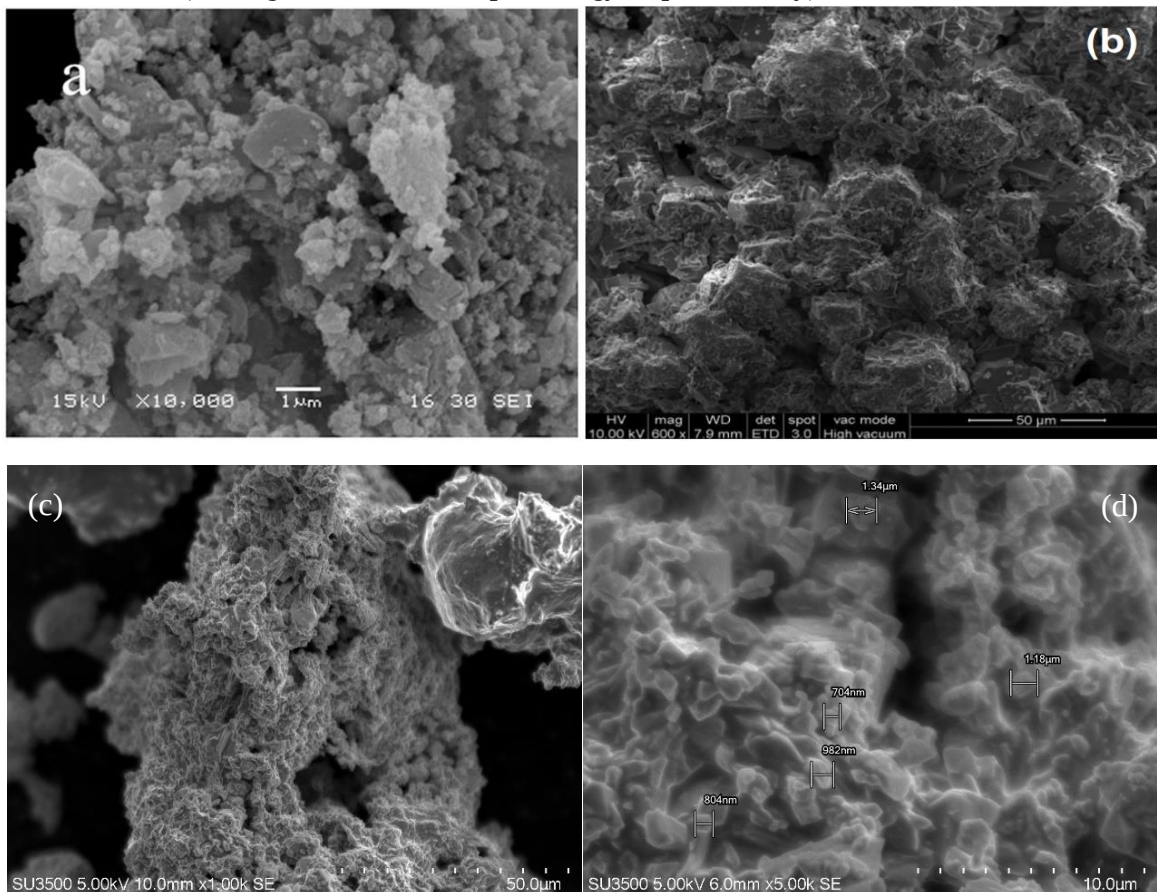
Analisis XRF (X-Ray Fluorescent)

Tabel 2. Kandungan Bahan Baku Dolomit Hasil Uji Analisa XRF

Komponen	Konsentrasi
MgO	7,100%
CaO	91,310%
Fe ₂ O ₃	0,380%
CuO	0,069%
MoO ₃	0,650%
Yb ₂ O ₃	0,450%

Pada penelitian ekstraksi magnesium dari dolomit, sebelum penelitian berjalan, bahan baku terlebih dahulu dianalisis untuk mengetahui komposisi kandungannya. Terlihat pada tabel analisis XRF di atas bahwa di dalam dolomit terdapat kandungan magnesium oksida (MgO) dan kalsium oksida (CaO) dengan masing-masing kandungan sebesar 7,1% dan 91,310%. Dari data tersebut, magnesium dalam dolomit dapat disintesis menggunakan pelarut asam fosfat untuk membentuk magnesium fosfat (Mg₃(PO₃)₂). Selain kandungan magnesium terdapat juga kandungan unsur lainnya, sehingga perlunya perlakuan ekstraksi untuk memisahkan unsur magnesium dengan unsur lainnya di dalam dolomit.

