



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KALSINASI DOLOMIT LAMONGAN UNTUK PEMBUATAN  
KALSIUM-MAGNESIUM OKSIDA SEBAGAI BAHAN BAKU  
KALSIUM DAN MAGNESIUM KARBONAT PRESIPITAT**

**SKRIPSI**

**ENI FEBRIANA  
0706200296**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM EKSTENSI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JULI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KALSINASI DOLOMIT LAMONGAN UNTUK PEMBUATAN  
KALSIUM-MAGNESIUM OKSIDA SEBAGAI BAHAN BAKU  
KALSIUM DAN MAGNESIUM KARBONAT PRESIPITAT**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana**

**ENI FEBRIANA  
0706200296**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM EKSTENSI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JULI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Eni Febriana

NPM : 0706200296

Tanda Tangan : 

Tanggal : 11 Juli 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Eni Febriana  
NPM : 0706200296  
Program Studi : Ekstensi Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Kalsinasi Dolomit Lamongan Untuk Pembuatan Kalsium-Magnesium Oksida Sebagai Bahan Baku Kalsium Dan Magnesium Karbonat Presipitat

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Ekstensi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Dewi Trisnantini, MT., PhD

(*Dewi Trisnantini*)

Penguji : Ir. Setiadi, M.Eng

(*Setiadi*)

Penguji : Dr. Eny Kusriani, S.Si

(*Eny Kusriani*)

Penguji : Dr. Ir. Nelson Saksono, MT

(*Nelson Saksono*)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juli 2011

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, zat Maha Kuasa yang senantiasa memberikan limpahan rahmat dan karuniaNya kepada hamba-hambaNya dan dengan ridhoNyalah sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan seminar ini dengan sebaik-baiknya. Shalawat dan salam semoga tercurahkan kepada Rasulullah SAW, keluarga, sahabat dan para pengikutnya hingga akhir zaman.

Makalah dengan judul **“Kalsinasi Dolomit Lamongan Untuk Pembuatan Kalsium-Magnesium Oksida Sebagai Bahan Baku Kalsium Dan Magnesium Karbonat Presipitat”** ini dibuat sebagai syarat yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan mata kuliah Seminar di Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Kimia Universitas Indonesia.

Selama proses penyusunan laporan seminar ini, penulis telah banyak mendapatkan masukan maupun bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

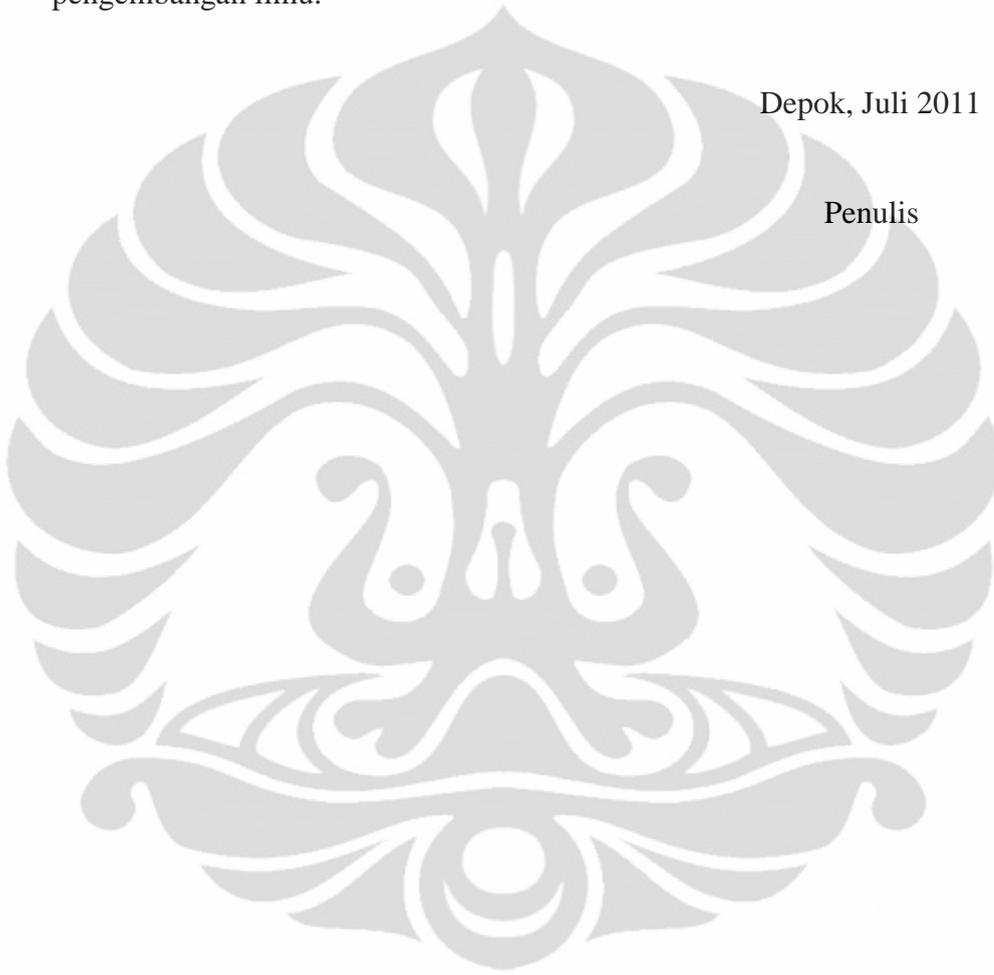
1. Ir. Dewi Tristantini, MT., PhD. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku ketua Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
3. Bapak Eko Sulistiyono ST selaku koordinator Program Penelitian Insentif Ristek Kalsium Karbonat di Pusat Penelitian Metalurgi.
4. Bapak Dr. Ir. Florentinus Firdiyono selaku pembimbing lapangan penulis.
5. Keluargaku yang sangat penulis kasihi, orang tua, suami, dan anakku yang memberikan dukungan materi dan moril, berupa kasih sayang, semangat, perhatian maupun doa.
6. Mahasiswa ekstensi angkatan 2007 yang telah memberikan saran, waktu luang, bantuan dan semangat kepada penulis.

7. Teman-teman dari Pusat Penelitian Metalurgi - LIPI yang senantiasa memberikan kemudahan dan semangat kepada penulis.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga laporan seminar ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juli 2011

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Eni Febriana  
NPM : 0706200296  
Program Studi : Ekstensi Teknik Kimia  
Departemen : Fakultas Teknik  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Kalsinasi Dolomit Lamongan Untuk Pembuatan Kalsium-Magnesium Oksida

Sebagai Bahan Baku Kalsium Dan Magnesium Karbonat Presipitat

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : 11 Juli 2011  
Yang menyatakan

  
(Eni Febriana)

## ABSTRAK

Nama : Eni Febriana  
Program Studi : Ekstensi Teknik Kimia  
Judul : Kalsinasi Dolomit Lamongan Untuk Pembuatan Kalsium-Magnesium Oksida Sebagai Bahan Baku Kalsium Dan Magnesium Karbonat Presipitat

Indonesia mempunyai cadangan mineral berbasis karbonat terutama dolomit yang dapat diolah menjadi bentuk kalsium-magnesium oksida yang mempunyai bidang aplikasi yang sangat luas dan nilai jual yang lebih tinggi. Untuk mendapatkan hasil yang optimal perlu dipelajari karakteristik proses kalsinasi dolomit tersebut, terutama mekanisme proses pembentukan senyawa oksida, pengaruh temperatur, dan ukuran partikel terhadap laju reaksi dan energi aktivasinya. Proses kalsinasi dolomit menggunakan bahan baku dolomit dari daerah Lamongan. Kondisi operasi yang diteliti berkisar pada rentang suhu 700-1000°C dengan ukuran butiran 0,5/4, 4/8, 8/20, 20/45, 45/80, dan -80 mesh. Karakterisasi material yang akan dilakukan meliputi karakterisasi komposisi bahan menggunakan XRF dan struktur kristal mineral menggunakan XRD. Pada temperatur 700°C terjadi pembentukan CaCO<sub>3</sub> dan MgO, sedangkan pada temperatur 800, 900, dan 1000°C hanya terjadi reaksi dekomposisi CaCO<sub>3</sub> menjadi CaO. Kondisi optimum diperoleh pada kalsinasi dengan temperatur 900°C selama 5 jam dengan partikel berukuran 0,5/4 mesh. Dengan asumsi reaksi berorde satu ( $n = 1$ ) diperoleh dua area nilai energi aktivasi. Pada temperatur 700-800°C  $E_a = 33$  kkal/mol dan faktor frekuensi  $A = 2,03 \cdot 10^{15}$ /jam, sedangkan pada temperatur 800-1000°C  $E_a = 3,14$  kkal/mol dan  $A = 20,6$ /jam.

Kata kunci :

Mineral karbonat, dolomit, kalsinasi, temperatur, mesh, XRD, XRF

## ABSTRACT

Name : Eni Febriana  
Study Program : Extension of Chemical Engineering  
Title : Calcination of Lamongan Dolomite to Produce Calcium-Magnesium Oxide as Raw Material for Calcium and Magnesium Carbonate Precipitates

Indonesia has a carbonate-based mineral reserves, especially dolomite that can be processed into the form of calcium-magnesium oxide which has a very wide field of application and higher selling values. To obtain optimal results need to learn the characteristics of dolomite calcination process, especially the mechanism of the formation of oxide compounds, the effect of temperature, and particle size on reaction rate and activation energy. Dolomite calcination process using raw materials from local dolomite Lamongan. Operating conditions studied ranged in temperature range 700-1000°C with grain size 0.5/4, 4/8, 8/20, 20/45, 45/80, and -80 mesh. Characterization of material to be performed include the characterization of material composition using XRF and crystal structure of minerals using XRD. At temperatures 700°C the formation of  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{MgO}$ , whereas at temperatures 800, 900, and 1000°C occurs only decomposition reaction of  $\text{CaCO}_3$  into  $\text{CaO}$ . The optimum conditions obtained in the calcination temperature 900°C for 5 hours with a particle size of 0.5/4 mesh. Assuming the reaction of order one ( $n = 1$ ) obtained two areas of activation energy. At the temperature 700-800°C  $E_a = 33$  kcal/mol and faktor frekuensi  $A = 2,03 \cdot 10^{15}$ /hour, but at the temperature 800-1000°C  $E_a = 3,14$  kcal/mol and  $A = 20,6$ /hour.

Keywords:

Carbonate minerals, dolomite, calcination, temperature, mesh, XRD, XRF

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	2
1.4 MANFAAT PENELITIAN.....	3
1.5 BATASAN MASALAH.....	3
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 BAHAN GALIAN INDUSTRI.....	4
2.2 DOLOMIT.....	5
2.2.1 Sifat Kimia Dolomit.....	6
2.2.2 Sifat Fisika Dolomit.....	6
2.2.3 Sebaran Dolomit di Indonesia.....	7
2.2.4 Penggunaan Dolomit.....	9
2.3 KALSIMUM KARBONAT.....	11
2.3.1 Sifat Fisis Kalsium Karbonat.....	12
2.3.2 Sifat Termokimia Kalsium Karbonat.....	12
2.4 MAGNESIUM KARBONAT.....	12
2.4.1 Sifat Fisis Magnesium Karbonat.....	13
2.4.2 Sifat Termodinamika Magnesium Karbonat.....	13
2.5 KALSIMUM OKSIDA.....	14
2.5.1 Sifat Fisik Kalsium Oksida.....	14
2.5.2 Sifat Termokimia Kalsium Oksida.....	14
2.5.3 Produksi Kalsium Oksida.....	15
2.5.4 Reaksi Kalsium Oksida.....	15
2.5.5 Analisis Kalsium Oksida.....	16
2.5.6 Bahaya Kalsium Oksida.....	16
2.6 MAGNESIUM OKSIDA.....	16
2.6.1 Sifat Fisis Magnesium Oksida.....	17
2.6.2 Sifat Termokimia Magnesium Oksida.....	17

2.6.3	Produksi Magnesium Oksida.....	17
2.6.4	Reaksi Magnesium Oksida.....	18
2.7	<b>KALSINASI</b> .....	19
2.7.1	Kalsinasi Batu Kapur.....	20
2.7.2	Reaksi Kalsinasi.....	20
2.7.2.1	Kalsium Karbonat.....	20
2.7.2.2	Magnesium Karbonat.....	21
2.7.2.3	Dolomit Dan Magnesian/Batu Kapur Dolomitik.....	21
2.7.3	Kinetika Kalsinasi.....	22
2.7.3.1	Tahap Kalsinasi.....	22
2.7.3.2	Disosiasi Batu Kapur Dengan Kadar Kalsium Tinggi.....	23
2.7.3.3	Pemisahan Dolomit Dan Magnesian/Batu Kapur Dolomitik.....	24
2.7.4	Faktor yang Mempengaruhi Kalsinasi.....	24
2.8	<b>XRD (X-RAY DIFFRACTION)</b> .....	30
2.9	<b>XRF (X-RAY FLUORESCENCE)</b> .....	33
	<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b> .....	36
3.1	<b>DIAGRAM ALIR PENELITIAN</b> .....	36
3.2	<b>RANCANGAN PENELITIAN</b> .....	37
3.2.1	Preparasi Sampel.....	37
3.2.2	Analisis Sampel Awal.....	37
3.2.3	Kalsinasi Dolomit.....	38
3.2.4	Analisis Produk Akhir.....	38
3.3	<b>ALAT DAN BAHAN PENELITIAN</b> .....	38
3.3.1	Alat yang Digunakan.....	38
3.3.2	Bahan yang Digunakan.....	41
3.4	<b>PENGOLAHAN DATA</b> .....	41
3.4.1	Konstanta Laju Reaksi.....	41
3.4.2	Energi Aktivasi.....	42
	<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	44
4.1	<b>ANALISIS SAMPEL DOLOMIT</b> .....	44
4.1.1	Hasil Analisis Kuantitatif.....	44
4.1.2	Hasil Analisis Kualitatif.....	45
4.2	<b>KALSINASI DOLOMIT</b> .....	46
4.2.1	Temperatur Kalsinasi Dolomit.....	47
4.2.2	Analisis Percobaan Kalsinasi Dolomit pada Berbagai Temperatur.....	51
4.2.3	Mekanisme Reaksi Kalsinasi Dolomit.....	54
4.3	<b>PENGARUH SUHU TERHADAP HASIL KALSINASI DOLOMIT</b> .....	56
4.4	<b>PENGARUH UKURAN PARTIKEL TERHADAP HASIL KALSINASI DOLOMIT</b> .....	60
4.5	<b>KINETIKA KALSINASI</b> .....	64
4.5.1	Konstanta Laju Reaksi.....	64
4.5.2	Energi Aktivasi.....	68

<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>70</b>
DAFTAR REFERENSI.....	xvii
LAMPIRAN	71



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Variasi tekanan disosiasi kalsit terhadap temperatur.....	21
Gambar 2.2 Ilustrasi tentang proses yang terlibat dalam disosiasi batu kapur.....	24
Gambar 2.3 Pola Difraksi Sinar X.....	31
Gambar 2.4 Skema peralatan XRF.....	33
Gambar 2.5 Prinsip analisis material dengan XRF.....	34
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	36
Gambar 3.2 <i>Jaw Crusher</i> .....	39
Gambar 3.3 <i>Vibrating machine</i> .....	39
Gambar 3.4 Krusibel Porselen.....	40
Gambar 3.5 <i>Spreat furnace</i> tipe CARBOLITE.....	40
Gambar 4.1 Pola difraksi sinar-X sampel dolomit Lamongan.....	45
Gambar 4.2 Grafik tekanan CO <sub>2</sub> (P <sub>CO2</sub> ) terhadap temperatur pada sistem dekomposisi CaCO <sub>3</sub> .....	50
Gambar 4.3 Grafik tekanan CO <sub>2</sub> (P <sub>CO2</sub> ) terhadap temperatur pada sistem dekomposisi MgCO <sub>3</sub> .....	51
Gambar 4.4 Pola difraksi dolomit -80 mesh yang dikalsinasi selama 6 jam pada berbagai temperatur. RT = <i>Room temperature</i> , D = Dolomit, C = <i>Calcite</i> (CaCO <sub>3</sub> ), M = MgO, dan L = CaO.....	52
Gambar 4.5 Kurva perubahan konsentrasi CO <sub>2</sub> yang terbentuk pada berbagai temperatur kalsinasi.....	58
Gambar 4.6 Kurva perubahan konversi dolomit ukuran -80 mesh pada berbagai temperatur kalsinasi.....	59
Gambar 4.7 Perbedaan Ukuran Partikel Sampel Dolomit (a: 0,5/4 mesh b: 4/8 mesh, c: 8/20 mesh, d: -80 mesh, e: 45/80mesh, dan f: 20/45 mesh).....	60

Gambar 4.8 Kurva perubahan konversi berbagai ukuran partikel dolomit pada temperatur kalsinasi 900°C.....	62
Gambar 4.9 Plot $\ln \frac{2C_{A0} - C_C}{2C_{A0}}$ sebagai fungsi dari t.....	66
Gambar 4.10 Plot $\ln k$ sebagai fungsi dari 1/T.....	67

