

PENGARUH SUHU KALSINASI PADA PROSES DEKOMPOSISI DOLOMIT

Ahmad Royani, Eko Sulistiyono dan Deddy Sufiandi

*Pusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang Selatan
E-mail: ahmad.royani@lipi.go.id*

Diterima: 13 Juni 2016

Diperbaiki: 18 Agustus 2016

Disetujui: 15 September 2016

ABSTRAK

PENGARUH SUHU KALSINASI PADA PROSES DEKOMPOSISI DOLOMIT. Proses dekomposisi dolomit menjadi MgO dan CaO merupakan proses penting mengingat kedua oksida tersebut banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Untuk melihat pengaruh suhu proses kalsinasi terhadap dekomposisi dolomit menjadi MgO dan CaO, maka dilakukan kalsinasi. Proses kalsinasi menggunakan tungku *Muffle furnace* dengan suhu sebesar 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 dan 900 °C. Sebanyak kurang lebih 100 gram/sampel dolomit dimasukkan dalam tungku dan dipanaskan dengan laju pemanasan 10 °C/menit pada berbagai suhu yang kemudian ditahan masing-masing selama 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 dan 5 jam. Produk kalsinasi kemudian ditimbang dan dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction (XRD)* dan *Scanning Electron Microscope (SEM)*. Hasil percobaan menunjukkan kalsinasi dolomit semakin meningkat seiring dengan kenaikan suhu kalsinasi. Proses kalsinasi dolomit optimum tercapai pada suhu 900°C selama 4 jam dengan pengurangan berat mencapai 46,74 %. Berdasarkan perhitungan stoikiometri pengurangan berat 46,74 % menunjukkan bahwa 97,78 % dolomit terdekomposisi menjadi MgO dan CaO. Pembentukan fasa MgO dan CaO dari dolomit melalui dua tahapan yaitu tahapan pembentukan fasa MgO-CaCO₃ pada suhu 700 °C dan tahapan pembentukan CaO pada suhu 800 °C - 900 °C. Kesimpulan yang didapatkan dari proses kalsinasi dolomit ini adalah peningkatan suhu kalsinasi dapat meningkatkan proses dekomposisi dolomit menjadi fasa MgO dan CaO.

Kata kunci: Dekomposisi, Kalsinasi, Dolomit, Perubahan fasa

ABSTRACT

THE EFFECT OF CALCINATION TEMPERATURE ON THE DECOMPOSITION OF DOLOMITE. Decomposition of dolomite to MgO and CaO is important because both these oxides are widely used in various applications. To determine the effect of calcination temperature on the decomposition of dolomite to MgO and CaO, the calcination was investigated. The Muffle furnace was used to calcination process at temperatures of 500, 600, 700, 800 and 900 °C. A total of dolomite (100 gram) was put in a furnace and heated with a heating rate of 10 °C /min at various temperatures and then arrested with holding time 1, 2, 3, 4 and 5 hours, respectively. The calcined samples were then weight measured and characterized by X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscope (SEM). The experimental results indicated that the decomposition of dolomite increases with the increases of the calcination temperature. The optimum calcination conditions are achieved at 900 °C for 4 hours. Under the optimum conditions, the weight loss of dolomite can reach 46.74%. Based on stoichiometry calculations 46.74% weight reduction showed that 97.78% of dolomite decomposed into MgO and CaO. The decomposition of dolomite into CaO and MgO through two stages, namely stages of formation of MgO-CaCO₃ at 700 °C and CaO at 800 °C - 900 °C. The conclusions obtained from this calcination of dolomite is the raising of calcination temperature can improve the process of decomposition of dolomite into MgO and CaO.