Analisis SEM-EDX (Scannig Electron Microscope - Energy Dispersive X-ray)



Gambar 2. Hasil Analisis SEM (Scannig Electron Microscope) menurut literatur yang menggunakan metode (a) sintesis dan (b) presipitasi, sedangkan (c) dan (d) adalah hasil penelitian dengan perbesaran 1000 dan 5000 kali.

Hasil analisis SEM yang telah diperoleh dengan perbesaran 1.000 dan 5.000 kali terlihat bahwa kristal atau padatan yang terbentuk berupa magnesium fosfat. Jika dibandingkan dengan gambar 2(a) dan 2(b) terdapat suatu kesamaan yaitu memiliki struktur longgar dengan banyak partikel yang tidak beraturan (Amorf) pada permukaannya. Pada jurnal Wang diamati pada gambar 2(a) menggunakan suhu sintering 400°C, sehingga bentuk padatan kristal lebih terbentuk jika dibandingkan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan, gambar 2(c) dan 2(d), yang menggunakan proses pemanasan kristalisasi pada suhu 120°C didapatkan padatan kristal yang kurang sempurna [21].

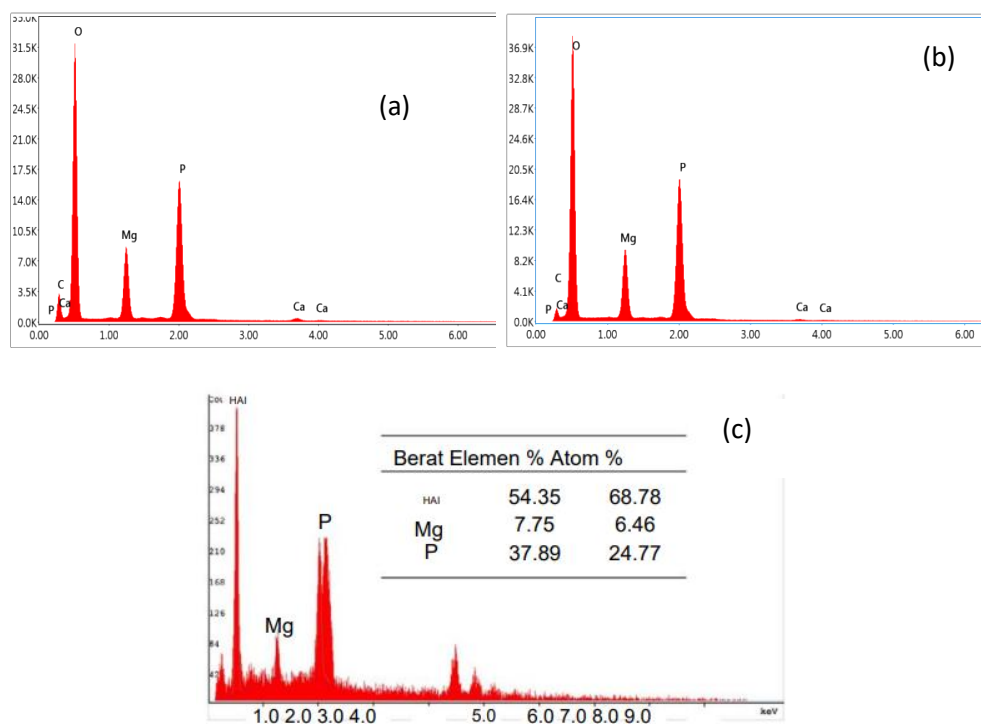
Tabel 3. Hasil Analisis EDX (*Energy Dispersive X-ray*) dengan Perlakuan Konsentrasi Pelarut 8N

Komponen	% Berat	% Error
C	12,66	10,73
O	54,29	7,66
Mg	9,78	5,38
P	22,37	2,84
Ca	0,91	8,68