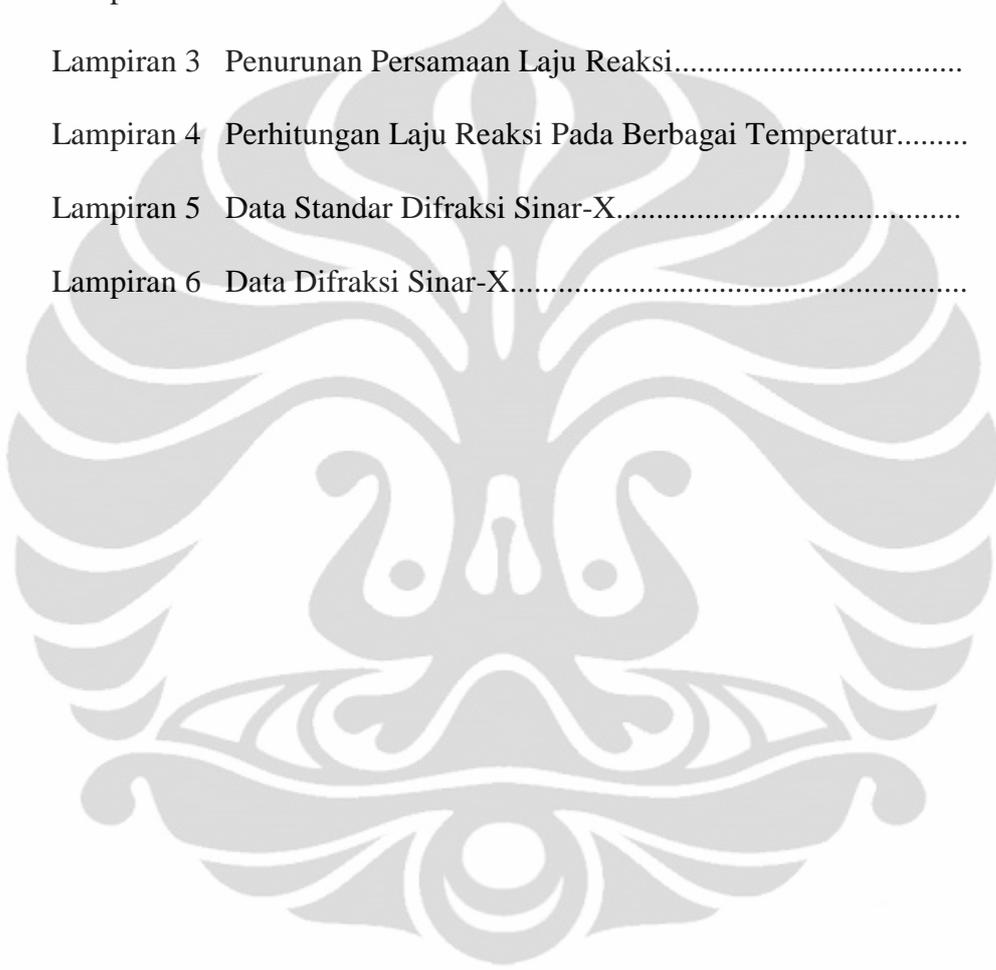


## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Tata Nama Batu Gamping Berdasarkan Kandungan Magnesium.....	6
Tabel 2.2 Lokasi dan Cadangan Dolomit di Indonesia.....	7
Tabel 2.3 Berbagai jenis mineral magnesium karbonat.....	13
Tabel 4.1 Komposisi kimia dolomit Lamongan.....	44
Tabel 4.2 Nilai <i>d-spacing</i> sampel dolomit pada berbagai sudut difraksi.....	46
Tabel 4.3 Data-data termokimia.....	49
Tabel 4.4 Data <i>d-spacing</i> sampel dolomit -80 mesh yang dikalsinasi selama 6 jam pada berbagai temperatur (D = Dolomit, C = Calcite (CaCO <sub>3</sub> ), M = MgO, dan L = CaO).....	53
Tabel 4.5 Perhitungan stoikiometris reaksi kalsinasi dolomit.....	57
Tabel 4.6 Total CO <sub>2</sub> yang terbentuk selama kalsinasi pada berbagai temperatur kalsinasi.....	57
Tabel 4.7 Ukuran partikel dolomit.....	61
Tabel 4.8 CO <sub>2</sub> yang terbentuk selama kalsinasi untuk berbagai ukuran partikel.....	61
Tabel 4.9 Bulk Density Dolomit pada Berbagai Ukuran Partikel.....	63
Tabel 4.10 Perhitungan konstanta laju reaksi pada temperatur 800°C...	65
Tabel 4.11 Data konstanta laju reaksi pada beberapa temperatur kalsinasi dengan orde reaksi $n = 1$ .....	66
Tabel 4.12 Perhitungan Energi Aktivasi.....	67
Tabel 4.13 Energi aktivasi reaksi dekomposisi dolomit dari hasil berbagai penelitian.....	70

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Data Percobaan Variasi Temperatur.....	71
Lampiran 2 Data Percobaan Variasi Ukuran Partikel.....	73
Lampiran 3 Penurunan Persamaan Laju Reaksi.....	75
Lampiran 4 Perhitungan Laju Reaksi Pada Berbagai Temperatur.....	77
Lampiran 5 Data Standar Difraksi Sinar-X.....	79
Lampiran 6 Data Difraksi Sinar-X.....	82



# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 LATAR BELAKANG

Bahan galian industri tersebar di seluruh pelosok Indonesia, akan tetapi peranan bahan galian industri ini sering tidak disadari oleh manusia di sekitarnya sehingga pengolahannya belum optimal.

Salah satu bahan galian yang penting dan banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari adalah mineral berbasis karbonat yang umumnya terdapat dalam bentuk batuan kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), maupun magnesit ( $\text{MgCO}_3$ ).

Keberadaan mineral ini, terutama dolomit dan kalsit, masih sangat berlimpah di Indonesia, meliputi daerah Jawa Tengah, Jawa Barat, Jawa Timur, Aceh, Sumatera Barat dan Utara, Nusa Tenggara Timur, dan Sulawesi Tenggara. Jumlah cadangan total bahan tersebut sekitar 1.600.000 ton [Madiadipoera, 2006].

Pada saat ini pemakaian mineral ini hanya sebatas untuk keperluan bahan bangunan, semen, dan pupuk, dengan nilai jual yang sangat rendah. Hal ini hanya memberikan manfaat ekonomi yang minim dan dirasakan kurang dapat meningkatkan taraf hidup masyarakat di sekitar daerah penghasil mineral tersebut. Sebagai contoh, dolomit di daerah Lamongan dan Gresik digunakan sebagai bata bangunan dan bahan tahan api dengan harga jual Rp. 1.000,-/kotak, sedangkan dolomit untuk pupuk mempunyai harga jual Rp. 1.000,-/kg.

Sebenarnya mineral ini dapat diolah menjadi kalsium dan magnesium oksida melalui proses kalsinasi. Kalsium dan magnesium oksida ini dapat digunakan dalam berbagai bidang industri seperti untuk bahan pengisi dalam industri kertas dan plastik, bahan *adhesive*, bahan farmasi, dan lain sebagainya, yang akan mempunyai nilai jual lebih tinggi. Akan tetapi pengolahan batuan kapur oleh sebagian besar industri rakyat sampai saat ini masih menggunakan cara kalsinasi konvensional. Proses kalsinasi dilakukan berdasarkan kebiasaan dan pengalaman semata, sehingga hasil yang diperoleh belum optimal. Untuk mendapatkan hasil yang optimal perlu dipelajari karakteristik proses kalsinasi tersebut.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengetahui karakteristik proses kalsinasi dolomit. Dolomit dari berbagai daerah telah diteliti proses dekomposisinya. Shahraki, *et al.* [Shahraki, 2009] meneliti dekomposisi dolomit dari Iran sedangkan Meriçboyu, *et al.* [Meriçboyu, 1994] meneliti dekomposisi dolomit dari Turki. Beberapa penelitian dilakukan dengan menggunakan berbagai macam peralatan analisis seperti *Thermogravimetric Analysis* dan *Differential Thermal Analysis* [Shahraki, 2009; Samtani, 2001; 2002], *Neutron Thermodiffractometry* [De Aza, 2002], dan *In Situ XRD* [Angler, 1988]. Berbagai variasi kondisi operasi dekomposisi dolomit juga telah dilakukan, seperti dekomposisi dolomit pada tekanan parsial CO<sub>2</sub> tinggi [Beruto, 2003]. Sementara penelitian tentang dekomposisi dolomit dari Indonesia belum banyak dilakukan. Amri, *et al.* [Amri, 2007] telah meneliti tentang pengaruh suhu dan ukuran butir terhadap kalsinasi batu gamping. Penelitian lokal lain tentang dolomit belum menyinggung secara mendalam mengenai dekomposisi dolomit, seperti Sastrawiguna [Sastrawiguna, 2000] dan Yustanti, *et al.* [Yustanti, 2006].

Untuk itu perlu dipelajari lebih lanjut mengenai kalsinasi dolomit ini agar diketahui karakteristik proses dekomposisinya. Dipilih dolomit dari daerah Lamongan Jawa Timur karena cadangannya yang relatif besar dan kemurniannya cukup tinggi dibandingkan dengan dolomit dari daerah lain di sekitarnya, yaitu sekitar 98%. Variabel yang diperkirakan berpengaruh terhadap proses kalsinasi dolomit adalah suhu dan ukuran butir.

## 1.2 RUMUSAN MASALAH

Bagaiman pengaruh suhu dan ukuran butiran terhadap konstanta laju reaksi dan energi aktivasi untuk kalsinasi dolomit dari Lamongan sehingga kita dapat menentukan kondisi operasi yang optimal serta dapat meminimalisir pemborosan energi.

## 1.3 TUJUAN PENELITIAN

1. Mengetahui pengaruh suhu dan ukuran butiran terhadap laju reaksi dan energi aktivasi dari proses kalsinasi dolomit.
2. Mengetahui mekanisme proses pembentukan senyawa oksida melalui kalsinasi pada berbagai temperatur.

3. Mendapatkan kondisi optimum untuk pembentukan kalsium dan magnesium oksida.

#### **1.4 MANFAAT PENELITIAN**

1. Sebagai masukan untuk mengembangkan penelitian lebih lanjut pada sintesis kalsium dan magnesium karbonat presipitat.
2. Untuk meningkatkan nilai tambah mineral sehingga diharapkan dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat di sekitar lokasi sumberdaya mineral tersebut.
3. Pada gilirannya dapat berpartisipasi dalam menghemat devisa akibat berkurangnya import kalsium-magnesium karbonat presipitat untuk keperluan industri.

#### **1.5 BATASAN MASALAH**

1. Proses kalsinasi dolomit untuk pembuatan kalsium dan magnesium oksida menggunakan bahan baku dolomit dari daerah Lamongan.
2. Kondisi operasi yang diteliti pada rentang suhu 700-1000°C dengan ukuran butiran 0,5/4, 4/8, 8/20, 20/45, 45/8, dan -80 mesh.

#### **1.6 SISTEMATIKA PENULISAN**

##### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penulisan, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

##### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi dasar teori yang digunakan untuk menjelaskan proses yang terjadi pada masalah yang dibahas.

##### **BAB 3 METODE PENELITIAN**

Berisi metode dan prosedur yang akan digunakan dalam pengambilan dan pengolahan data dalam proses kalsinasi dolomit.

##### **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi hasil yang diperoleh dalam penelitian dan pembahasannya.

##### **BAB 5 KESIMPULAN**

Berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 BAHAN GALIAN INDUSTRI**

Bahan galian industri adalah mineral industri dan batuan, yaitu semua bahan galian di luar mineral logam dan radioaktif yang mempunyai kegunaan langsung untuk berbagai industri.

Secara geologi bahan galian industri terdapat dalam semua formasi batuan, mulai dari formasi batuan berumur pra-tercier (>66 juta tahun) sampai kuartar (<1,7 juta tahun), baik yang berasosiasi dengan batuan beku dalam dan batuan vulkanik, maupun yang berasosiasi dengan batuan sedimen dan batuan malihan. Bahan galian industri sangat erat kaitannya dengan kehidupan sehari-hari, bahkan dapat dikatakan bahwa manusia hidup tidak dapat terlepas dari bahan galian industri. Dengan kata lain bahwa bahan galian industri sebenarnya sangat vital bagi kehidupan manusia. Hampir semua peralatan rumah tangga, gedung, bangunan, air, obat, kosmetik, barang pecah belah, dan lain-lain, dapat dibuat secara langsung dari bahan galian industri, atau dari hasil pengolahan bahan-bahan tersebut.

Secara garis besar bahan galian industri dapat dibedakan atas enam kelompok berdasarkan pada batuan-batuan tempat terdapatnya bahan galian tersebut, yaitu :

Kelompok I : Bahan galian industri yang berkaitan dengan batuan sedimen.

Kelompok ini dibagi atas dua sub kelompok, yaitu sub kelompok A yang berkaitan dengan batu gamping dan sub kelompok B yang berkaitan dengan batuan sedimen lainnya.

Kelompok II : Bahan galian industri yang berkaitan dengan batuan gunung api.

Kelompok III : Bahan galian industri yang berkaitan dengan intrusi plutonik batuan asam dan ultra basa.

Kelompok IV : Bahan galian industri yang berkaitan dengan endapan letakan.

Kelompok V : Bahan galian industri yang berkaitan dengan proses ubahan hidrotermal.

Kelompok VI : Bahan galian industri yang berkaitan dengan batuan malihan (metamorf).

Berkembangnya berbagai industri dan meningkatnya pembangunan fisik di berbagai sektor selama dasawarsa terakhir ini menyebabkan kebutuhan bahan galian industri terus-menerus meningkat, baik sebagai bahan baku dan bahan mentah maupun sebagai bahan pembantu dan penunjang. Hal ini membuka peluang baru bagi para pengusaha bahan galian industri dan industri hilir [Madiadipoera, 2006].

## 2.2 DOLOMIT

Dolomit merupakan salah satu contoh bahan galian industri penting yang termasuk kelompok mineral karbonat. Batuan dolomit pertama kali dideskripsikan oleh mineralogis Prancis bernama Deodat de Dolomieu pada tahun 1791 dari tempat terdapatnya di daerah Pegunungan Alpen Selatan. Batuan ini diberi nama Dolomit oleh De Saussure, dan sekarang pegunungan tersebut disebut dolomit. Dolomieu menginformasikan bahwasannya batuan dolomit adalah seperti batu gamping, tetapi mempunyai sifat yang tidak sama dengan batu gamping, yaitu pada saat ditetesi larutan asam batuan dolomit tidak membuih. Mineral yang tidak bereaksi tersebut dinamakan dolomit. Kadang-kadang dolomit juga disebut *dolostone* [Lalu, 2010].

Dolomit tergolong dalam batuan sedimen karbonat yang merupakan kelas batuan sedimen. Batuan sedimen adalah batuan yang terbentuk akibat proses pembatuan atau *lithifikasi* dari hasil proses pelapukan dan erosi yang kemudian tertransportasi dan seterusnya terendapkan.

Dolomit terutama terdiri atas dua mineral karbonat yaitu kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) dan magnesit ( $\text{MgCO}_3$ ). Mineral dolomit murni secara teoritis mengandung 45,6%  $\text{MgCO}_3$  atau 21,9% MgO dan 54,3%  $\text{CaCO}_3$  atau 30,4% CaO. Mineral dolomit dapat dituliskan dengan rumus kimia  $\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$ ,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  atau  $\text{Ca}_x\text{Mg}_{1-x}\text{CO}_3$ , dengan nilai  $x$  kurang dari satu. Kandungan unsur magnesium pada dolomit menentukan nama dolomit tersebut. Adapun tata nama batu gamping berdasarkan kandungan magnesiumnya dapat disajikan dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1. Tata Nama Batu Gamping Berdasarkan Kandungan Magnesium [Oates, 1998]

Nama Batuan	Kadar Dolomit (%)	Kadar MgO (%)
Batu Gamping	0 - 5	0,1 - 1,1
Batu Gamping Magnesium	5 - 10	1,1 - 2,2
Batu Gamping Dolomitan	10 - 50	2,2 - 10,9
Dolomit Berkalsium	50 - 90	10,9 - 19,9
Dolomit	90 - 100	19,9 - 21,8

Berkaitan dengan hal tersebut di atas, karena sumber magnesium berasal dari air laut sedang batu gamping menjadi dolomit karena proses pelindihan (*leaching*), maka kebanyakan secara stratigrafis dolomit didapatkan di bagian bawah seri batu gamping [Lalu *et al.*, 2010].

### 2.2.5 Sifat Kimia Dolomit

1. Suhu pembentukan bahan tahan api = 905 – 1200°C.
2. Suhu leleh = 1415-2800°C.
3. Kandungan MgO lebih dari 19 %, kandungan ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) kurang dari 2 %.
4. Dolomit harus dipanaskan dulu sebelum dipakai untuk bata tahan api.
5. Pada temperatur 737°C akan terjadi reaksi dekomposisi membentuk  $\text{MgCO}_3$  dan  $\text{CaCO}_3$  dan MgO dengan melepaskan  $\text{CO}_2$ .
6. Sebelum dijadikan sebagai bata refraktori, dolomit harus distabilkan menjadi bentuk  $3\text{CaOSiO}_2$  agar mempunyai daya tahan terhadap air. Penstabilan dilakukan dengan peremukan dolomit, kemudian dicampur dengan air (12%) dan dextrin (5%), dicetak, diangin-anginkan, kemudian dipanaskan 1350-1450°C
7.  $\text{SiO}_2$  yang ditambahkan harus banyak untuk mengikat CaO bebas, umumnya dalam bentuk silikat  $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (serpentin) [Lalu *et al.*, 2010].

### 2.2.6 Sifat Fisik Dolomit

1. Warna sedikit merah muda atau bisa tidak berwarna, putih, kuning, abu-abu, coklat, atau bahkan hitam ketika besi hadir di dalam kristal.

2. Kilapnya seperti mutiara, bening seperti kaca, atau buram.
3. Sistem kristal trigonal
4. Pembelahan sempurna di tiga arah membentuk rhombohedral.
5. Pecahan berbentuk konkoidal.
6. Tingkat kekerasan 3,5-4 skala Mohs.
7. Berat jenis rata-rata 2,86.
8. Goresan berwarna putih.
9. Karakteristik lain: tidak seperti kalsit, sifat berbuih apabila ditetesi dengan asam hangat atau HCl dingin sangat lemah.
10. Asosiasi mineral: termasuk kalsit, mineral bijih sulfida, fluorit, barit, kwarsa, dan kadang-kadang dengan emas [Dolomite, 2010].

### 2.2.7 Sebaran Dolomit di Indonesia

Penyebaran dolomit yang cukup besar terdapat di Propinsi Sumatera Utara, Sumatera Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Madura, dan Papua. Di beberapa daerah sebenarnya juga terdapat potensi dolomit namun jumlahnya relatif jauh lebih kecil dan hanya berupa guratan-guratan pada endapan batu gamping.

Berikut ini disajikan tabel lokasi dan perkiraan cadangan dolomit di Indonesia.