Keywords: Decomposition, Calcination, Dolomite, Phase transformation

PENDAHULUAN

Dolomit merupakan batuan sedimen alami yang termasuk rumpun mineral karbonat [1,2]. Mineral dolomit murni secara teoritis mengandung 45,6% $MgCO_3$ atau 21,9% MgO dan 54,3% $CaCO_3$ atau 30,4% CaO . Rumus kimia mineral dolomit dapat ditulis meliputi $CaCO_3 \cdot MgCO_3$, $CaMg(CO_3)_2$ atau $Ca_xMg_{1-x}CO_3$, dengan nilai x lebih kecil dari satu [3]. Potensi dolomit di Indonesia cukup besar dan terbesar ditemukan mulai dari propinsi di Aceh hingga ke Papua dengan spesifikasi yang berbeda-beda. Di alam, dolomit jarang ditemukan dengan komposisi murni, karena umumnya mineral ini selalu terdapat bersama-sama (bercampur) dengan batu gamping, kwarsa, rijang, pirit, lempung dan pengotor lainnya. Dolomit merupakan mineral gabungan dari dua karbonat yakni magnesium karbonat ($MgCO_3$) dan kalsium karbonat ($CaCO_3$). Dolomit dapat berdekomposisi menjadi senyawa oksida berupa MgO dan CaO yang banyak digunakan pada berbagai aplikasi di industri [4-6]. MgO dapat digunakan sebagai bahan bata tahan api tahan suhu tinggi, bahan campuran semen, industri medis, bahan pembuatan pupuk dan sebagai bahan isolator. Sedangkan CaO banyak digunakan dalam industri pembuatan semen dan bahan industri kimia untuk pembuatan senyawa tertentu [5,6]. Dengan demikian proses dekomposisi dolomit menjadi MgO dan CaO merupakan proses penting walaupun membutuhkan energi dan bersifat endotermik.

Proses dekomposisi dolomit menjadi MgO dan CaO sudah banyak dilakukan baik secara *isothermal* maupun *non-isothermal* [7-12]. Variabel proses sangat berpengaruh terhadap pembentukan kurva dan puncak fasa MgO dan CaO . Peningkatan laju pemanasan dekomposisi menyebabkan peningkatan ketinggian puncak dari MgO dan CaO [7]. Mekanisme dekomposisi parsial MgO dari dolomit bermula dari lepasnya gas CO_2 dan terbentuknya ion O^{2-} pada permukaan dolomit. Kemudian Mg^{2+} bergerak menuju O^{2-} sedangkan Ca^{2+} bermigrasi membentuk $CaCO_3$ pada permukaan dolomit [8]. Pada penelitian kalsinasi dolomit alam menggunakan gas argon pada tekanan atmosfer, dekomposisi menjadi MgO dan $CaCO_3$ terjadi pada suhu 700 °C kemudian $CaCO_3$ berdekomposisi menjadi CaO pada suhu 700 °C hingga 900 °C [9]. Bentuk kristalin CaO dan MgO dapat dihasilkan dari dolomit melalui dua tahapan kalsinasi dalam gas CO_2 dan N_2 [10]. Penelitian dekomposisi pada dolomit *palygorskite-China* (DPC), suhu dekomposisi dolomit ditemukan 50 °C lebih rendah dari dolomit umum. Dekomposisi dolomit mulai terjadi pada suhu 500 °C dan berakhir pada 780 °C dengan puncak maksimum terdapat pada suhu 745 °C [13]. Proses dekomposisi magnesium karbonat terjadi pada suhu lebih rendah dari pada proses dekomposisi kalsium karbonat [14]. Fasa MgO terdekomposisi dari dolomit dan memisah pada suhu kalsinasi 850 °C [15]. Terbentuknya MgO pada proses dekomposisi magnesium karbonat melalui dua tahap

yakni proses dehidrasi dan pembentukan MgO [16]. Proses dekomposisi dolomit juga dipengaruhi oleh komposisi kandungan dari $CaCO_3$ dan $MgCO_3$. Penelitian mengenai pengaruh komposisi menyebutkan energi aktivasi meningkat 1,309 kJ/mol untuk setiap penambahan persen berat dari $CaCO_3$ [17].