Tabel 4. Hasil Analisis EDX (*Energy Dispersive X-ray*) dengan Perlakuan Konsentrasi Pelarut 10N

Komponen	% Berat	% Error
C	5,82	12
O	57,03	7,66
Mg	10,77	5,38
P	25,93	2,84
Ca	0,45	8,68

Dari tabel di atas, didapatkan hasil terhadap konsentrasi pelarut yang semakin tinggi akan menyebabkan kadar magnesium yang diekstrak mengalami kenaikan. Hal tersebut dapat terjadi karena semakin bertambahnya konsentrasi pelarut yang digunakan, maka semakin banyak pula jumlah senyawa dalam pelarut yang dapat digunakan untuk mengikat senyawa magnesium dalam dolomit. Namun penggunaan konsentrasi pelarut asam fosfat yang lebih dari 10N perlu adanya pertimbangan, karena semakin tinggi konsentrasi pelarut yang digunakan akan meningkatkan viskositas pelarut.



Gambar 3. Hasil Analisis Unsur EDX EDX (*Energy Dispersive X-ray*) dari Penelitian (a) dan (b) dengan Perlakuan Konsentrasi 8N dan 10 N, Sedangkan (c) adalah Hasil Analisis EDS (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) Literatur.

Pada kedua hasil sebelumnya dapat diketahui bahwa unsur yang terbentuk merupakan magnesium fosfat. Terdapat kelebihan pada unsur fosfor sebab untuk melarutkan magnesium yang terkandung dalam dolomit dibutuhkan asam fosfat yang berlebih. Hal ini telah sesuai dengan sifat analit magnesium oksida (MgO) yang dapat larut dalam pelarut asam serta garam magnesium (dolomit) apabila dilarutkan dengan asam fosfat akan menghasilkan magnesium fosfat [8]. Dan pada hasil analisis unsur EDX (*Energy Dispersive X-ray*) gambar 3(a) dan (b) telah sesuai dengan hasil EDS (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) gambar 3(c) yang merupakan produk magnesium fosfat [18].

KESIMPULAN

Dari hasil analisis SEM-EDX (*Scannig Electron Microscope - Energy Dispersive X-ray*) diperoleh bahwa hasil penelitian yang didapatkan berupa magnesium fosfat ($\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$) dengan kandungan magnesium dan fosfor masing-masing sebesar 9,78% dan 22,37% pada konsentrasi pelarut 8N, sementara pada konsentrasi pelarut 10N sebesar 10,77% dan 25,93%. Analisis SEM (*Scannig Electron Microscope*) menunjukkan bahwa kristal yang dihasilkan masih berupa *hydromagnesit* dan perlu dilakukan penghilangan kandungan air yang terdapat pada ikatan *hydromagnesit* agar jaringan komposit tidak rusak. Namun hal tersebut tetap perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan hasil perbandingan dan memperoleh kesimpulan pasti bahwa kristal yang terbentuk adalah magnesium fosfat ($\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$), serta perlu ada perlakuan untuk *recovery* asam fosfat yang berlebih yaitu dengan pembentukan *struvite*.

Selain itu hasil magnesium fosfat berbentuk padatan amorf dan kurang kering akibat kurangnya suhu sintering, dan hal yang membuktikan bahwa itu magnesium fosfat adalah kesamaan bentuk padatan dengan penelitian terdahulu dan pada hasil analisa EDX (*Energy Dispersive X-ray*) juga memberikan hasil atau grafik komponen yang sama dengan peneliti terdahulu