Tabel 2.2. Lokasi dan Cadangan Dolomit di Indonesia [Madiadipoera, 2006]

Lokasi	Sumber Daya (Ton)		Keterangan
	Hipotetik (ribu)	Terukur (ribu)	
Jawa Tengah			
- Desa Dawan, Kec. Gunem, Kab. Rembang	-	156	Sebaran tidak diketahui
- Desa Tegaldowo, Kec. Giriwoyo, Kab. Wonogiri	10.000	-	MgO = 10,99%

Tabel 2.2. Lokasi dan Cadangan Dolomit di Indonesia (*lanjutan 1*)

Lokasi	Sumber Daya (Ton)		Keterangan
	Hipotetik (ribu)	Terukur (ribu)	
Jawa Timur			
- Pangpong, Kec. Labang, Kab. Bangkalan	215	-	CaO = 31, 55 – 55,38%, MgO =
- Desa Socah, Kec. Socah, Kab. Bangkalan	436.901	-	0,25 – 21, 67%
- Sekapuk, Kec. Dukun, Kab. Gresik	13.500	-	MgO = 13,44 – 16,02%
- Desa Sukodono, Kec. Panceng, Kab. Gresik	15	-	Teba rata-rata 35 m
- G.Kaklak, Desa Golokan, Kec. Sedayu, Kab. Gresik	70.000	-	-
- Desa Kebonagung, Kec. Ujungpangkah, Kab. Gresik	50	-	-
- Desa Sekapuk, Kec. Ujungpangkah, Kab. Gresik	13.500	-	-
- Desa Pringkulu, Kec. Pringkulu, Kab. Pacitan	2.000	-	Luas sebaran = 30 Ha, warna = putih, MgO =
- G.Nganten, G. Ngimbang, Kec. Palang, Kab. Tuban	12.000	-	18,5%, MgO = 14, 5%
Nangroe Aceh Darussalam			
- Kaloi, Kec. Temiang Hulu, Kab. Aceh Timur	-	156.000	MgO rata-rata 19,84, luas sebaran 95 Ha
- Kaloi, Kec. Temiang Hulu, Kab. Aceh Timur	-	7.800	-
- P.Tiga, Langsa, Kec. Temiang Hulu, Kab. Aceh Timur	110.000	-	-

Tabel 2.2. Lokasi dan Cadangan Dolomit di Indonesia (*lanjutan 2*)

Lokasi	Sumber Daya (Ton)		Keterangan
	Hipotetik (ribu)	Terukur (ribu)	
Nusa Tenggara Timur			
- Nuaf Unun, Kec. Miamaffo Barat, Kab. Timor Tengah Utara	78.000	-	CaO = 38,33%, MgO = 14,35%,
- Lemon, Kec. Miamaffo Timur, Kab. Timor Tengah Utara	500.000	-	Luas sebaran 100 Ha CaO = 38,33%, MgO = 16,38%,
Sumatera Barat			
- Halaban, Kec. Payakumbuh, Kab. Limapuluh Kota	13.000	-	CaO = 31,23%, MgO = 19,69%,
- Bukit Talaras, Kec. Sangir, Kab. Solok	3.900	-	Luas sebaran 50 Ha
Sumatera Utara			
- Desa Susuk, Kec. Payung, Kab. Karo	30.000	-	CaO = 30,26 – 30,41%, MgO = 21,35 – 21,45%
- Desa Kutakepar, Kec. Payung, Kab. Karo	30.000	-	CaO = 30,58%

### 2.2.8 Penggunaan Dolomit

Penggunaan dolomit dalam industri tidak seluas penggunaan batu gamping dan magnesit. Kadang-kadang penggunaan dolomit ini sejalan atau sama dengan penggunaan batu gamping atau magnesit untuk suatu industri tertentu.

Bahan tambang dolomit dapat dipergunakan baik secara langsung, dalam bentuk dolomit yang sudah dikalsinasi, maupun produk kimia dari dolomit.

1. Penggunaan dolomit secara langsung, adalah untuk :
  - a. Menetralsir tanah yang sudah asam dan menahan keasaman yang ditimbulkan oleh pupuk urea. Pemberian pupuk yang terlalu banyak

(dengan urea maupun kalium) akan menurunkan kandungan Mg. Dengan pemberian dolomit, pH tanah akan meningkat sehingga unsur-unsur N, P, K akan menjadi semakin baik.

- b. Mempercepat hidrasi semen, yaitu dengan menambahkan dolomit pada semen.
  - c. Merekatkan rekahan-rekahan pada kayu. Batu gamping atau dolomit dapat digunakan sendiri-sendiri atau secara bersamaan sebagai dempul rekahan.
2. Penggunaan dolomit yang sudah dikalsinasi, adalah untuk :
- a. Semen Magnesium Oksiklorida ( $3\text{Mg}(\text{OH})_2\text{MgCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  atau  $5\text{Mg}(\text{OH})_2\text{MgCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) : digunakan dalam industri komponen kendaraan mobil.
  - b. Semen Magnesium Oksisulfat ( $5\text{Mg}(\text{OH})_2\text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) : semen ini banyak digunakan untuk mempercepat pembuatan jalan raya dan berbagai konstruksi serta untuk mengisi rekahan-rekahan.
  - c. Busa Magnesium Anorganik : untuk bahan pintu, pelapis, dinding tahan api, bata penyekat, dan pencegahan keling baja dari korosi.
3. Penggunaan produk kimia dolomit
- a. Magnesium Oksida (MgO), digunakan untuk :
    - Industri gelas dan kaca lembaran : sebagai bahan pencampur.
    - Industri keramik dan porselen.
    - Industri refraktori (bahan tahan api) : merupakan salah satu bahan pembentuk barang tahan api basa. Dolomit dipakai sebagai refraktori karena mempunyai sifat fisik : warna putih, merah muda, kuning, kekerasan = 3,5 – 4,0, berat jenis = 2,8 – 2,9. Pembuatan refraktori diawali dengan penstabilan dolomit, dilakukan peremukan, dicampur dengan air (12%), dextrin (5%) dicetak, diangin-anginkan kemudian dipanaskan 1350-1450°C.
    - Industri peleburan dan pemurnian logam : MgO dipakai sebagai bahan imbuhan (*influx*) pada tanur tinggi yang berfungsi untuk menurunkan titik lebur dan mengikat unsur-unsur ikutan/kotoran yang berupa silika, alumina menjadi slag. Dolomit dipakai karena punya sifat keras, lunak dan hancur sebelum mencapai titik lebur logamnya.

- Industri bahan penggosok : dikenal dengan nama *Viena Lime*, merupakan bahan penggosok pada beberapa macam logam dan mutiara.
- b. Magnesium Hidroksida (MgOH) :  
Digunakan sebagai bahan pengisi pada industri plastik, berfungsi untuk memperlambat pengaruh panas atau api.
4. Penggunaan dolomit lainnya, antara lain sebagai :
    - a. Pengikat senyawa sulfur dari bahan-bahan yang banyak mengandung sulfur.
    - b. Pembersih air, untuk mengikat  $\text{SiO}_2$  di dalam air.
    - c. Bahan pengisi (*filler*) pada industri ban, cat, kertas, plywood.
    - d. Bahan baku obat-obatan dan kosmetik.
    - e. Campuran makanan ternak [Uulgrs, 2010].

## 2.1 KALSIUM KARBONAT

Kalsium karbonat adalah salah satu mineral yang keberadaannya berlimpah di permukaan bumi, ditemukan hampir di seluruh dunia dalam berbagai variasi bentuk. Kalsium karbonat adalah mineral yang sangat stabil, terdapat dalam berbagai jenis mineral seperti batu kapur, marmer, kalsit, *chalk* (kapur), aragonit, dolomit (kalsium-magnesium karbonat). Di antara jenis-jenis mineral ini kalsit dan kapur (*chalk*) adalah jenis yang paling banyak dikembangkan secara komersial.

Kalsium karbonat mempunyai sejumlah kegunaan, utamanya untuk memproduksi semen, mortar, plaster, refraktori, dan sebagai bahan bangunan. Selain itu juga digunakan untuk memproduksi *quicklime*, kapur tohor, dan sejumlah komponen lain. Bahan ini diproduksi baik dalam bentuk bubuk kapur maupun kalsium karbonat presipitat. Kalsium karbonat dalam bentuk presipitat terdiri dari partikel-partikel yang halus dengan kemurnian yang lebih tinggi dan distribusi ukuran partikel yang lebih seragam.

Penggunaan lain yaitu sebagai bahan pengisi pada industri kertas, industri plastik seperti polyvinil klorida, polyolefin, phenolic, polyester, dan epoksi. Penggunaan yang sangat luas ini berpengaruh besar terhadap ekonomisasi dan performa produk [Patnaik, 2002].

### 2.3.3 Sifat Fisik Kalsium Karbonat

Kalsium karbonat terjadi dalam dua bentuk, kristal hexagonal yang disebut kalsit, dan bentuk orthorombik yang disebut aragonit. Kalsit terdekomposisi pada pemanasan hingga 825°C, aragonit meleleh pada 1.339°C (pada 102,5 atm). Densitas 2,71 gr/cm<sup>3</sup> untuk kalsit, dan 2,83 gr/cm<sup>3</sup> untuk aragonit, kelarutan dalam air (15 mg/l pada 25°C), Ksp 4,8x10<sup>-9</sup>, larut dalam asam [Patnaik, 2002].

### 2.3.4 Sifat Termokimia Kalsium Karbonat

$$\Delta H_f^\circ = -288,6 \text{ kkal/mol}$$

$$\Delta G_f^\circ = -269,9 \text{ kkal/mol}$$

$$S^\circ = 21,92 \text{ kal/}^\circ\text{mol}$$

$$C_p = 19,9 \text{ kal/}^\circ\text{mol [Patnaik, 2002].}$$

## 2.5. MAGNESIUM KARBONAT

Magnesium karbonat terjadi di alam dalam berbagai bentuk mineral seperti hidrat, *basic*, dan paduan garam seperti terlihat pada tabel 2.3. Dua mineral utama yaitu magnesit (MgCO<sub>3</sub>), dan dolomit, garam paduan (CaCO<sub>3</sub>.MgCO<sub>3</sub>). Kedua mineral ini digunakan sebagai sumber material untuk memproduksi logam magnesium. Magnesium karbonat juga dikalsinasi untuk memproduksi bata tahan api. Penggunaan lain dari magnesium karbonat adalah sebagai bahan lantai, *fireproofing*, *fire-extinguishing*, sebagai bahan pengisi dan *suppresant* dalam plastik, sebagai *agent* pengembang pada karet, sebagai *agent* pengering dan *color retention* pada makanan. Di samping itu juga digunakan pada kosmetik dan pasta gigi. Magnesium karbonat dengan kemurnian yang tinggi digunakan sebagai antasida pada obat, dan sebagai bahan tambahan pada garam meja. Kegunaan penting lainnya adalah sebagai *starting material* untuk memproduksi sejumlah bahan berkalsium [Patnaik, 2002].

Tipe, nama, dan rumus sejumlah mineral magnesium karbonat dasar, anhidrat, dan hidrat dituliskan dalam tabel 2.3 sebagai berikut :

Tabel 2.3 Berbagai jenis mineral magnesium karbonat [Patnaik, 2002]

No	Jenis bahan	Mineral	Rumus
----	-------------	---------	-------

1	Garam anhidrat	<i>Magnesite</i>	MgCO <sub>3</sub>
2	Dihidrat	<i>Barringtonite</i>	MgCO <sub>3</sub> .2H <sub>2</sub> O
3	Trihidrat	<i>Nesquehonite</i>	MgCO <sub>3</sub> .3H <sub>2</sub> O
4	Pentahidrat	<i>Lansfordite</i>	MgCO <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O
5	Basic karbonat	<i>Artinite</i>	MgCO <sub>3</sub> .Mg(OH) <sub>2</sub> .3H <sub>2</sub> O
6	Basic karbonat	<i>Hydromagnesite</i>	MgCO <sub>3</sub> .Mg(OH) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O
7	Basic karbonat	<i>Dypingite</i>	MgCO <sub>3</sub> .Mg(OH) <sub>2</sub> .5H <sub>2</sub> O
8	Basic karbonat	-	MgCO <sub>3</sub> .Mg(OH) <sub>2</sub> .8H <sub>2</sub> O

### 2.5.1 Sifat Fisik Magnesium Karbonat

Garam anhidrat terdiri atas kristal-krisal trigonal putih, dengan indeks refraksi 1,717, densitas 2,958 gr/cm<sup>3</sup>, terdekomposisi pada temperatur 350°C, hampir tidak larut dalam air (106 mg/liter air pada temperatur ruangan), K<sub>sp</sub> 1,0x10<sup>-5</sup>, solubilitas rendah hingga menengah di bawah tekanan parsial CO<sub>2</sub> (3,5 dan 5,9 gr MgCO<sub>3</sub>/100 gr larutan jenuh pada tekanan CO<sub>2</sub> sebesar 2 dan 10 atm), tidak larut dalam aseton dan amonia, larut dalam asam.

Magnesium karbonat trihidrat dan dihidrat, MgCO<sub>3</sub>.2H<sub>2</sub>O dan MgCO<sub>3</sub>.3H<sub>2</sub>O merupakan kristal yang tidak berwarna dengan struktur triklin dan monoklin, indeks refraksi 1,458 dan 1,412, densitasnya 2,825 dan 1,837 gr/cm<sup>3</sup>. Bentuk pentahidrat terjadi di alam sebagai mineral *lansfordite* adalah kristal padat putih, monoklin, indeks refraksi 1,456, densitas 1,73 gr/cm<sup>3</sup>, terdekomposisi di udara, sedikit larut di air (0,375 gr/100 ml air pada 20°C).

Semua bentuk *basic carbonate*, *artinite*, *hydromagnesite*, dan *dypingite*, adalah kristal putih dengan struktur monoklin, indeks refraksi 1,488, 1,523, dan 1,508, indeks refraksi untuk oktahidrat 1,515; densitas *artinite* dan *hydromagnesite* masing-masing 2,02 dan 2,16 gr/cm<sup>3</sup>. Semuanya hampir tak larut dalam air [Patnaik, 2002].

### 2.5.2 Sifat Termodinamika Magnesium Karbonat

$\Delta H_f^\circ$ (MgCO <sub>3</sub> )	= -216,9 kkal/mol
$\Delta G_f^\circ$ (MgCO <sub>3</sub> )	= -241,9 kkal/mol
$\Delta G_f^\circ$ (MgCO <sub>3</sub> .3H <sub>2</sub> O)	= -412,6 kkal/mol
$\Delta G_f^\circ$ (MgCO <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O)	= -525,7 kkal/mol
S <sup>o</sup> (MgCO <sub>3</sub> )	= 15,7 kal/ <sup>o</sup> mol

$$C_p (\text{MgCO}_3) = 18,05 \text{ kal/}^\circ\text{mol [Patnaik, 2002]}.$$

## 2.6. KALSIMUM OKSIDA

Kalsium oksida dengan rumus umum CaO mempunyai berat molekul 56,077 gr/grmol, disebut juga kapur. Kalsium oksida merupakan salah satu bahan kimia industri yang paling penting. Kalsium oksida banyak digunakan dalam pembuatan bahan bangunan dan konstruksi, termasuk batu bata, mortar, dan plester. Kalsium oksida juga digunakan sebagai fluks dalam pembuatan baja, yaitu bahan pengikat pengotor.

Produk penting lainnya yang dibuat dari aplikasi kalsium oksida dalam proses manufaktur meliputi kaca, pulp dan kertas, aluminium, dan magnesium. Beberapa aplikasi utama lainnya dari senyawa ini adalah dalam flotasi dari bijih *non-ferrous*, penghilangan fosfat dan pengontrol pH dalam pengolahan limbah, netralisasi limbah asam, pemurnian tebu dan gula bit, dalam pestisida dan fungisida, sebagai penyerap karbon dioksida dalam bentuk soda-kapur (campuran dengan kaustik soda). Selain itu kalsium oksida juga digunakan untuk memproduksi natrium karbonat melalui proses Solvay, dan banyak senyawa kalsium lainnya [Patnaik, 2002].

### 2.6.1 Sifat Fisik Kalsium Oksida

Berupa bubuk atau butiran berwarna abu-abu keputihan, dengan kristal berbentuk kubik. Densitas 3,34 g/cm<sup>3</sup>, meleleh pada 2.572°C, menjadi pijar ketika dipanaskan pada titik lelehnya, menguap pada suhu 2.850°C. Larut dalam air membentuk kapur padam, juga larut dalam asam dengan reaksi dekomposisi, dan praktis tidak larut dalam alkohol [Patnaik, 2002].

### 2.6.2 Sifat Termokimia Kalsium Oksida

$$\begin{aligned} \Delta H_f^\circ &= -151,74 \text{ kkal/mol} \\ \Delta G_f^\circ &= -144,19 \text{ kkal/mol} \\ S^\circ &= 9,11 \text{ kal/}^\circ\text{mol} \\ C_p &= 10,04 \text{ kal/}^\circ\text{mol} \\ \Delta H_{\text{fus}} &= 14,1 \text{ kkal/mol [Patnaik, 2002]}. \end{aligned}$$

### 2.6.3 Produksi Kalsium Oksida

Kalsium oksida secara komersial diperoleh dari batu kapur. Mineral karbonat dipanggang dalam suatu tungku putar/*rotary kiln* pada temperatur di bawah 1.200°C sampai semua CO<sub>2</sub> didorong keluar. Produk komersial biasanya mengandung 90-95% CaO bebas. Impuritas yang banyak terkandung dalam kalsium oksida adalah kalsium karbonat, magnesium karbonat, magnesium oksida, oksida besi dan aluminium oksida [Patnaik, 2002].

### 2.6.4 Reaksi Kalsium Oksida

- Kalsium oksida bereaksi dengan air membentuk kalsium hidroksida:



Reaksi ini sangat eksotermik, dengan bahan bubuk.