Di Indonesia, Proses kalsinasi terhadap dolomit juga pernah dilakukan oleh Eko dkk. Penelitiannya difokuskan pada pengamatan terhadap ukuran dari dolomit itu sendiri. Hasil percobaannya menyebutkan bahwa ukuran butiran dolomit berpengaruh terhadap hasil kalsinasi, semakin besar ukuran dolomit yang diproses maka reaksi kalsinasi semakin cepat [18]. Banyak yang mempengaruhi keberhasilan proses dekomposisi dolomit menjadi MgO dan CaO . Faktor-faktor tersebut meliputi tekanan parsial dari gas CO_2 , massa dolomit, laju pemanasan, suhu dan waktu proses [19].

Pada penelitian ini, dolomit alam dimodifikasi dengan proses kalsinasi pada berbagai suhu dan waktu. Untuk melihat pengaruh suhu dan waktu proses kalsinasi terhadap dekomposisi dolomit, maka suhu kalsinasi divariasikan dari 500 hingga 900 °C dan waktu kalsinasi diperpanjang dari 1 sampai 5 jam. Berdasarkan referensi yang telah disebutkan bahwa peningkatan suhu dapat mempengaruhi proses dekomposisi dolomit menjadi fasa MgO dan CaO . Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu kalsinasi dalam proses dekomposisi dolomit menjadi fasa MgO dan CaO . Proses kalsinasi yang sederhana diharapkan mampu membentuk fasa MgO dan CaO dari dolomit sehingga dapat dimanfaatkan untuk keperluan berbagai aplikasi di industri.

METODE PERCOBAAN

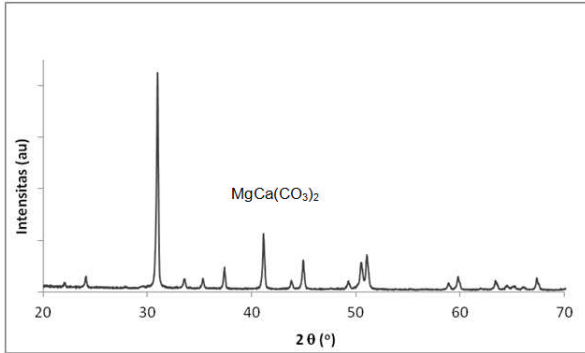
Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan meliputi serbuk dolomit dari daerah Jawa Timur (PT. XYZ) dengan komposisi kimia seperti pada Tabel 1. Pola difraksi sinar-X untuk dolomit digambarkan pada Gambar 1.

Proses kalsinasi menggunakan tungku *Muffle furnace (Carbolite-CWF 1300, England)*. Karakterisasi sampel dolomit dan produk kalsinasi menggunakan difraksi sinar-X (*Shimadzu XRD 7000*) untuk mengetahui fasa-fasa yang terkandung dalam dolomit dan hasil proses dekomposisi. *XRF (JEOL Element Analyzer*

Tabel 1. Analisis komposisi kimia dolomit dengan XRF

No	Senyawa	% Berat
1.	CaO	61,38
2.	MgO	25,73
3.	Na ₂ O	7,93
4.	SiO ₂	1,19
5.	Al ₂ O ₃	0,84
6.	P ₂ O ₅	0,54
7.	SO ₃	0,41
8.	K ₂ O	0,40
9.	Fe ₂ O ₃	0,37