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Apriani, M., 2018. Kristalisasi Magnesium Karbonat dari Limbah Proses Pembuatan Garam Rakyat. *Program Doctor Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan*, Insitut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- [2] Aryanti, D. dan Syaifuddin, M., 2019. Ekstraksi Au dari Batuan Mineral dengan Hidrometalurgi Aerasi - Sianida Serta Kajian Perbandingan Efektivitasnya pada Berbagai Metode dan Pelarut. *JKPK (Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia)*, 4 (2): 115-122.
- [3] Awaluddin, N., 2007. Teknologi Pengelolaan Air Tanah Sebagai Rumah Tangga, *Pekan Apresiasi Mahasiswa LEM-FTSP UII Seminar Peran Mahasiswa Dalam Aplikasi Keteknikan Menuju Globalisasi Teknologi*, Universitas Islam Indonesia.
- [4] Dudenhoefer, R., *et al.*, 1992. Synthesis and Characterization of Mono Magnesium Phosphate Tetrahydrate. *Journal of Crystal Growth*, 125: 121-126.
- [5] Galai, H., Pijolat, M., Nahdi, K. & Ayadi, M. T., 2007. Mechanism of Growth of MgO and CaCO_3 During a Dolomagraite Partial Decomposition. *Solid State Ionics*, (178): 1039-1047.
- [6] Geankoplis, C. J., 1993. Transport Processes and Unit Operations, 3rd Edition. India: Asoke K. Ghosh, Prentice-Hall.
- [7] Moldoveanu, S. dan David, R., 2015. Modern Sample Preparation for Chromatography. Chapter 6. Solvent Extraction. Elsevier, New York.
- [8] MSDS, 2007. Magnesium Hydroxide. <https://fscimage.fishersci.com/msds/13405.htm/> (Accessed 20.02.20).
- [9] Oates, J. A. H., 1998. Lime and Limestone Chemistry and Technology, Production and Uses, Wiley-VCH, Weinheim (Federal Republic of Germany).
- [10] Poppel, H. J., 1974. Aeration and Gas Transfer, Delft University of Technology, Department of Civil Eng. Dev. of Sanitary Engineering.
- [11] Royani, A. dan Subagja, R., 2019. Ekstraksi Kalsium dari Bijih Dolomit Terkalsinasi Menggunakan Pelarutan Asam Klorida. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 15(1): 13-22.
- [12] Royani, A., 2016. Proses Pelarutan Bijih Dolomit dalam Larutan Asam Klorida. *Seminar Nasional*

- Sains dan Teknologi* 2016. p-ISSN: 2407 – 1846, e-ISSN: 2460 – 8416.
- [13] Royani, A., 2017. Studi Optimasi Pelarutan Dolomit Menggunakan Asam Klorida. *Seminar Nasional Metalurgi dan Material (SENAMM) X* 2017.
- [14] Royani, A., Sulistiyono, E. & Sufiandi, D., 2016. Pengaruh Suhu Kalsinasi pada Proses Dekomposisi Dolomit. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 18(1): 41-46.
- [15] Royani, A., Sulistiyono, E., Prasetyo, A. B. & Subagja, R., 2018. Extraction of Magnesium from Calcined Dolomite Ore Using Hydrochloric Acid Leaching, *AIP Conference Proceedings*, 1964, 020017.
- [16] Sastrawiguna, S., 2000. Pembuatan Magnesium Karbonat sebagai Bahan Baku Pemutih Kertas, *Laporan Teknik Proyek Penelitian dan Pengembangan Material*, Pusat Penelitian Metalurgi, LIPI.
- [17] Schröter, K., *et al.*, 2012. Phosphoric Acid and Phosphates. *Ullmans Encyclopedia of Industrial Chemistry*. 26: 717-719.
- [18] Su, C., Dulfo, L. D., Dalida, M. L. P, dan Lu, M., 2014. Magnesium Phosphate Crystallization in A Fluidized-Bed Reactor: Effect of pH, Mg:P Molar Ratio and Seed. *Separation and Purification Technology*, 125: 90-96.
- [19] Sulistiyono, E., Firdiyono, F., Natasha, N. C. dan Sufiandi, D., 2015. Pengaruh Ukuran Butiran Terhadap Struktur Kristal pada Proses Kalsinasi Parsial Dolomit. *Majalah Metalurgi*, 30(3): 125-132.
- [20] Wahyudi, T. dan Supriyanto, B., 2010. Uji Coba Pelarutan Dolomit Karo dengan Asam Sulfat Menjadi Kiserit. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 6(4): 183-192.
- [21] Wang, Z., *et al.* 2017. Effect of Sintering Temperature on Surface Morphology/Microstructure, in Vitro Degradability, Mineralization and Osteoblast Response to Magnesium Phosphate as Biomedical Material. *Scientific Reports*, 7: 823.