- CaO menyerap CO<sub>2</sub> membentuk kalsium karbonat :



- Dengan belerang dioksida, kalsium sulfat adalah produk yang teroksidasi perlahan-lahan menjadi kalsium sulfat :



- Dengan hidrogen sulfida produk yang dihasilkan adalah kalsium sulfida :



- Bereaksi dengan asam memberikan garam kalsium yang sesuai:



- Bereaksi dengan hidrogen halida atau asamnya, membentuk kalsium halida :



- Bila kalsium oksida bubuk dipanaskan dengan karbon (hancuran kokas atau antrasit) dalam tanur listrik, dihasilkan kalsium karbida:



[Patnaik, 2002]

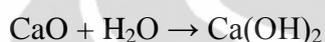
### 2.6.5 Analisis Kalsium Oksida

Komposisi elemental terdiri dari Ca 71,47%, O 28,53%. Jumlah oksida dapat ditentukan dengan teknik sinar-x. Senyawa dapat diidentifikasi dengan menambahkan sejumlah kecil kalsium oksida secara perlahan-lahan dan hati-hati

ke dalam air dan menguji pH-nya (pH harus basa). Mengalirkan gas CO<sub>2</sub> ke dalam larutan CaO akan mengubah larutan menjadi keruh karena pembentukan CaCO<sub>3</sub> [Patnaik, 2002].

### 2.6.6 Bahaya Kalsium Oksida

Kontak antara bubuk CaO dengan kulit dapat menyebabkan iritasi parah. Mencampur senyawa CaO bubuk dengan air dapat menghasilkan reaksi eksplosif dengan pembebasan panas dalam jumlah besar sesuai dengan reaksi (2.1) sebagai berikut:



Reaksi terjadi setelah jeda beberapa menit. Adanya kelembaban dalam wadah atau botol penyimpanan dapat menghasilkan sebuah ledakan yang berbahaya [Patnaik, 2002].

## 2.7. MAGNESIUM OKSIDA

Magnesium oksida mempunyai rumus umum MgO, dengan berat molekul 40,30 gr/grmol. Magnesium oksida terjadi di alam sebagai mineral *periclase*. Untuk keperluan komersial magnesium oksida ini diproduksi dalam beberapa kelas, tergantung pada kemurnian, partikel ukuran, dan reaktivitas yang diinginkan.

- *Dead-burned magnesium* (terdiri atas sinter mikro-kristal) digunakan dalam produksi batu bata tahan api untuk dasar *kiln* semen, tungku dan krusibel.
- *Caustic-burned magnesia*, golongan magnesia yang lebih reaktif daripada *Dead-burned magnesium*, digunakan untuk memproduksi berbagai garam magnesium, untuk ekstraksi uranium oksida dari bijih uranium, sebagai suplemen dalam pakan ternak, dan dalam banyak aplikasi katalitik.

Magnesium oksida yang lebih reaktif digunakan dalam kosmetik sebagai bahan pengisi, sebagai akselerator untuk vulkanisasi karet, sebagai bahan antasida, dan untuk mempersiapkan logam magnesium dan berbagai garam dari logam magnesium. Leburan magnesium dalam bentuk hancuran digunakan dalam tanur busur listrik dan sebagai insulasi [Patnaik, 2002].

### 2.7.1 Sifat Fisik Magnesium Oksida

*Periclase* mempunyai sifat fisis tak berwarna, berbentuk kristal kubik yang transparan, atau serbuk putih yang sangat halus. Indeks bias 1,736, dengan densitas/kerapatan  $3,58 \text{ g/cm}^3$ , kekerasan 5,5 Mohs. Meleleh pada temperatur  $2.852 \text{ }^\circ\text{C}$ , menguap pada temperatur  $3.600 \text{ }^\circ\text{C}$ . Resistivitas listrik  $1.3 \times 10^{15} \text{ ohm-cm}$  pada  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ , praktis tidak larut dalam air (kelarutan  $86 \text{ mg/liter}$  air pada  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ), larut dalam asam dan larutan garam ammonium, larut dalam alkohol [Patnaik, 2002].

### 2.7.2 Sifat Termokimia Magnesium Oksida

$$\begin{aligned}\Delta H_f^\circ &= -143,81 \text{ kkal/mol} \\ \Delta G_f^\circ &= -136,10 \text{ kkal/mol} \\ S^\circ &= 6,44 \text{ kal/}^\circ\text{mol} \\ C_p &= 8,88 \text{ kal/}^\circ\text{mol} \\ k_{(\text{pada } 27 \text{ }^\circ\text{C})} &= 60,0 \text{ W/m.K [Patnaik, 2002]}\end{aligned}$$

### 2.7.3 Produksi Magnesium Oksida

Magnesium oksida dihasilkan baik dari mineral magnesium atau dari air laut atau air garam. Di antara mineral-mineral magnesium, magnesit,  $\text{MgCO}_3$  dan dolomit,  $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$  adalah dua sumber utama oksida ini. Magnesium oksida juga dapat diperoleh dari bijih hidroksida, *brucite*,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Senyawa ini umumnya mengandung beberapa pengotor, seperti silika, alumina, besi oksida, dan kalsium oksida dan silikat, dan logam lainnya. Bijih dihancurkan, dipisahkan berdasarkan ukuran-ukurannya, dan kotoran dipisahkan dengan berbagai proses, termasuk flotasi, pemisahan magnetik, pelarutan, dan berbagai-macam proses kimia tergantung pada sifat-sifat kimia dari kotoran. Sering bijih magnesium diubah menjadi salah satu garam, seperti karbonat, hidroksida, klorida, atau sulfat oleh proses kimia. Garam pada hasil proses kalsinasi menghasilkan magnesium oksida melalui reaksi sebagai berikut :



Jika dolomit adalah sumber mineral yang digunakan, dekomposisi termal  $\text{MgCO}_3$  pada  $350 \text{ }^\circ\text{C}$  menghasilkan  $\text{MgO}$ . Pada suhu ini,  $\text{CaCO}_3$  tidak terdekomposisi. Temperatur dekomposisi untuk  $\text{CaCO}_3$  adalah  $850 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Magnesium oksida juga dihasilkan dari air laut dan air garam bawah tanah. Air laut diproses dengan kalsium atau natrium hidroksida mengikuti serangkaian langkah-langkah tertentu, kemudian ion magnesium diendapkan sebagai hidroksida. Bentuk hidroksida kemudian dikalsinasi menghasilkan oksida. Jika air garam adalah sumber magnesium yang digunakan, air garam dikonsentrasikan, dimurnikan, dan dikalsinasi :



Suhu proses kalsinasi sangat penting dalam proses produksi dan menentukan ukuran partikel, kemurnian, dan reaktivitas produk. Produk *dead-burned magnesium* berukuran mikrokristalin padat diperoleh pada temperatur proses kalsinasi dari 1.400 sampai 1.700°C. Produk *caustic-burned magnesium* diperoleh ketika magnesium karbonat atau hidroksida dikalsinasi pada 600-700°C. *Light magnesium* (dengan *specific gravity* 2,9) yang sangat reaktif mengandung sejumlah uap air dan karbon dioksida, diperoleh pada temperatur sekitar 600°C. *Heavy magnesium* dihasilkan ketika karbonat atau hidroksida dikalsinasi pada 800-900°C. Magnesium oksida juga dapat dibuat dengan memanaskan magnesium logam dalam oksigen [Patnaik, 2002].

#### 2.7.4 Reaksi Magnesium Oksida

Tidak seperti kalsium oksida, pada suhu biasa magnesium oksida stabil dalam air. Ada sangat sedikit pembentukan magnesium hidroksida. Reaksi sangat cepat pada temperatur tinggi. Bentuk asam dari garam magnesium, jika larut dalam air, dapat diperoleh dengan penguapan dari larutannya :



Memanaskan oksida dengan karbon dioksida menghasilkan magnesium karbonat,  $\text{MgCO}_3$ .

Oksida dapat direduksi menjadi logam magnesium dengan pemanasan dengan agen reduksi seperti karbon atau hidrogen pada temperatur tinggi:



[Patnaik, 2002]

## 2.8. KALSINASI

Proses kalsinasi didefinisikan sebagai pengerjaan bijih pada temperatur tinggi tetapi masih di bawah titik leleh tanpa disertai penambahan reagen dengan maksud untuk mengubah bentuk senyawa dalam konsentrat. Kalsinasi juga merupakan proses perlakuan panas yang dilakukan terhadap bijih agar terjadi dekomposisi dari senyawa yang berikatan secara kimia dengan bijih, yaitu karbon dioksida dan air, yang bertujuan mengubah suatu senyawa karbon menjadi senyawa oksida yang sesuai dengan keperluan pada proses selanjutnya. Proses kalsinasi dilakukan dengan pemanggangan pada temperatur yang bervariasi bergantung dari jenis senyawa karbonat yang ada.

Kebanyakan senyawa karbonat terdekomposisi pada temperatur rendah. Contoh,  $\text{MgCO}_3$  terdekomposisi pada temperatur  $417^\circ\text{C}$ ,  $\text{MnCO}_3$  pada  $377^\circ\text{C}$ , dan  $\text{FeCO}_3$  pada  $400^\circ\text{C}$ . Tetapi untuk kalsium karbonat diperlukan suhu  $900^\circ\text{C}$  untuk terjadinya dekomposisi. Hal ini karena ikatan kimia pada air kristal cukup kuat.

Pengeringan yang dilakukan dalam tahap kalsinasi ini bertujuan untuk melepaskan air yang terikat di dalam konsentrat dengan cara penguapan. Pelaksanaannya dilakukan dengan cara pemanasan sedikit di atas titik uap air, atau dengan mengatur tekanan uap air di dalam konsentrat harus lebih besar dari pada tekanan uap air di sekitarnya. Pada prakteknya, tekanan uap air di dalam konsentrat harus lebih besar dari tekanan atmosfer agar kecepatan penguapan dapat berlangsung lebih cepat. Ini adalah prinsip kalsinasi [Lalu, 2010].

### 2.8.1 Kalsinasi Batu Kapur

Istilah kalsinasi batu kapur mengacu pada proses dekomposisi termal kalsium karbonat menjadi *quicklime*/kalsium oksida dan karbondioksida. Dekomposisi batu kapur dikarakterisasikan oleh reaksi kimia yang sangat sederhana. Kompleksitas mulai dialami ketika berkaitan dengan dekomposisi dolomit, yang diyakini menyebabkan perubahan dalam kristalografi dan struktur mikronya. Kinetika dekomposisi batu kapur dalam bentuk butiran dan gumpalan sangat kompleks. Kalsinasi ini dikendalikan oleh banyak factor yang meliputi :

1. Salah satu langkah dalam kalsinasi dalam keadaan tertentu mungkin dikendalikan oleh laju reaksi.
2. Perbedaan yang ada dalam kristalografi dan mikrostruktur batu kapur, yang sangat sulit untuk ditentukan secara kuantitas, dapat mempengaruhi harga penjualan.
3. Struktur mikro dan morfologi permukaan batu kapur terlihat memiliki dampak yang signifikan terhadap kalsinasi dan ini dikendalikan oleh temperatur, pengotor, dan waktu pemaparan setelah reaksi selesai [Oates, 1998].

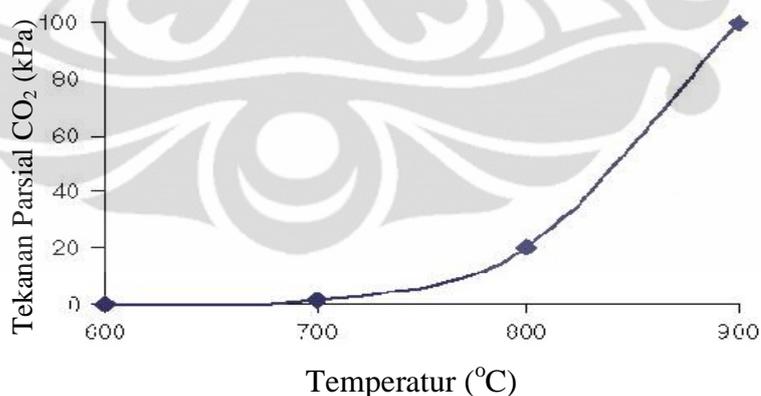
## 2.8.2 Reaksi Kalsinasi

### 2.7.2.1 Kalsium Karbonat

Batu kapur dikalsinasi untuk menghasilkan *unslaked lime*/kalsium oksida. Reaksi untuk dekomposisi termal dari kalsium karbonat dinyatakan dengan persamaan reaksi berikut:



Temperatur kalsinasi sangat dipengaruhi oleh tekanan udara di dalam tungku kalsiner. Variasi tekanan disosiasi kalsit terhadap temperatur ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Variasi tekanan disosiasi kalsit terhadap temperatur [Oates, 1998].

Dari gambar 2.1 tersebut terlihat bahwa temperatur disosiasi pada tekanan 1 atm (101,3 kPa) terjadi kira-kira pada temperatur 900°C. Penelitian baru-baru ini menunjukkan nilai 902,5 °C, tidak seperti studi sebelumnya yang telah melaporkan nilai 898°C. Kalsinasi batu kapur ini disertai dengan disosiasi panas.

Panas disosiasi kalsit relatif pada 25°C telah dilaporkan dalam literatur berkisar antara 695 dan 834 kkal/kg CaO dengan nilai rata-rata 754-770 kkal/kg. Pada temperatur 900°C panas disosiasi adalah 723 kkal/kg CaO berdasarkan perhitungan tersebut di atas. Perbedaan sekitar 37 kkal/kg adalah karena fakta berikut, perlu dicatat bahwa 1,786 kg karbonat kalsium membutuhkan 431 kkal yang akan dipanaskan dari 25°C menjadi 900°C, sedangkan produk reaksi 1 kg CaO dan 0,786 kg CO<sub>2</sub>, masing-masing melepaskan 208 dan 186 kkal, pada pendingin dari 900°C ke 25°C, total 394 kkal [Oates, 1998].

### 2.7.2.2 Magnesium Karbonat

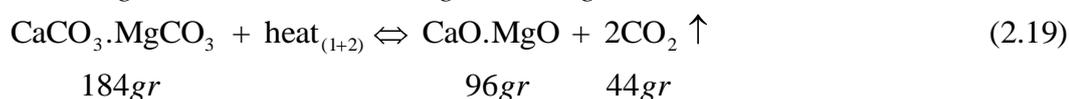
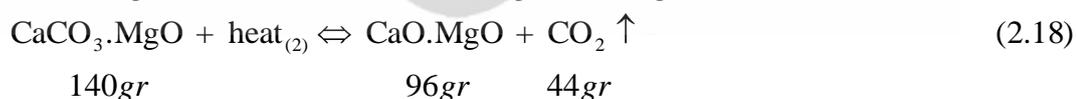
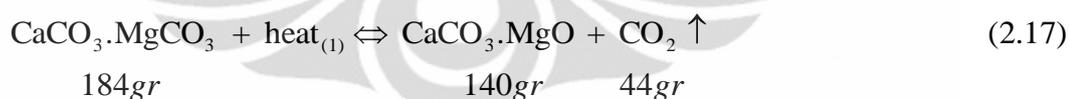
Dekomposisi termal magnesium karbonat direpresentasikan sebagai:



Tekanan pemisahan MgCO<sub>3</sub> telah dilaporkan berkisar antara 402 dan 550°C pada 1 atm. Panas pemisahan MgCO<sub>3</sub> sebesar 723 kkal/kg MgO [Oates, 1998].

### 2.7.2.3 Dolomit Dan Magnesian/Batu Kapur Dolomitik

Dolomit dan magnesian/batu kapur dolomitik terlihat dalam persamaan reaksi (2.17) mengalami dekomposisi yang kompleks. Dekomposisi ini berlangsung melalui tahapan tunggal untuk beberapa jenis batu kapur. Untuk beberapa jenis batu kapur yang lain terurai melalui dua tahap diskrit, sedangkan beberapa jenis yang lainnya terdekomposisi dalam bentuk intermediet.



Dolomit dan magnesian/batu kapur dolomitik terurai pada temperatur lebih tinggi dari magnesium karbonat. Suhu kalsinasi selama inisiasi bervariasi dari 510 ke 750°C, serta diatur oleh struktur kristal dan bentuk batu. Reaksi (2.17) terjadi menjelang akhir rentang suhu, sedangkan reaksi (2.18) terjadi pada sekitar 900°C. Reaksi (2.19) telah dilaporkan secara akurat terjadi pada suhu yang lebih tinggi dari rentang tersebut. Laju perpindahan panas diferensial lebih mengarahkan pada

perbedaan daripada perbedaan mendasar dalam kimia fisik berbagai jenis batu kapur.

Panas pemisahan dolomit adalah  $heat_{(1+2)}$  sesuai dengan reaksi (2.19) dan dilaporkan sebesar 723 kkal/kg (CaO.MgO), relatif pada 25°C. Ini terlihat lebih rendah dari panas pemisahan CaCO<sub>3</sub> dan MgCO<sub>3</sub> yang rata-rata sebesar 750 kkal/kg (CaO.MgO). Perbedaan ini mungkin berhubungan dengan perbedaan panas pembentukan dolomit relatif terhadap kalsit dan MgCO<sub>3</sub> [Oates, 1998].

### 2.7.3 Kinetika Kalsinasi

#### 2.7.3.1 Tahap Kalsinasi

Lintasan dari partikel kapur melalui kiln kapur tersebut dibagi menjadi lima tahap. Tahapan berikut telah diamati terhadap kapur dengan kadar kalsium tinggi, tetapi hal ini juga dapat diterapkan pada magnesia/batu gamping dolomitik dan dolomit.

- a. Batu kapur ini dipanaskan di zona preheating dari suhu ambien sampai sekitar 800°C oleh gas kiln (yaitu, produk dari pembakaran ditambah CO<sub>2</sub> dari kalsinasi dan udara berlebih).
- b. Pada temperatur sekitar 800°C, tekanan karbondioksida yang dihasilkan oleh disosiasi batu kapur sama dengan tekanan parsial CO<sub>2</sub> dalam gas kiln. Karena temperatur batu kapur meningkat, lapisan permukaan mulai terdekomposisi, sehingga ketika suhu batu mencapai 900°C, lapisan kapur mungkin setebal 0,5 mm (berat sesuai dengan sekitar 5% kapur untuk sebuah partikel 25 mm).
- c. Bila temperatur batu kapur melebihi temperatur dekomposisi 900°C, tekanan parsial melebihi 1 atm dan proses pemisahan dapat dilanjutkan di luar permukaan partikel.
- d. Bila semua kalsium karbonat berdisosiasi sebelum partikel meninggalkan zona kalsinasi, kapur mulai memadat. Proses ini terjadi pada jangkauan yang sangat terbatas selama tahapan (c), tetapi untuk kebanyakan situasi hal ini dapat diabaikan.
- e. Partikel kapur, yang mungkin mengandung sisa batu kapur, meninggalkan zona kalsinasi pada 900°C dan didinginkan dengan udara yang digunakan untuk pembakaran.