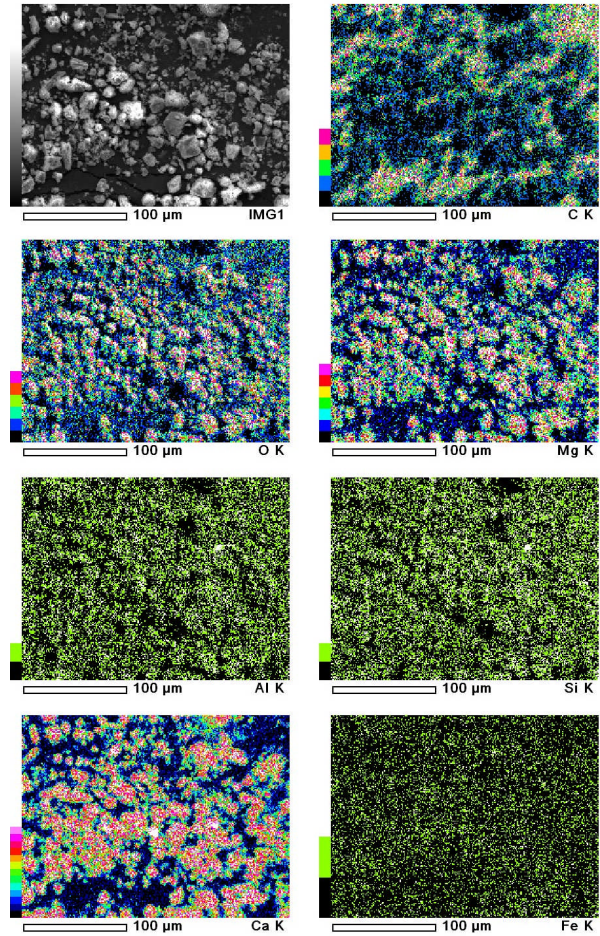


Gambar 1. Pola difraksi sinar-X dolomit.

JSX-3211) untuk analisa komposisi kimia mineral dolomit dan *Scanning Electron Microscope (SEM)* JEOL JSM-6390A untuk analisis struktur mikro dan morfologi partikel.

Cara Kerja

Bijih dolomit digerus sehingga berukuran kurang dari 60 mesh kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C selama 7 jam. Setiap sampel sebanyak 100 gram serbuk dolomit dimasukkan dalam tungku dan dipanaskan dengan laju pemanasan 10 °C/menit pada berbagai suhu. Suhu proses kalsinasi divariasikan dari 500 °C hingga 900 °C. Setelah suhu proses kalsinasi tercapai kemudian ditahan selama 1 jam hingga 5 jam untuk setiap variasi suhu. Produk kalsinasi kemudian ditimbang dan dikarakterisasi menggunakan difraksi sinar-X dan *Scanning Electron Microscope (SEM)*.



Gambar 2. Hasil SEM-Mapping Dolomit.

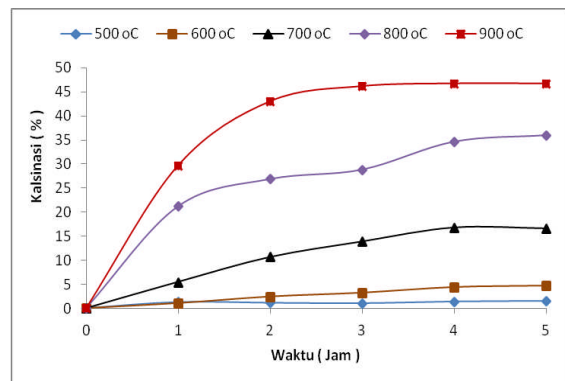
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Sampel Dolomit

Dolomit yang digunakan dari daerah Jawa Timur mempunyai komponen utama CaO dan MgO sebesar 61,38 % dan 25,73 % serta unsur pengotor lainnya seperti yang ditunjukkan dalam hasil analisis *XRF* pada Tabel 1. Pada analisa dolomit awal dengan menggunakan difraksi sinar-X (Gambar 1), terlihat sangat jelas bahwa puncak menunjukkan mineral dolomit dan tidak ditemukan puncak unsur-unsur pengotor dikarenakan kandungannya yang kecil. Hasil *SEM-Mapping* dolomit ditunjukkan pada Gambar 2. Dari Gambar 2 tersebut, dapat dilihat bahwa sebaran unsur Ca, Mg, O serta C yang ditandai dengan warna merah hampir merata dan berada pada seluruh permukaan yang menyatakan mineral dolomit. Sedangkan unsur pengotor seperti Fe, Si dan Al tidak terlihat.

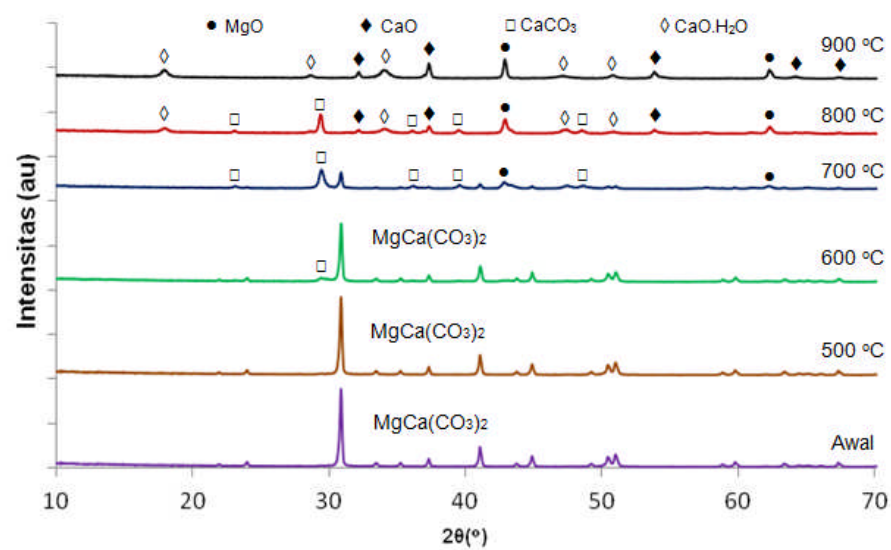
Proses Kalsinasi

Hasil proses kalsinasi dolomit pada berbagai suhu terhadap waktu ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan peningkatan fasa terdekomposisi atau



Gambar 3. Grafik hubungan persen kalsinasi dan waktu pada berbagai suhu.

persen kalsinasi selama proses pemanasan. Persen kalsinasi (fasa terdekomposisi) dihitung dari perubahan berat sampel terhadap berat awal karena berat yang hilang berupa gas CO₂ yang secara teoritik maksimal sebesar 47,8 %. Dapat dilihat bahwa persen kalsinasi maksimum dicapai pada suhu 900 °C yakni mencapai 46,74% atau setara dengan 97,78 % dari teoritik. Pada suhu 900 °C tersebut, dapat dikatakan bahwa telah terjadi proses dekomposisi dolomit menjadi MgO dan CaO secara total karena MgCa(CO₃)₂ hampir terdekomposisi



Gambar 4. Pola Difraksi Sinar-X Hasil Dekomposisi

secara sempurna (97,78%) menjadi MgO dan CaO. Hasil ini sesuai dengan yang dilakukan oleh P. Engler, dkk yang menyatakan bahwa proses dekomposisi total dolomit terjadi pada suhu 900 - 960 °C [20].

Selanjutnya pada suhu rendah reaksi cenderung berjalan lambat sehingga proses dekomposisi dolomit menjadi MgO dan CaO membutuhkan waktu yang panjang. Dapat dibandingkan bahwa pada suhu 500 °C hanya 1,6% fasa yang terdekomposisi menjadi MgO dan CaO selama 5 jam sedangkan pada suhu 900 °C hampir keseluruhan terdekomposisi menjadi MgO dan CaO.

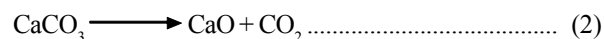
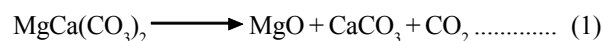
Pembentukan Fasa MgO dan CaO

Hasil analisis difraksi sinar-X terhadap dolomit setelah dilakukan proses kalsinasi dalam berbagai suhu ditunjukkan dalam Gambar 4. Pada suhu 500 °C dan 600 °C, belum ditemukan puncak MgO ataupun CaCO₃. Namun, pada 600 °C mulai muncul puncak CaCO₃ di sudut 2 pada posisi sudut 29,42°. Sedangkan pada suhu 700 °C, mulai terbentuk fasa MgO pada sudut 2 diposisi 42,94° dan 62,35° serta fasa CaCO₃ yang semakin banyak.