Tahapan (a), (b), dan (e) melibatkan perpindahan panas langsung antara medium gas dan partikel. Sebagai unit proses, mekanisme transfer panas dapat

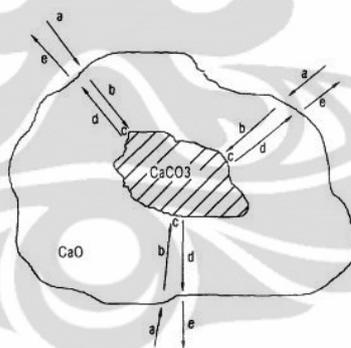
dipahami dengan baik dan tidak spesifik untuk kalsinasi batu kapur. Akan tetapi tahap (c) dan (d), yang spesifik untuk batu kapur, dipengaruhi oleh desain dari tanur kapur, dan mempengaruhi sifat-sifat kapur [Oates, 1998].

### 2.7.3.2 Disosiasi Batu Kapur Dengan Kadar Kalsium Tinggi

Disosiasi batu kapur di atas temperatur dekomposisi dapat dijelaskan melalui lima proses :

- Panas ditransfer dari gas kiln ke permukaan partikel yang akan didekomposisi.
- Panas kemudian dialirkan secara konduksi dari permukaan ke antarmuka reaksi melalui lapisan mikropori kapur.
- Panas yang sampai pada bagian antarmuka reaksi menyebabkan reaksi disosiasi  $\text{CaCO}_3$  menjadi  $\text{CaO}$  dan  $\text{CO}_2$ .
- Produk  $\text{CO}_2$  bermigrasi dari antarmuka reaksi, melalui lapisan kapur ke permukaan partikel, dan secara bersamaan dipanaskan dari temperatur zona reaksi ke temperatur permukaan.
- $\text{CO}_2$  bermigrasi keluar dari permukaan ke gas kiln.

Kelima proses tersebut dapat diilustrasikan dengan gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Ilustrasi tentang proses yang terlibat dalam disosiasi batu kapur [Oates, 1998].

### 2.7.3.3 Pemisahan Dolomit Dan Magnesit/Batu Kapur Dolomitik

Proses yang dijelaskan pada sub-bab 2.7.3.2 juga berlaku untuk batu kapur yang mengandung magnesium karbonat dengan jumlah yang signifikan. Dari sudut pandang praktis, kalsinasi batugamping semacam itu tidak berbeda secara signifikan dari batu kapur dengan kadar kalsium tinggi [Oates, 1998].

## 2.7.4 Faktor yang Mempengaruhi Kalsinasi

Variabel utama yang mempengaruhi laju kalsinasi adalah:

### **1. Komposisi kimia dan pengotor dari batu kapur**

Pada umumnya batu kapur terdiri atas mineral-mineral berikut:

- Kalsium karbonat
- Magnesium karbonat
- Silika
- Alumina
- Besi
- Sulfur, dan mineral pengotor lainnya.

Dari mineral-mineral di atas, hanya kalsium karbonat dan magnesium karbonat yang menjadi perhatian. Kedua mineral tersebut merupakan mineral utama dengan kadar 89% sampai 94% berat dari total komposisi batu kapur. Ada dua tipe dasar kapur yang dihasilkan dari batu kapur, kapur kalsium dan kapur magnesium. Batu kapur kalsium tinggi ketika dikalsinasi akan menghasilkan produk dengan kandungan CaO antara 90-95% dan MgO 1-2%. Pengotor yang terkandung di dalam batu kapur akan mempengaruhi kualitas CaO akhir.

### **2. Kepadatan dan struktur kristal batu kapur**

Kepadatan dan struktur kristal batu kapur merupakan hal yang saling berhubungan. Struktur kristal mempengaruhi tingkat kalsinasi, kekuatan internal batu kapur, serta ukuran kristal CaO yang dihasilkan. Kristal kecil mengental selama kalsinasi, membentuk kristal lebih besar, sehingga menyebabkan penyusutan dan pengurangan volume. Semakin tinggi temperatur pembakaran, semakin banyak terjadi koagulasi. Dan semakin banyak koagulasi, semakin banyak pula penyusutan volume yang terjadi.

Bentuk kristal menentukan ruang kosong antara kristal, dan dengan demikian, menentukan kepadatan batu kapur. Celah yang lebih besar akan memudahkan lepasnya gas CO<sub>2</sub> selama kalsinasi, tetapi hal ini juga menghasilkan pengurangan volume selama kalsinasi. Beberapa batu kapur, karena struktur kristalnya, akan hancur dalam proses kalsinasi. Jenis batu kapur ini tidak cocok untuk kalsinasi. Batu kapur lainnya akan bertindak berlawanan dan

menjadi begitu padat selama kalsinasi karena strukturnya akan mencegah keluarnya CO<sub>2</sub> dan menjadi non-porous.

### 3. Ukuran batu kapur

Ukuran batu kapur yang diumpankan mempengaruhi waktu tinggal dan harus disesuaikan dengan jenis tungku. Untuk memanaskan batu kapur di tungku dengan seragam, ukuran partikel umpan harus relatif seragam. Selain itu, untuk menghindari waktu tinggal lama di dalam tungku, ukuran partikel batu kapur harus kecil, biasanya sekitar 1,5 inci. Akan tetapi karena sifat alamiah dari operasi pengecilan ukuran, ada berbagai ukuran berkisar antara 0,5-2 inci. Karena waktu tinggal dan temperatur di tungku konstan, penetrasi panas terhadap partikel-partikel batu kapur berbeda bergantung pada variasi ukuran batu kapur. Semakin besar ukuran batu, panas tidak cukup menembus ke inti, sehingga bagian dalam pecahan batu tetap sebagai kalsium karbonat sementara bagian luar telah terkonversi menjadi CaO. Bagian inti semacam ini disebut dengan istilah *grit*. Untuk batu berukuran sedang, penetrasi panas berlangsung sempurna dan seluruh batu dapat diubah menjadi CaO. Untuk batu yang lebih kecil, panas mencapai inti dengan cepat dan lapisan luar kelebihan panas sehingga membentuk kulit luar yang keras dimana air tidak bisa menembusnya, dan karena itu, proses *slaking* menjadi tertahan. Di sini, partikel-partikel ukuran besar dan menengah sangat reaktif, disebut *soft burned quicklime*, dan partikel yang lebih kecil disebut *hard-burned quicklime*.

### 4. Jenis tungku

Sesuai dengan jenis tungku, baik tungku putar vertikal atau horisontal, ukuran batu yang diumpankan berbeda.

Pada tungku vertikal, kapur bergerak ke bawah, dan gas panas mengalir ke atas melalui batu kapur, maka batu harus cukup besar untuk menyediakan rongga untuk gas pembakaran untuk bergerak ke atas. Tungku ini biasanya menggunakan ukuran kapur antara 2 sampai 4 inci. Untuk tungku dengan tipe semacam ini, kenaikan temperatur harus lambat dan waktu tinggalnya lama. Biasanya tungku vertikal dioperasikan pada 900-1000°C (Catatan: Kisaran temperatur yang tercantum di sini adalah rentang rata-rata,

dan variasi yang besar ada pada industri). Tungku vertikal hemat bahan bakar, tapi terbatas dalam kapasitas.

### **5. Waktu tinggal di tungku**

Waktu tinggal tergantung pada ukuran batu kapur serta temperatur kalsinasi. Ukuran batu kapur adalah unsur yang paling kritis dalam kalsinasi. Batu gamping memasuki tungku dan terkena gas-gas panas dalam tungku. Dibutuhkan waktu bagi panas untuk menembus batu kapur. Semakin kecil batu, semakin pendek waktu untuk penetrasi panas. Dalam kasus batu kapur bubuk, waktu tinggal ini dapat dikurangi menjadi kurang dari satu menit. Jika waktu tinggal terlalu pendek, inti dari batu kapur akan tetap dalam bentuk kalsium karbonat sementara bagian luar akan berubah menjadi kalsium oksida. Jika waktu tinggal terlalu lama, permukaan kerikil akan menyusut dan pori-pori yang dibuat oleh lintasan keluarnya gas  $\text{CO}_2$  akan menutup, menghasilkan permukaan yang keras. Jenis kapur ini disebut "*hard burned lime*" atau "*dead burned lime*". Kapur ini tidak akan dapat dipadamkan dalam pemadam standar. Selain itu, waktu tinggal yang lebih lama berarti mengurangi produksi dan membutuhkan biaya yang lebih tinggi.

Waktu tinggal  $\text{CaO}$  di tungku sangat penting selama proses kalsinasi. Sangat diinginkan waktu tinggal sesingkat mungkin. Tetapi waktu harus cukup memungkinkan bagi panas untuk menembus partikel  $\text{CaO}$  dan mengusir  $\text{CO}_2$  dari partikel. Kalsinasi dilakukan baik dengan temperatur rendah dan waktu tinggal tinggi, atau temperatur tinggi dan waktu tinggal rendah. Setiap produsen kapur harus menyeimbangkan waktu tinggal dan temperatur agar sesuai dengan sistem mereka.

### **6. Temperatur tungku**

Temperatur teoritis yang diperlukan untuk kalsinasi adalah sekitar  $900^\circ\text{C}$ , namun dalam prakteknya diperlukan temperatur yang jauh lebih tinggi, sekitar  $1350^\circ\text{C}$ . Untuk menentukan temperatur yang tepat di tungku adalah sangat tergantung pada ukuran batu kapur serta jenis tungku dan jenis bahan bakar yang digunakan. Operator tungku harus melakukan percobaan untuk menentukan temperatur yang tepat untuk batu kapur ukuran tertentu yang sedang digunakan. Secara umum temperatur tungku yang terbaik adalah

temperatur terendah dengan waktu tinggal sesingkat mungkin untuk mencapai kalsinasi penuh. Temperatur kalsinasi yang lebih tinggi akan menyebabkan penyusutan meningkat dan penurunan volume. Temperatur yang lebih tinggi juga akan menyebabkan rekarbonasi dari permukaan kerikil CaO dengan kehadiran CO<sub>2</sub>, yang membuat kapur non-porous, dan dengan demikian tidak cocok untuk hidrasi.

Temperatur tungku mempengaruhi kualitas produk CaO dan hidroksida resultan yang dihasilkan dari slaking CaO ini. Partikel dengan ukuran sangat kecil dan permukaan spesifik besar adalah produk akhir yang paling diinginkan dari kalsium oksida.

*Soft-burned lime* penuh dengan retakan kecil seperti rambut di mana CO<sub>2</sub> telah lolos dari batu kapur selama proses kalsinasi. Ketika kapur ini terkena air, air menembus retakan di kerikil kapur dan mengisi rongga tersebut. Hidrasi berlangsung cepat, melepaskan banyak energi panas. Panas ini akan mendidihkan air dan menghasilkan uap, yang membuat partikel pecah, memperlihatkan permukaan bagian dalam dengan air untuk terjadinya proses *slaking* lebih lanjut. Proses semacam ini akan berlanjut sampai hidrasi selesai.

#### **7. Tingkat kenaikan temperatur**

Kenaikan temperatur harus dilakukan secara bertahap. Hal ini sangat penting ketika menggunakan batu kapur berukuran cukup besar (10-15 cm atau 4-6 in). Ketika mengkalsinasi batu kapur dengan ukuran ini, batu kapur akan tetap berpori selama proses tersebut. Ketika temperatur meningkat, lapisan luar batu kapur dipanaskan sampai temperatur disosiasi, dimana CO<sub>2</sub> lolos dari batu, meninggalkan lubang kapiler membuat kapur berpori. Karena gas telah melepaskan diri, volume batu kapur menyusut sebanyak 40%. Penyusutan volume ini membatasi lepasnya gas dari pusat batu kapur, mencegah lolosnya gas CO<sub>2</sub> lebih banyak lagi. Waktu tinggal yang terlalu lama akan menggabungkan CaO dan CO<sub>2</sub> kembali membentuk CaCO<sub>3</sub> (rekarbonasi) pada temperatur di atas 1350°C. Ukuran batu kapur yang baik untuk dikalsinasi di tungku vertikal adalah 5-10 cm (2-4 in). Ukuran ini akan memungkinkan untuk pemanasan dengan cepat, waktu tinggal pendek, dan meminimumkan jumlah inti yang membentuk *grit*. Kesimpulannya, batu kapur

berukuran lebih kecil (4-5 cm atau 1,5-2 in) merupakan ukuran yang paling cocok untuk kalsinasi dalam rotary kiln dan akan memungkinkan waktu tinggal optimal. Temperatur kalsinasi yang lebih rendah juga akan memungkinkan konsumsi bahan bakar lebih sedikit. Namun, ukuran batu kapur yang lebih besar dan temperatur kalsinasi rendah diperlukan untuk tanur vertikal dengan poros tunggal dan multi poros. Jika kenaikan temperatur terlalu cepat, lapisan luar dari potongan-potongan batu kapur dikalsinasi sangat cepat. Karena kenaikan temperatur, permukaan kerikil akan menyusut, menutup pori-pori yang dibentuk oleh jalur pelepasan  $\text{CO}_2$ . Hal ini menyebabkan peningkatan tekanan internal dalam batu kapur. Karena gas tidak dapat meloloskan diri, batu kapur akan meledak dan hancur, menghasilkan debu yang tidak diinginkan, mengurangi kualitas kalsium oksida yang dihasilkan.

#### **8. Konsentrasi $\text{CO}_2$ di tungku**

Oleh karena  $\text{CO}_2$  dilepaskan dari batu kapur selama kalsinasi, maka konsentrasi  $\text{CO}_2$  di atmosfer tungku meningkat. Untuk kalsinasi yang tepat,  $\text{CO}_2$  harus dikeluarkan secara terus menerus. Jika  $\text{CO}_2$  tidak dikeluarkan, kombinasi dari tingginya konsentrasi  $\text{CO}_2$  dan temperatur kalsinasi akan merekarbonasi kapur pada permukaan kerikil dan mengkonversi  $\text{CaO}$  kembali ke  $\text{CaCO}_3$ . Selain itu,  $\text{CO}_2$  dan  $\text{CO}$  akan bereaksi dengan pengotor kapur yang merupakan bagian dari inertis batu kapur (seperti silikat, alumina, dan besi). Konsentrasi  $\text{CO}_2$  adalah sekitar 38-40% v/v untuk tungku poros vertikal.

#### **9. Jenis bahan bakar yang digunakan**

Kebanyakan kalsinasi dilakukan dengan menggunakan minyak, batubara, atau gas alam untuk bahan bakar. Biasanya tungku vertikal menggunakan minyak atau gas alam, kokas keras, sementara tungku horisontal menggunakan batu bara. Namun kedua jenis tungku ini dapat menggunakan salah satu dari bahan bakar. Batubara umumnya dibuat dalam bentuk bubuk, dihembuskan ke dalam ruang bakar.

Baik minyak dan batu bara mengandung persentase tertentu dari senyawa belerang atau belerang yang bervariasi dari 0,5-3%. Belerang akan bereaksi dengan  $\text{CaO}$  pada temperatur yang tepat dan menghasilkan kalsium sulfida

atau kalsium sulfat. Hal ini biasanya terjadi pada permukaan kerikil CaO dan membuat CaO menjadi *non-porous*, sehingga tidak cocok untuk *slaking*. Selain itu, persentase yang tinggi dari abu dalam batubara akan menghasilkan penumpukan pada refraktori di tungku, sehingga mengganggu aliran batu kapur di tungku. Tungku harus secara berkala didinginkan dan abu harus dibuang secara manual, dan hal ini merupakan operasi yang sangat mahal.

Gas alam merupakan bahan bakar terbersih dan banyak digunakan di tungku vertikal. Untuk mengkalsinasi batu kapur menjadi kapur yang aman untuk makanan, gas alam merupakan bahan bakar pilihan.

#### **10. Pemanasan awal dan pendinginan**

Kalsinasi batu kapur merupakan proses dengan energi sangat intensif dan mengkonsumsi bahan bakar dalam jumlah cukup banyak. Sebagian besar buangan energi berasal dari pembuangan gas-gas tungku. Untuk meningkatkan efisiensi konsumsi bahan bakar, industri telah merancang proses berikut:

- Gas panas buangan digunakan untuk memanaskan batu kapur sebelum masuk tungku. Hal ini tidak hanya merecover panas yang cukup besar dari gas buang, tetapi juga akan mengurangi waktu tinggal dalam tungku, mengurangi ukuran tungku.
- Ketika batu kapur telah dikalsinasi dan keluar tungku, temperaturnya mencapai sekitar 1200°C. Ini merupakan sumber panas besar. Untuk mengambil kembali panas ini, udara segar dihembuskan untuk mendinginkan kapur. Udara panas yang dihasilkan kemudian akan dimasukkan ke tungku. Udara panas ini meningkatkan efisiensi konsumsi bahan bakar dengan pengambilan kembali sebagian dari panas yang terbang.
- Kalsinasi batu kapur dilakukan secara berkesinambungan, sehingga menghindari pemanasan dan pendinginan kalsiner. Operasi yang kontinyu ini mengurangi konsumsi bahan bakar dan meminimalkan degradasi lapisan refraktori tungku itu.

#### **11. Udara di dalam tungku**

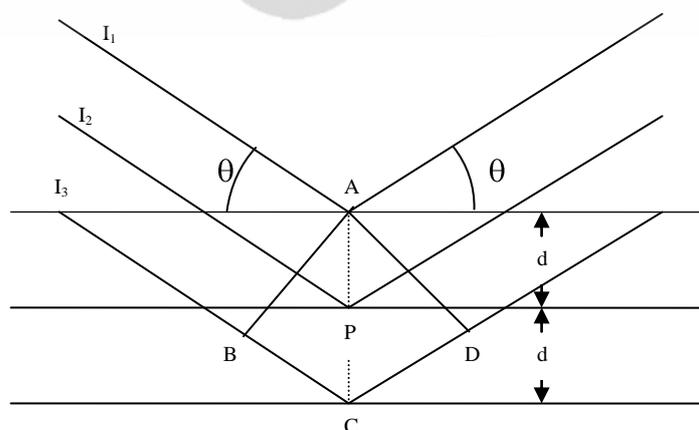
Selain temperatur tungku dan waktu tinggal, suasana tungku mempengaruhi kualitas CaO. Bila temperatur CaCO<sub>3</sub> meningkat, gas CO<sub>2</sub> dilepaskan dan CaO

dihasilkan.  $\text{CO}_2$  harus dikeluarkan dari tungku.  $\text{CaO}$  memiliki afinitas untuk menyerap kelembaban dan  $\text{CO}_2$ , kembali membentuk  $\text{CaCO}_3$ . Pengaruh dari konversi ini lebih jelas terhadap partikel kecil dari  $\text{CaO}$  dibandingkan kerikil yang lebih besar karena permukaan spesifik dari kerikil. Ada perbedaan besar antara reaktivitas kapur ini, tingkat kenaikan temperatur, dan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses slaking [Hassibi, 2011].