Hasil analisis difraksi sinar-X menyatakan bahwa proses dekomposisi dolomit menjadi MgO dan CaCO₃ mulai terbentuk pada suhu 700 °C. Pada suhu rendah (kurang dari 700 °C) puncak fasa MgO belum terbentuk dan masih sama seperti kondisi awal. Dari hasil analisis difraksi sinar-X juga dapat dijelaskan bahwa proses dekomposisi fasa dolomit (MgCa(CO₃)₂) menjadi MgO dan CaCO₃ mulai terjadi pada 700 °C. Hasil ini sesuai dengan yang dilakukan oleh K. Sasaki et al, yang menyatakan proses dekomposisi dolomit menjadi MgO mulai terjadi pada 700 °C [9].

Pada suhu 800 °C dan 900 °C, fasa MgO dan CaO sudah sangat jelas dan puncak-puncaknya juga semakin banyak. Hal ini terjadi karena pada suhu tersebut pembentukan MgO yang hampir sempurna dan senyawa

kalsit (CaCO₃) mengalami dekomposisi menjadi CaO [14]. Pada suhu 800 °C dan 900 °C, ditemukan juga fasa CaO.H₂O. Penyebab adanya fasa CaO.H₂O ini dimungkinkan karena sifatnya yang hidrokopis sehingga pada saat pendinginan atau penyimpanan terjadi reaksi dengan H₂O. Hasil – hasil pola difraksi sinar-X memperlihatkan bahwa mekanisme proses dekomposisi dolomit terjadi melalui dua tahapan sesuai dengan Persamaan (1) dan Persamaan (2).

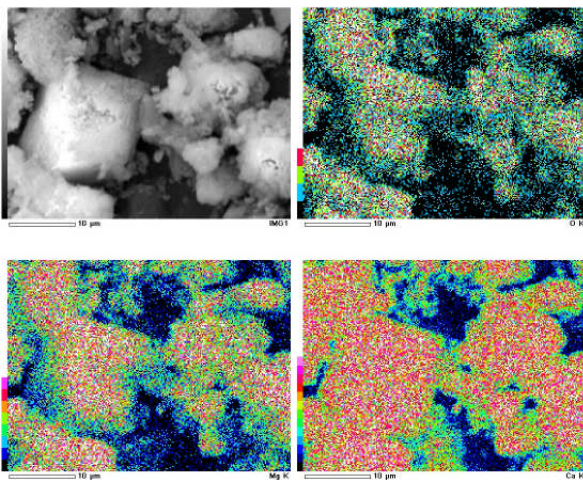


Reaksi pertama terjadi pada suhu sekitar 700 °C sedangkan reaksi kedua terjadi pada suhu diatas 800 °C. Reaksi pertama disebut juga dengan proses dekomposisi parsial sedangkan reaksi kedua disebut dengan proses dekomposisi total. Hasil penelitian ini sebanding dengan yang dilakukan oleh P. Engler, dkk yang menyatakan bahwa pembentukan MgO terjadi antara 550 °C - 765 °C, sedangkan CaO dibentuk antara 900 °C - 960 °C [20]. Hasil penelitian ini juga sesuai dengan yang dilakukan oleh K. Sasaki, dkk yang menyatakan bahwa CaCO₃ berdekomposisi menjadi CaO dan gas CO₂ pada suhu 700 °C hingga 900 °C [9]. Pada hasil proses dekomposisi ini juga terbentuk fasa Ca.H₂O, hal ini menunjukkan bahwa fasa CaO sudah cukup banyak sehingga fasa CaO ada yang menyerap air dari udara membentuk fasa Ca.H₂O.