## 2.8. XRD (X-RAY DIFFRACTION)

Salah satu sifat dari sinar-X adalah bahwa sinar ini menjalar menurut arah garis lurus dan daya tembusnya ke dalam bahan cukup besar, tetapi karena sinar-X adalah juga sinar elektromagnetik, maka sinar-X mestinya dapat juga didifraksi oleh kisi difraksi (*diffraction grating*). Hanya saja, mengingat bahwa panjang gelombang dari sinar-X itu sangat kecil, maka untuk dapat mendifraksi sinar-X kisi yang dipakai jalur-jalurnya harus sangat berdekatan sekali letaknya. Dan membuat kisi demikian itu sangat sukar, bahkan tidak mungkin.

Akan tetapi hablur-hablur (kristal) ternyata dapat bertindak sebagai kisi difraksi untuk sinar-X. Sebagai jalur-jalur pendifraksi bertindak atom-atom atau ion-ion di dalam suatu hablur, sebab jarak antara atom-atom atau antara ion-ion (analog atau sesuai dengan jarak antara jalur-jalur kisi difraksi) mempunyai nilai yang cukup kecil, yaitu orde besaran beberapa Angstrom. Sehingga dapat diharapkan bahwa sinar-X akan dapat di-difraksi oleh kisi suatu hablur. Secara skematik pola difraksi sinar-X dapat digambarkan sebagai berikut (gambar 2.3):



Gambar 2.3. Pola Difraksi Sinar X

Garis-garis horizontal dari gambar 2.3 tersebut menggambarkan bidang-bidang kristal, dimana terdapat atom-atom atau ion-ion yang tersusun secara beraturan. Garis AB dan AD adalah tegak lurus pada arah berkas datang dan tegak lurus pada arah berkas difraksi. Jarak BCD adalah selisih jarak yang harus ditempuh oleh suatu berkas yang didifraksi dari bidang  $P_2$  dengan jarak yang harus ditempuh oleh berkas difraksi pada bidang  $P_1$ . Karena itu sudut BAG dan sudut CAD keduanya sama dengan sudut datang dan sudut difraksi  $\theta$ , Maka :

$$BC = AC \sin \theta \quad \text{dan} \quad BCD = 2 BC = 2 AC \sin \theta \quad (2.20)$$

Karena AC adalah jarak antar bidang-bidang hablur  $P(=d)$ , maka :

$$BCD = 2 d \sin \theta \quad (2.21)$$

Sesudah difraksi itu akan terjadi interferensi saling memperkuat bila selisih panjang jalan tersebut di atas sama dengan bilangan bulat dikalikan panjang gelombang sinar-X yang didifraksi, atau bila :

$$BCD = n \lambda \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (2.22)$$

Atau bila :

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \quad (2.23)$$

Persamaan terakhir ini adalah Hukum Bragg yang merupakan hukum dasar dari difraksi sinar-X.

Berdasarkan Hukum Bragg itu ( $n\lambda = 2d \sin\theta$ ), maka untuk sinar-X monokromatik dengan  $\lambda$  tertentu hanya akan ada nilai-nilai sudut  $\theta$  tertentu saja dimana akan terjadi difraksi yang disertai interferensi saling memperkuat dan nilai-nilai sudut dimana hal itu akan terjadi ditentukan oleh nilai  $d$ , yaitu jarak antar bidang-bidang pendifraksi dalam hablur yang bersangkutan. Sudut-sudut dimana akan terjadi difraksi yang disertai interferensi saling memperkuat itu (untuk suatu  $\lambda$  sinar-X tertentu) dapat ditentukan secara experimental. Jika sudut itu sudah diketahui dari pengukuran, maka jarak antara bidang pendifraksi,  $d$ , dapat dihitung berdasarkan persamaan Hukum Bragg. Dan  $d$  atau jarak antar bidang pendifraksi dalam suatu hablur adalah suatu besaran yang khas atau karakteristik bagi hablur yang bersangkutan. Maka dengan menetapkan nilai  $d$  itu,

jenis hablurnya dapat diketahui atau diidentifikasi. Ini merupakan dasar dari analisis kualitatif berdasarkan difraksi sinar- X.

Difraksi sinar-X memberikan cara yang cepat, teliti, dan tidak merusak cuplikan untuk pengidentifikasian fasa-fasa kristal yang terdapat dalam suatu bahan. Kadang-kadang cara ini merupakan satu-satunya cara untuk menetapkan yang mana dari berbagai bentuk poliamorf suatu zat terdapat dalam suatu bahan, misalnya C dalam grafit atau C dalam intan. Juga untuk membedakan antara berbagai oksida seperti FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, atau antara komponen-komponen dari campuran-campuran seperti KBr+NaCl, atau campuran keempat-empatnya dapat dilakukan dengan mudah dengan difraksi sinar-X. Sedang analisa kimia biasa dari campuran demikian itu paling hanya menunjukkan adanya jenis-jenis ion saja dan tidak memberikan keterangan mengenai keadaan kombinasi yang sebenarnya [Ismono, 1979].

Pola difraksi beberapa bahan yang terkait dengan dolomit, yaitu CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, CaO, dan MgO dapat dilihat pada lampiran 5.

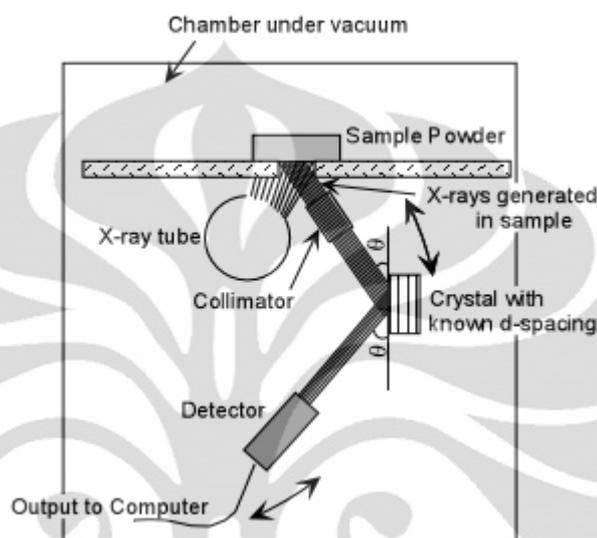
## **2.9. XRF (X-RAY FLUORESCENCE)**

Spektroskopi XRF adalah teknik analisis unsur yang membentuk suatu material dengan dasar interaksi sinar-X dengan material analit. Teknik ini banyak digunakan dalam analisa batuan karena membutuhkan jumlah sampel yang relatif kecil (sekitar 1 gram). Teknik ini dapat digunakan untuk mengukur unsur-unsur yang terutama banyak terdapat dalam batuan atau mineral. Sampel yang digunakan biasanya berupa serbuk hasil penggilingan atau pengepresan menjadi bentuk film.

Instrumen yang digunakan untuk melakukan pengukuran tersebut dinamakan *X-Ray Fluorescence Spektrometer*. Perlatan ini terdiri dari tabung pembangkit sinar-X yang mampu mengeluarkan elektron dari semua jenis unsur yang sedang diteliti. Sinar-X ini yang dihasilkan harus berenergi sangat tinggi, sehingga anoda target dalam tabung pembangkit harus berupa unsur Cr, Mo, W, atau Au.

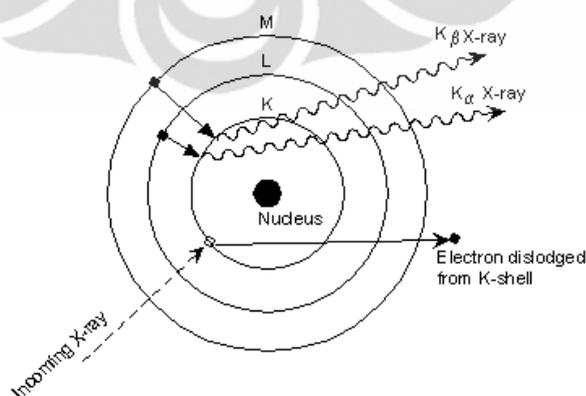
Sinar-X yang dihasilkan ini kemudian dilewatkan melalui suatu kolimator untuk menghasilkan berkas sinar yang koheren. Berkas sinar ini kemudian

didifraksikan oleh kisi kristal yang sudah diketahui nilai  $d$ -nya. Dengan menggunakan persamaan Bragg ( $n\lambda = 2d\sin\theta$ ). Kita dapat menentukan sudut dari sinar-X yang telah diketahui panjang gelombangnya. Kemudian kristal dan detektor diatur untuk mendifraksikan hanya panjang gelombang tertentu. Gambar 2.4 berikut menunjukkan skema peralatan XRF.



Gambar 2.4 Skema peralatan XRF

Prinsip analisis material dengan XRF yaitu apabila elektron dari suatu kulit atom bagian dalam dilepaskan, maka elektron yang terdapat pada bagian kulit luar akan berpindah pada kulit yang ditinggalkan tadi menghasilkan sinar-X dengan panjang gelombang yang karakteristik bagi unsur tersebut. Prinsip ini dapat diilustrasikan dengan gambar 2.5 berikut :



Gambar 2.5 Prinsip analisis material dengan XRF

Pada teknik difraksi sinar-X suatu berkas elektron digunakan. Sinar-X dihasilkan dari tembakan berkas elektron terhadap suatu unsur di anoda untuk

menghasilkan sinar-X dengan panjang gelombang yang diketahui. Peristiwa ini terjadi pada tabung sinar-X. Pada teknik XRF, kita menggunakan sinar-X dari tabung pembangkit sinar-X untuk mengeluarkan elektron dari kulit bagian dalam untuk menghasilkan sinar-X baru dari sampel yang dianalisis.

Seperti pada tabung pembangkit sinar-X, elektron dari kulit bagian dalam suatu atom pada sampel analit menghasilkan sinar-X dengan panjang gelombang karakteristik dari setiap atom di dalam sampel. Untuk setiap atom di dalam sampel, intensitas dari sinar-X karakteristik tersebut sebanding dengan jumlah (konsentrasi) atom di dalam sampel. Dengan demikian, jika kita dapat mengukur intensitas sinar-X karakteristik dari setiap unsur, kita dapat membandingkan intensitasnya dengan suatu standar yang diketahui konsentrasinya, sehingga konsentrasi unsur dalam sampel bisa ditentukan.

Intensitas sinar-X bersifat karakteristik untuk setiap unsur yang sedang diselidiki ditentukan dengan cara merotasikan kristal dan detektor pada sudut yang dibutuhkan untuk mendifraksi panjang gelombang karakteristik tersebut. Intensitas sinar-X kemudian diukur untuk setiap unsur dan dibandingkan pada standar yang telah diketahui konsentrasinya.

Kelebihan dari metode XRF adalah :

- Akurasi yang tinggi
- Dapat menentukan unsur dalam material tanpa adanya standar
- Dapat menentukan kandungan mineral dalam bahan biologik maupun dalam tubuh secara langsung.
- Dapat menentukan kandungan mineral dalam bahan biologis maupun dalam tubuh secara langsung.

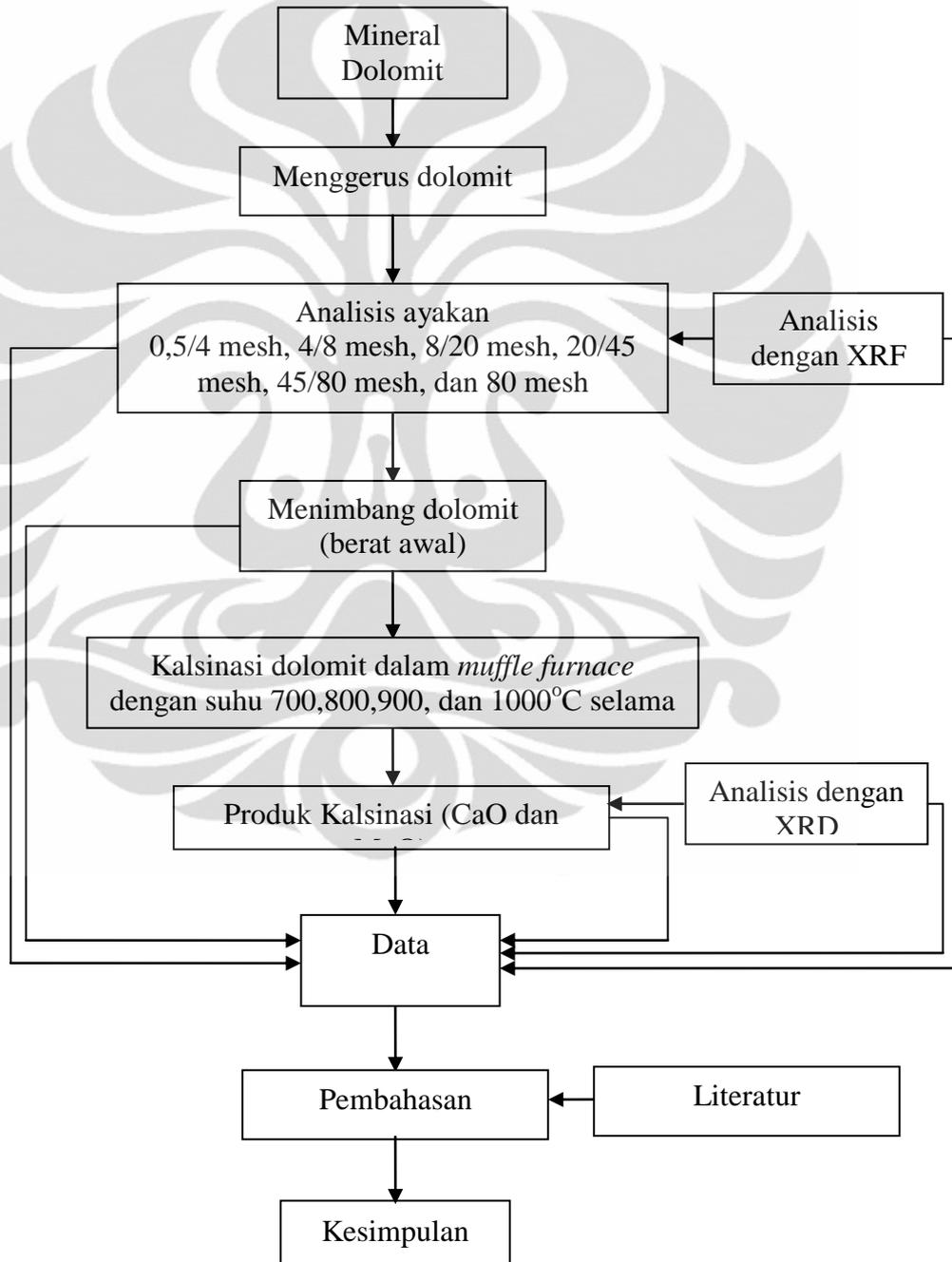
Kelemahan dari metode XRF adalah :

- Tidak dapat mengetahui senyawa apa yang dibentuk oleh unsur-unsur yang terkandung dalam material yang akan kita teliti.
- Tidak dapat menentukan struktur dari atom yang membentuk material itu [Ismono, 1979].

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Untuk lebih memahami proses kalsinasi dolomit ini dibuatlah diagram alir prosedur percobaan seperti tertera dalam gambar 3.1 sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.

## 3.2 RANCANGAN PENELITIAN

Penelitian yang akan dilakukan dibagi menjadi lima tahap utama, yaitu:

### 3.2.1 Preparasi Sampel

Dolomit yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah dolomit yang berasal dari daerah Lamongan Jawa Timur.

Sebagai tahap awal penelitian ini dilakukan proses *size reduction* terhadap sampel batuan dolomit yang digunakan. Sample dipecah terlebih dahulu untuk mendapatkan bongkahan-bongkahan yang lebih kecil baru kemudian diperkecil lagi dengan menggunakan *jaw crusher* untuk mendapatkan ukuran yang diinginkan. *Jaw crusher* dioperasikan selama kurang lebih lima menit.

Pecahan dolomit yang keluar selanjutnya dipisahkan berdasarkan ukuran-ukuran tertentu menggunakan ayakan standar yang disusun dengan urutan semakin ke bawah semakin halus. Pengayakan dilakukan untuk mendapatkan ukuran-ukuran yang diinginkan, yaitu 0,5/4 mesh, 4/8 mesh, 8/20 mesh, 20/45 mesh, 45/80 mesh, dan 80 mesh.

### 3.2.2 Analisis Sampel Awal

Terhadap sampel yang telah digerus dilakukan analisis ayak, analisis kuantitatif dengan XRF (*X-Ray Fluorescent*), dan analisis kualitatif dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*).

#### 3.2.2.1. Analisis Ayakan

Analisis ayakan dilakukan dengan menempatkan sampel dolomit yang telah digerus pada seperangkat alat ayak standar yang disusun secara deret dalam suatu tumpukan, dimana ayak yang ayamannya paling rapat ditempatkan paling bawah dan anyaman paling besar ditempatkan paling atas. Ayakan yang digunakan disusun dari ayakan berukuran 0,5 mesh, 4 mesh, 8 mesh, 20 mesh, 45 mesh, dan 80 mesh. Selanjutnya pengayak diguncang secara mekanis selama beberapa waktu tertentu. Partikel yang tertahan pada setiap ayakan dikonversikan menjadi fraksi massa atau persen massa dari contoh keseluruhannya. Hasil ayakan dengan fraksi sangat sedikit tidak digunakan sebagai sampel untuk mempermudah perolehan sampel yang akan dikalsinasi.