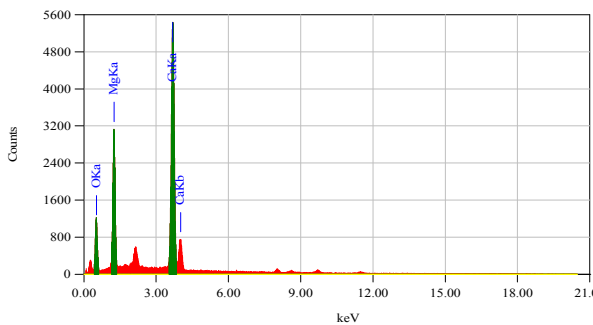
Morfologi Butiran

Hasil analisis SEM-Mapping mikro struktur butiran dolomit setelah dilakukan kalsinasi pada 900 °C selama 4 jam dilihat dalam Gambar 5. Dari hasil gambar SEM-Mapping tersebut, nampaknya unsur Ca

mendominasi seluruh permukaan butiran (ditunjukkan dengan warna merah yang pekat pada Gambar 5). Sementara untuk unsur Mg sebarannya lebih kecil dari unsur Ca (warna merah lebih sedikit dibandingkan dengan unsur Ca). Secara umum dapat dilihat bahwa sebaran butiran CaO dan MgO merata keseluruhan permukaan dengan intensitas yang berbeda. Hasil analisa kualitatif SEM-EDS butiran dolomit setelah dilakukan kalsinasi pada 900 °C selama 4 jam ditunjukkan dalam Gambar 6. Hasil analisa kualitatif SEM-EDS butiran dolomit setelah dilakukan kalsinasi pada suhu 900 oC selama 4 jam ditunjukkan dalam Gambar 6. Dari hasil analisa kualitatif SEM-EDS tersebut, butiran dolomit diketahui mengandung 17,47% Mg dan 41,67% Ca atau setara dengan 28,97% MgO dan 58,34% CaO.



Gambar 5. Hasil Foto SEM-Mapping Dolomit pada suhu 900 °C (pembesaran 3.000X).



ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.3505

Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%
O K	0.525	40.86	0.76	59.22
Mg K	1.253	17.47	0.23	16.67
Ca K	3.690	41.67	0.26	24.11
Total		100.00		100.00

Gambar 6. Hasil Foto SEM-EDS Dolomit pada suhu 900 °C

KESIMPULAN

Proses pembentukan fasa MgO dan CaO dari dolomit dapat dilakukan melalui proses kalsinasi. Proses kalsinasi dolomit berlangsung semakin cepat seiring

dengan kenaikan suhu kalsinasi yang ditandai dengan semakin meningkatnya persen kehilangan berat. Proses kalsinasi dolomit optimum dicapai pada suhu 900 °C selama 4 jam dengan pengurang berat sebesar 46,74 %. Berdasarkan perhitungan stoikiometri pengurangan berat 46,74 % menunjukkan bahwa 97,78 % dolomit terdekomposisi menjadi MgO dan CaO. Pembentukan fasa MgO dan CaO dari dolomit pada proses kalsinasi melalui dua tahapan yaitu tahapan pembentukan fasa MgO-CaCO₃ pada suhu 700 °C dan tahapan pembentukan CaO pada suhu 800 °C hingga 900 °C.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia yang telah mendanai penelitian ini melalui kegiatan Kompetensi Inti pada tahun anggaran 2016.