### 3.2.2.2. Analisis Komposisi Kimia

Analisis komposisi kimia sampel dilakukan dengan menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*) untuk mengetahui kandungan oksida-oksida yang terdapat dalam sampel dolomit, terutama CaO dan MgO. Oksida-oksida lain yang dapat terukur yaitu TiO<sub>2</sub>, BaO, Na<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Selain itu juga dilakukan analisis terhadap nilai LOI (*Loss on Ignition*) atau hilang bakar.

### 3.2.2.3. Analisis Kualitatif Sampel

Analisis kualitatif sampel dilakukan dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui struktur mineral yang sesungguhnya terkandung dalam sampel dolomit. Untuk analisis ini digunakan sampel dolomit yang telah dihaluskan hingga mencapai ukuran butir 100 mesh.

### 3.2.3 Kalsinasi Dolomit

Proses kalsinasi dilakukan dengan memanaskan dolomit yang sudah dipreparasi dengan ukuran-ukuran tertentu pada tahap sebelumnya dengan variasi temperatur, waktu, dan ukuran butiran. Pemanasan dilakukan di dalam tungku dengan temperatur dari 700°C, 800°C dan 900°C dan waktu hingga enam jam.

### 3.2.4 Analisis Produk Akhir

Produk akhir dolomit terkalsinasi dianalisis dengan menggunakan XRD dan SEM untuk mengetahui struktur kristal, komposisi kimia, dan foto mikronya.

## 3.3 ALAT DAN BAHAN PENELITIAN

### 3.3.1 Alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

1. Palu

Palu digunakan untuk memecah batuan dolomit yang berupa bongkahan agar menjadi bongkahan-bongkahan yang lebih kecil untuk mempermudah proses pengecilan ukuran dengan *crusher*.

2. *Jaw crusher*

*Jaw crusher* digunakan untuk mendapatkan dolomit dengan ukuran-ukuran yang lebih kecil. Berikut ini adalah gambar *Jaw crusher* yang digunakan dalam penelitian ini (gambar 3.2).



Gambar 3.2 *Jaw Crusher*.

3. Ayakan standar

Ayakan digunakan untuk memisahkan dolomit yang telah dihancurkan dengan *jaw crusher* berdasarkan fraksi-fraksi ukuran tertentu.

4. *Vibrating machine*

*Vibrating machine* digunakan untuk menggetarkan susunan ayakan agar butiran dolomit dapat lolos sempurna melalui lubang-lubang penyaring. Gambar 3.3 berikut menunjukkan bentuk *vibrating machine* yang digunakan.



Gambar 3.3. *Vibrating machine*.

5. Krusibel

Krusibel digunakan sebagai wadah butiran dolomit selama dikalsinasi di dalam tungku. Krusibel ini terbuat dari bahan porselen dan tahan terhadap panas hingga temperatur  $1000^{\circ}\text{C}$ . Gambar 3.4 berikut menunjukkan krusibel porselen tersebut.



Gambar 3.4 Krusibel Porselen.

#### 6. *Furnace*

Proses kalsinasi dilakukan dengan menggunakan alat *Spreat Furnace* dengan tipe CARBOLITE yang dapat digunakan untuk memanaskan sampel hingga  $1200^{\circ}\text{C}$ . *Furnace* ini dapat diprogram untuk parameter temperatur dan waktu pemanasan, dan dapat dikontrol dengan ketelitian yang baik. Model *spreat furnace* dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Spreat furnace* tipe CARBOLITE.

#### 7. Neraca analitik

Neraca analitik digunakan untuk mengetahui berat sampel sebelum dan sesudah periode waktu kalsinasi.

#### 8. Tang penjepit

Tang penjepit digunakan untuk mengambil krusibel dari dalam tungku.

### 3.3.2 Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan untuk penelitian adalah dolomit yang diambil dari tempat penambangan dolomit di daerah Lamongan Jawa Timur.

## 3.4 PENGOLAHAN DATA

Pengolahan data dilakukan dengan menghitung konstanta laju reaksi kalsinasi dolomit dan energi aktivasi untuk masing-masing ukuran sampel dan temperatur kalsinasi.

### 3.4.1 Konstanta Laju Reaksi

Reaksi yang terjadi selama kalsinasi diasumsikan berorde satu terhadap  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ . Konstanta laju reaksi ditentukan dengan metode grafik berdasarkan pengurangan berat sampel yang dikalsinasi ( $\Delta W$ ) selama selang waktu ( $t$ ) enam jam dengan temperatur yang berbeda-beda.

Berat sampel yang berkurang sebanding dengan berat gas karbondioksida yang terbentuk. Reaksinya sebagai berikut :



Persamaan laju reaksi untuk reaksi orde satu untuk reaksi di atas adalah:

$$-\frac{dC_A}{dt} = k_1 C_A \quad (3.2)$$

Persamaan tersebut disusun ulang dan diintegrasikan dengan kondisi awal pada saat  $t = 0$   $C_A = C_{A0}$

$$-\int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A} = \int_0^t k dt \quad (3.3)$$

Integrasi dari persamaan tersebut menghasilkan :

$$\ln C_A - \ln C_{A0} = -kt$$

$$\ln \frac{C_A}{C_{A0}} = -kt$$

$$\ln \frac{C_{A0}}{C_A} = kt \quad (3.4)$$

Konsentrasi dolomit pada setiap waktu  $t$  adalah :

$$C_A = C_{A0}e^{-kt} \quad (3.5)$$

Konsentrasi gas karbondioksida pada setiap waktu  $t$  dapat diperoleh dari stoikiometri reaksi :

	A	→	B	+	2C
Mula-mula	$C_{A0}$		$C_{B0} = 0$		$C_{C0} = 0$
Reaksi	$C_{A0}X$		$C_{A0}X$		$2C_{A0}X$
Hasil	$C_A = C_{A0} - C_{A0}X$		$C_B = C_{A0}X$		$C_C = 2C_{A0}X$
	$C_{A0}X = C_{A0} - C_A$				$C_C = 2(C_{A0} - C_A)$

Dari persamaan (3.5)

$$C_A = C_{A0}e^{-kt}$$

Maka :

$$C_C = 2(C_{A0} - C_{A0}e^{-kt})$$

$$C_C = 2C_{A0} - 2C_{A0}e^{-kt}$$

$$C_C - 2C_{A0} = -2C_{A0}e^{-kt}$$

$$\frac{2C_{A0} - C_C}{2C_{A0}} = e^{-kt}$$

$$\ln \frac{2C_{A0} - C_C}{2C_{A0}} = -kt$$

Plot  $\ln \frac{2C_{A0} - C_C}{2C_{A0}}$  sebagai fungsi dari  $t$  akan merupakan garis lurus dengan

slope  $-k$ , sehingga dari data terbentuknya gas karbondioksida dapat dihitung harga konstanta laju reaksi  $k$ .

### 3.4.2 Energi Aktivasi

Energi aktivasi ditentukan berdasarkan harga konstanta laju reaksi untuk masing-masing ukuran sampel pada temperatur yang berbeda-beda menggunakan persamaan Arrhenius :

$$k_{(T)} = A e^{\left(\frac{-Ea}{RT}\right)} \quad (3.6)$$

Dengan  $k_{(T)}$  = konstanta laju reaksi pada suhu  $T$

$A$  = tetapan Arrhenius

$Ea$  = energi aktivasi (kal/mol)

R = konstanta gas (1,987 kal/mol.K)

T = temperatur (K)

Linearisasi persamaan (3.6) menghasilkan persamaan :

$$\ln k = \ln A - \frac{Ea}{RT} \quad (3.7)$$

Plot grafik antara  $\ln k$  terhadap  $1/T$  akan menghasilkan garis lurus dengan slope

$-\frac{Ea}{R}$  dan intersep  $\ln A$ .



## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1.3 ANALISIS SAMPEL DOLOMIT

#### 4.1.1 Hasil Analisis Kuantitatif

Analisis komposisi sampel dolomit dilakukan dengan menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescent*) untuk mengetahui kadar senyawa penyusun dolomit. Dari analisis ini diketahui komposisi kimia dolomit terlihat seperti dalam tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Komposisi kimia dolomit Lamongan.

No	Unsur	( % berat )
1	CaO	35,7
2	MgO	16,7
3	SiO <sub>2</sub>	2,19
4	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,020
5	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,010
6	LOI	45,4

Dari tabel 4.1 tersebut dapat diketahui bahwa kandungan kalsium dan magnesium dinyatakan dalam bentuk oksida, bukan sebagai senyawa karbonat. Kadar CaCO<sub>3</sub> dan MgCO<sub>3</sub> dapat dihitung berdasarkan perbandingan stoikiometri.

$$\begin{aligned}\% CaCO_3 &= \frac{\% CaO}{BM CaO} \times BM CaCO_3 \\ &= \frac{35,7}{56} \times 100 \\ &= 63,75\%\end{aligned}$$

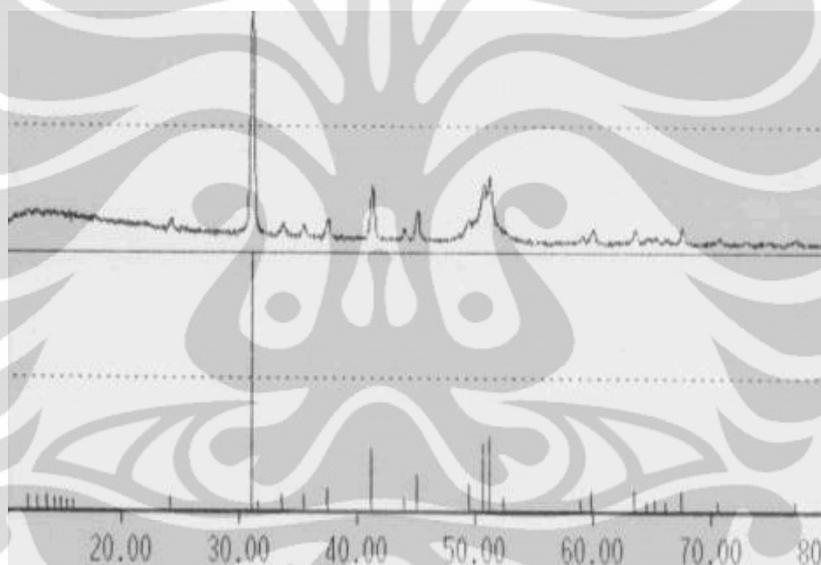
$$\begin{aligned}\% MgCO_3 &= \frac{\% MgO}{BM MgO} \times BM MgCO_3 \\ &= \frac{16,7}{40} \times 84 \\ &= 35,07\%\end{aligned}$$

LOI (*Loss on Ignition*) merupakan banyaknya zat yang hilang akibat pemijaran hingga suhu 1000°C, yaitu terdiri atas air dan senyawa organik.

Dilihat dari kandungan MgO-nya, dolomit yang diambil dari daerah Paciran Lamongan ini termasuk jenis dolomit berkalsium karena kadar MgO-nya berada pada rentang antara 10,9–19,9% berat [Oates, 1998].

#### 4.1.2 Hasil Analisis Kualitatif

Untuk mengetahui struktur mineral yang terkandung dalam sampel dolomit telah dilakukan analisis kualitatif dengan menggunakan XRD Shimadzu tipe XD-7A dengan radiasi  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$ ). Sudut difraksi ditentukan pada range antara  $10^\circ$ - $80^\circ$  dengan sampling pitch  $0,02^\circ$  dan kecepatan pengukuran  $2^\circ$  per menit. Generator dioperasikan pada 30 kV dan 30 mA. Pola difraksi terhadap sampel dolomit dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut :



Gambar 4.1 Pola difraksi sinar-X sampel dolomit Lamongan

Dari pola difraksi seperti pada gambar 4.1 tersebut teridentifikasi beberapa *peak* yang kemudian dianalisis dengan menggunakan kartu standar dari *JCPDF* (*Joint Committee on Powder Diffraction File*). Identifikasi dilakukan dengan membandingkan beberapa nilai *d-spacing* dari hasil pengukuran terhadap sampel dengan nilai *d-spacing* pada standar yang ada. Nilai *d-spacing* ini bersifat sangat karakteristik untuk setiap mineral, dan kesesuaian nilai *d-spacing* hasil pengukuran dengan nilai *d-spacing* standar menunjukkan bahwa sampel yang diuji mempunyai struktur kristal yang sama dengan yang dinyatakan dalam standar tersebut [Dutrow, 2011].

Beberapa nilai *d-spacing* hasil pengukuran terhadap sampel awal yang digunakan dalam penelitian ini dicantumkan dalam tabel 4.2. Karakteristik kristal dolomit teridentifikasi terutama dari nilai tiga puncak tertinggi (*three strongest peak*) yaitu pada *d-spacing* 2,913, 1,802, dan 2,208. Pada kartu JCPDF standar, tiga puncak tertinggi mempunyai nilai *d-spacing* 2,89, 2,19, dan 1,78 [Powder Diffraction File, 1974].

Tabel 4.2 Nilai *d-spacing* sampel dolomit pada berbagai sudut difraksi.

No	Sudut ( $\theta$ )	<i>d-spacing</i> sampel	Intensitas Relatif	<i>d-spacing</i> standar	Hasil		
					Senyawa	Jenis Mineral	No. ICDD
1	30,66	2,913	100	2,888	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Dolomit	36-426
2	50,62	1,802	18	1,787	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Dolomit	36-426
3	40,84	2,208	16	2,193	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Dolomit	36-426
4	50,04	1,821	14	1,805	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Dolomit	36-426
5	44,66	2,027	8	2,065	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Dolomit	36-426
6	37,1	2,421	6	2,404	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Dolomit	36-426
7	49,02	1,857	5	1,847	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Dolomit	36-426
8	48,44	1,878	5				
9	59,48	1,553	4	1,545	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Dolomit	36-426
10	23,82	3,732	4	3,699	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Dolomit	36-426

Perbandingan sepuluh nilai *d-spacing* sampel terhadap nilai *d-spacing* standar seperti dalam tabel 4.2 di atas memberikan hasil yang menunjukkan bahwa hampir semua *peak* yang muncul dari pengukuran sampel mempunyai jarak antar bidang (*d-spacing*) dari struktur CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Hal ini menyatakan bahwa sampel dolomit Lamongan tersusun atas kristal-kristal dolomit CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> dengan nomor ICDD 36-462 [Powder Diffraction File, 1974].

#### 4.1.4 KALSINASI DOLOMIT

Kalsinasi dolomit dilakukan dengan menggunakan metode pengurangan berat pada berbagai variasi temperatur yang konstan di dalam *muffle furnace*. Pengurangan berat dihitung setiap satu jam selama enam jam. Pengurangan berat yang terjadi sebanding dengan berat CO<sub>2</sub> yang terbentuk selama proses kalsinasi.

#### 4.2.1 Temperatur Kalsinasi Dolomit

Penelitian tentang penentuan temperatur dekomposisi dolomit ini telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Menurut Schwarzkopf dolomit dan magnesian/batu kapur dolomitik terurai pada temperatur lebih tinggi dari magnesium karbonat. Suhu kalsinasi selama inisiasi bervariasi dari 510 ke 750°C, serta diatur oleh struktur kristal dan bentuk batu [Schwarzkopf, 1994].

S Gunasekaran dan G Anbalagan pada tahun 2007 telah meneliti tentang dekomposisi termal dolomit alam. Penelitian dilakukan dengan menggunakan termogravimetri dan Differential Thermal Analysis (DTA). Dari data DTA terlihat puncak pada suhu 777,8°C dan 834°C yang merupakan titik dekarbonasi dolomit dan kalsit [Gunasekaran, 2007].

M. V. Kok dan W. Smykatz-Kloss pada tahun 2008 telah meneliti tentang karakterisasi, korelasi, dan kinetik sampel dolomit menggunakan XRD, DTA, TGA. Reaksi dekomposisi terjadi melalui tahapan dehidrasi air inter-partikel, pembentukan kalsit dan MgO, serta dekomposisi kalsit. Dari analisis menggunakan DTA dan TGA diperoleh dua titik endotermis. Titik endotermis pertama terjadi pada rentang temperatur antara 20-315°C yang berkaitan dengan pengurangan massa akibat hilangnya kandungan air dalam sampel. Titik endotermis kedua terdeteksi pada rentang temperatur antara 690-920°C yang dapat dibagi menjadi dua area. Area pertama pada rentang temperatur antara 690-810°C yang berkaitan dengan pembentukan MgO dan CaCO<sub>3</sub>. Area kedua pada rentang temperatur antara 810-920°C yang berkaitan dengan dekomposisi CaCO<sub>3</sub> [Kok, 2008].

Bervariasinya temperatur dekomposisi dolomit antara hasil penelitian kali ini dengan penelitian-penelitian lain dimungkinkan terjadi akibat bervariasinya sampel yang digunakan. Dolomit dari daerah yang satu dengan daerah yang lain tentu akan berbeda komposisinya. Impuritas yang terkandung di dalamnya pun sangat bervariasi, baik kadar maupun jenisnya. Hal ini akan mempengaruhi titik dekomposisi dolomit tersebut yang pada gilirannya juga akan menyebabkan harga energi aktivasi menjadi bervariasi [Gunasekaran, 2007]. Anbalagan, *et al.* pada tahun 2009 juga telah melakukan penelitian tentang dekomposisi non-isotermal

batu kapur dari daerah lautan India. Dari penelitian ini diketahui bahwa adanya impuritas/pengotor mempengaruhi energi aktivasi [Anbalagan, 2009].

Pada dasarnya temperatur kalsinasi dapat diperhitungkan secara teoritis dengan menggunakan nilai energi bebas Gibbs ( $\Delta G$ ) yang merupakan “*driving force*” untuk suatu reaksi. Diperlukan energi bebas Gibbs yang bernilai negatif ( $\Delta G < 0$ ) agar reaksi dapat berlangsung secara spontan.