DAFTAR ACUAN

- [1]. A I. Casado et al. "Morphology and Origin of Dolomite in Paleosols and Lacustrine Sequences. Examples from the Miocene of the Madrid Basin". *Sedimentary Geology*, vol. 312, pp. 50-62, 2014.
- [2]. K. Hips et al. "Dolomitization of Triassic Microbial Mat Deposits (Hungary): Origin of Microcrystalline Dolomite". *Sedimentary Geology*, vol. 318, pp. 113-129, 2015.
- [3]. A.A Olajire. "A Review of Mineral Carbonation Technology in Sequestration of CO₂". *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 109, pp. 364-392, 2013.
- [4]. B.B Joanna et al. "A Novel Method for Simultaneous Determination of Selected Elements in Dolomite and Magnesia by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy with Slurry Sample Introduction". *Spectrochimica Acta Part B*, vol. 113, pp. 79-83, 2015.
- [5]. A. Buasri et al. "The Application of Calcium Oxide and Magnesium Oxide from Natural Dolomitic Rock for Biodiesel Synthesis". *Energy Procedia*, vol. 79, pp. 562 - 566, 2015.
- [6]. L. M. Correia et al. "Characterization and Application of Dolomite as Catalytic Precursor for Canola and Sunflower Oils for Biodiesel Production". *Chemical Engineering Journal*, vol. 269, pp. 35-43, 2015.
- [7]. I.M. Morsi, H.H. Ali. "Kinetics and Mechanism of Silicothermic Reduction Process of Calcined Dolomite in Magnetherm Reactor". *International Journal of Mineral Processing*, vol. 127, pp. 37-43, 2014.
- [8]. H. Galai. "Mechanism of Growth of MgO and CaCO₃ During a Dolomite Partial Decomposition". *Solid State Ionics*, vol. 178, pp. 1039-1047, 2007.

- [9]. K. Sasaki, et al. "Effect of Natural Dolomite Calcination Temperature on Sorption of Borate onto Calcined Products". *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 171, pp. 1-8, 2013.
- [10]. Ke Wang et al. "Role of $Mg_xCa_{1-x}CO_3$ on the Physical-Chemical Properties and Cyclic CO_2 Capture Performance of Dolomite by Two-step Calcinations". *Thermochimica Acta*, vol. 614, pp. 199-206, 2015.
- [11]. X. Zhang et al. "Reaction Kinetics of Dolomite and Portlandite". *Cement and Concrete Research*, vol. 66, pp. 11-18, 2014.
- [12]. C. Zhang et al. "The Effects of Hydration Activity of Calcined Dolomite (HCD) on the Silicothermic Reduction Process". *International Journal of Mineral Processing*, vol. 142, pp. 154-160, 2015.
- [13]. J. Xie et al. "The Thermochemical Sctivity of Dolomite Occurred in Dolomite-Palygorskite". *Applied Clay Science*, vol. 119, pp. 42-48, 2016.
- [14]. J.M. Valverde et al. "Ca-looping for Postcombustion CO_2 Capture: A Comparative Analysis on the Performances of Dolomite and Limestone". *Applied Energy*, vol. 138, pp. 202-215, 2015.
- [15]. J.A. Conesa et al. "Gasification and Pyrolysis of *Posidonia Oceanica* in the Presence of Dolomite". *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 113, pp. 680-689, 2015.
- [16]. L. X. Wei et al. "Preparation of Basic Magnesium Carbonate and Its Thermal Decomposition Kinetics in Air". *J. Cent. South Univ. Technol*, vol. 18, pp. 1865-1870, 2011.
- [17]. P. Gupta and D. Arnab. "The Effect of Composition on The Decomposition Behaviour Of Dolomite Nuggets". *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, vol. 2, pp. 321-324, 2016.
- [18]. S. Eko et al. "Pengaruh Ukuran Butiran Terhadap Struktur Kristal pada Proses Kalsinasi Parsial Dolomit". *Majalah Metalurgi*, vol. 3, pp.125-132, 2015.
- [19]. P. G. Caceres and E. K. Attiogbe. "Thermal Dekomposition of Dolomite and the Extraction of Its Constituents". *Mineral Engineering*, vol. 10, pp. 1165-1176, 1997.
- [20]. P. Engler, et al. "Non-isothermal. In Situ XRD Analysis of Dolomite Decomposition". *The Rigaku Journal*, vol. 5/No. 2, 1988.