Dalam kaitannya dengan kalsinasi dolomit ini, perkiraan temperatur dekomposisi dapat diperhitungkan dengan asumsi bahwa dolomit tersusun dari senyawa  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{MgCO}_3$  yang dipandang sebagai komponen yang berdiri sendiri-sendiri [Mericboyu, 2001] sehingga temperatur dekomposisi ini dihitung masing-masing berdasarkan reaksi dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{MgCO}_3$ . Secara teoritis temperatur kalsinasi dapat ditentukan dengan cara mengetahui tekanan gas  $\text{CO}_2$  di dalam tungku kalsiner. Pada prakteknya tekanan gas  $\text{CO}_2$  yang dipakai untuk menentukan temperatur dekomposisi adalah dengan mengambil tekanan gas  $\text{CO}_2$  sama dengan 1 atm [Lalu, 2010].

Reaksi dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{MgCO}_3$  :



Persamaan dasar energi bebas Gibbs :

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln k \quad (4.5)$$

Untuk reaksi dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  :

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln \frac{[\text{CaO}] [\text{CO}_2]}{[\text{CaCO}_3]} \quad (4.6)$$

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln p_{\text{CO}_2} \quad (4.7)$$

Demikian halnya dengan reaksi dekomposisi  $\text{MgCO}_3$ .

Pada keadaan setimbang

$$\Delta G = 0 \quad (4.8)$$

$$\text{Sehingga } \Delta G^0 = -RT \ln p_{\text{CO}_2} \quad (4.9)$$

Perubahan energi bebas Gibbs sistem yang terjadi selama reaksi adalah sebanding dengan perubahan entalpi sistem dikurangi perubahan entropi sistem yang

dikalikan dengan temperatur. Secara matematis persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (4.10)$$

Dalam keadaan standar, tekanan 1 atm dan temperatur 25°C (298 K), energi bebas Gibbs dinyatakan sebagai energi bebas Gibbs standar ( $\Delta G^0$ ).

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T \Delta S^0 \quad (4.11)$$

Perubahan entalpi standar :

$$\Delta H^0 = \sum H_f^0(\text{produk}) - \sum H_f^0(\text{reaktan}) \quad (4.12)$$

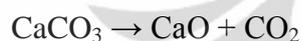
Perubahan entropi standar :

$$\Delta S^0 = \sum S_f^0(\text{produk}) - \sum S_f^0(\text{reaktan}) \quad (4.13)$$

Tabel 4.3 Data-data termokimia [Patnaik, 2002].

	$\Delta H_f^0$ (kkal/mol)	$\Delta S^0$ (kal/mol.K)
CaCO <sub>3</sub>	-289,5	21,92
CaO	-151,7	9,11
MgCO <sub>3</sub>	-261,7	15,7
MgO	-143,84	6,44
CO <sub>2</sub>	-94,052	51,09

Reaksi dekomposisi CaCO<sub>3</sub>:



$$\Delta H^0 = \sum H_f^0(\text{CaO}) + H_f^0(\text{CO}_2) - H_f^0(\text{CaCO}_3) \quad (4.14)$$

$$\Delta S^0 = \sum S^0(\text{CaO}) + S^0(\text{CO}_2) - S^0(\text{CaCO}_3) \quad (4.15)$$

Dengan memasukkan harga  $\Delta H_f^0$  dan  $\Delta S^0$  dari tabel data termokimia di atas, diperoleh persamaan :

$$\begin{aligned} \Delta H^0 &= 43,748 \text{ kkal} \\ &= 43.748 \text{ kal} \end{aligned}$$

$$\Delta S^0 = 38,28 \text{ kal/mol.K}$$

Sehingga persamaan  $\Delta G^0$  sebagai fungsi temperatur menjadi ;

$$\Delta G^0 = 43.748 \text{ kal} - T(K) 38,28 \text{ kal/mol.K} \quad (4.16)$$

Dengan cara yang sama untuk reaksi dekomposisi  $\text{MgCO}_3$  diperoleh persamaan  $\Delta G^\circ$  sebagai fungsi temperatur :

$$\Delta G^\circ = 23.808 \text{ kal} - T(K)41,83 \text{ kal/mol.K} \quad (4.17)$$

Persamaan (4.14) dan (4.15) digunakan untuk menghitung temperatur dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{MgCO}_3$  dengan mengambil tekanan gas  $\text{CO}_2$  sama dengan 1 atm.

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ &= -RT \ln P_{\text{CO}_2} \\ P_{\text{CO}_2} &= 1 \\ \ln P_{\text{CO}_2} &= 0 \\ \Delta G^\circ &= 0 \end{aligned}$$

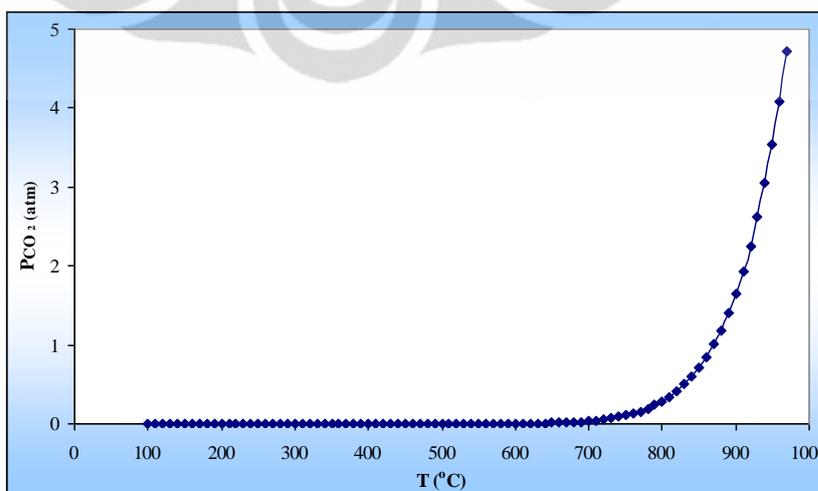
Maka temperatur dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  :

$$\begin{aligned} 0 &= 43.748 \text{ cal} - T(K)38,28 \text{ cal/mol.K} \\ T_{\text{CaCO}_3} &= 1142,84 \text{ K} \\ &= 869,84^\circ \text{ C} \end{aligned}$$

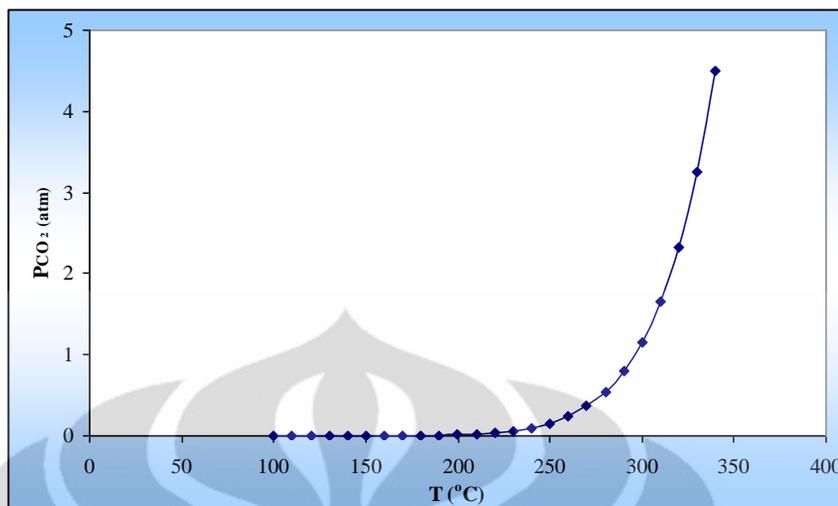
Dan untuk  $\text{MgCO}_3$  :

$$\begin{aligned} 0 &= 23.808 \text{ cal} - T(K)41,83 \text{ cal/mol.K} \\ T_{\text{MgCO}_3} &= 569,19 \text{ K} \\ &= 296,16^\circ \text{ C} \end{aligned}$$

Dari nilai  $\Delta G^\circ$  pada berbagai temperatur dapat dibuat grafik tekanan  $\text{CO}_2$  ( $P_{\text{CO}_2}$ ) terhadap temperatur seperti terlihat pada gambar 4.2 untuk sistem  $\text{CaCO}_3$  dan gambar 4.3 untuk  $\text{MgCO}_3$ .



Gambar 4.2 Grafik tekanan  $\text{CO}_2$  ( $P_{\text{CO}_2}$ ) terhadap temperatur pada sistem dekomposisi  $\text{CaCO}_3$ .



Gambar 4.3 Grafik tekanan CO<sub>2</sub> (P<sub>CO<sub>2</sub></sub>) terhadap temperatur pada sistem dekomposisi MgCO<sub>3</sub>.

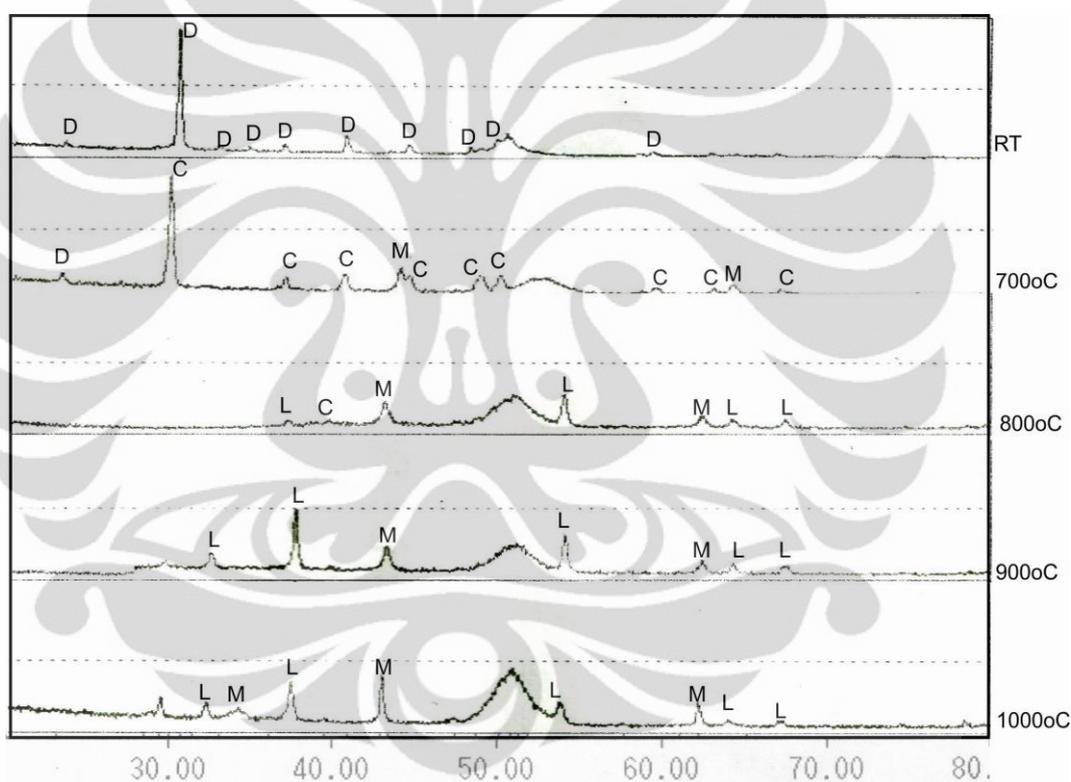
Dari gambar 4.2 dan 4.3 tersebut kita dapat menentukan temperatur dekomposisi untuk CaCO<sub>3</sub> dan MgCO<sub>3</sub> dengan mengatur tekanan parsial CO<sub>2</sub> di dalam tungku kalsiner. Dekomposisi termal dolomit sangat dipengaruhi oleh tekanan parsial CO<sub>2</sub> [Samtani, 2001]. Semakin tinggi tekanan parsial CO<sub>2</sub>, reaksi dekomposisi juga akan semakin sulit terjadi sehingga diperlukan temperatur tinggi agar terjadi dekomposisi tersebut [De Aza, 2002]. Jadi apabila kita menghendaki penggunaan temperatur rendah untuk melangsungkan proses dekomposisi, maka diperlukan tekanan parsial CO<sub>2</sub> di dalam tungku yang rendah hingga mendekati kondisi vakum. Begitu juga sebaliknya, apabila kita menghendaki penggunaan temperatur tinggi untuk melangsungkan proses dekomposisi, maka diperlukan tekanan parsial CO<sub>2</sub> yang tinggi pula. Secara keseluruhan dapat dinyatakan bahwa dengan menggunakan temperatur kalsinasi 700-1000°C maka tekanan parsial CO<sub>2</sub> di dalam tungku cukup tinggi. Hal ini akan mempengaruhi mekanisme proses terbentuknya senyawa oksida hasil kalsinasi dolomit yang akan dijelaskan pada sub bab 4.2.4 mengenai mekanisme reaksi kalsinasi dolomit.

#### 4.2.2 Analisis Percobaan Kalsinasi Dolomit pada Berbagai Temperatur

Pada penelitian ini kalsinasi dilakukan pada temperatur 700-1000°C agar dolomit dapat terurai sempurna. Untuk mengetahui sejauh mana tingkat kalsinasi dolomit telah berjalan pada temperatur percobaan tersebut, dilakukan analisis terhadap sampel dolomit yang dikalsinasi pada temperatur 700, 800, 900, dan

1000°C. Sampel yang digunakan adalah dolomit dengan ukuran -80 mesh dengan asumsi bahwa semakin kecil ukuran sampel, kalsinasi semakin sempurna. Waktu kalsinasi selama 6 jam untuk memberikan kesempatan agar semua dolomit cukup mendapatkan panas dan terkalsinasi seluruhnya.

Dolomit yang telah dikalsinasi selama 6 jam pada berbagai temperatur tersebut selanjutnya dianalisis menggunakan XRD untuk mengetahui perubahan-perubahan yang terjadi pada struktur kristalnya. Hasil analisis dengan XRD terhadap sampel dolomit sebelum dikalsinasi dan sesudah dikalsinasi pada berbagai temperatur dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut :



Gambar 4.4 Pola difraksi dolomit -80 mesh yang dikalsinasi selama 6 jam pada berbagai temperatur. RT = *Room temperature*, D = Dolomit, C = *Calcite* ( $\text{CaCO}_3$ ), M = MgO, dan L = CaO

Dari gambar 4.4 tersebut terlihat adanya mekanisme perubahan struktur kristal yang bertingkat dari sampel dolomit sebelum dikalsinasi hingga sampel setelah dikalsinasi hingga temperatur 1000°C. Untuk lebih memperjelas perubahan struktur kristal yang terjadi, dilakukan analisis hasil difraksi dengan membandingkan nilai *d-spacing* sampel terhadap data standar *JCPDF*.

Perbandingan nilai *d-spacing* sampel pada berbagai temperatur kalsinasi disajikan dalam tabel 4.4 berikut :

Tabel 4.4 Data *d-spacing* sampel dolomit -80 mesh yang dikalsinasi selama 6 jam pada berbagai temperatur (D = Dolomit, C = Calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), M = MgO, dan L = CaO)

No	700°C		800°C		900°C		1000°C	
	d	senyawa	d	senyawa	D	senyawa	d	senyawa
1	1,433	C	1,387	L	1,389	L	1,393	L
2	1,491	M	1,450	L	1,451	L	1,453	L
3	1,515	C	1,488	M	1,489	M	1,492	M
4	1,597	C	1,700	L	1,700	L	1,706	L
5	1,869	C	2,104	M	2,404	L	1,926	M
6	1,911	C	2,279	C	2,776	L	2,112	M
7	2,085	C	2,422	L			2,416	L
8	2,108	M					2,636	M
9	2,274	C					2,794	L
10	2,482	C						
11	3,029	C						
12	3,840	D						

Dari gambar 4.4 dan didukung oleh data *d-spacing* pada tabel 4.4 proses kalsinasi dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Kalsinasi pada temperatur 700°C

Pada temperatur 700°C sebagian besar struktur dolomit telah berubah menjadi *calcite*  $\text{CaCO}_3$  dan *periclase* MgO. Struktur kristal *calcite* teridentifikasi pada nilai *d-spacing* 3,029, 2,274, dan 2,108 yang sesuai dengan nomor ICDD 05-586. Struktur kristal *periclase* teridentifikasi pada nilai *d-spacing* 2,108 dan 1,491 yang sesuai dengan nomor ICDD 04-829. Diperkirakan masih ada sedikit dolomit yang belum terdekomposisi pada temperatur ini yang teridentifikasi pada nilai *d-spacing* 3,840. Struktur kristal *magnesite*  $\text{MgCO}_3$  tidak terdeteksi dari hasil pengukuran XRD, menunjukkan bahwa  $\text{MgCO}_3$  telah terdekomposisi menjadi MgO karena telah melampaui titik

dekomposisinya. Belum terbentuk CaO sebagai hasil dekomposisi CaCO<sub>3</sub> karena memang titik dekomposisinya belum terlampaui.

2. Kalsinasi pada temperatur 800°C

Pada temperatur kalsinasi mencapai 800°C struktur *calcite* sebagian besar telah terdekomposisi menjadi CaO namun masih menyisakan sedikit CaCO<sub>3</sub> yang belum terdekomposisi. Struktur kristal CaO teridentifikasi pada nilai *d-spacing* 1,700, 2,422, dan 1,450 yang sesuai dengan nomor ICDD 03-1123. Sementara MgO agak meningkat intensitasnya dari kondisi sebelumnya. Sudah tidak terlihat adanya struktur kristal dolomit pada tingkat kalsinasi ini.

3. Kalsinasi pada temperatur 900°C

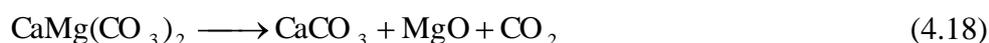
Pada temperatur 900°C seluruh *calcite* telah terdekomposisi karena telah melewati titik dekomposisinya. Puncak CaO menjadi semakin jelas dan intensitasnya semakin meningkat. Demikian juga halnya dengan MgO.

4. Kalsinasi pada temperatur 1000°C

Pada temperatur 1000°C kondisi tampak stagnan dengan terjadi sedikit perubahan pada peak MgO dan CaO. Artinya sudah tidak terjadi perubahan yang signifikan lagi pada temperatur ini. Reaksi dekomposisi terhadap struktur CaCO<sub>3</sub> dan MgCO<sub>3</sub> telah berlangsung pada saat sampel dolomit melewati suhu 700-900°C.

#### 4.2.3 Mekanisme Reaksi Kalsinasi Dolomit

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk menentukan bagaimana sebenarnya mekanisme yang dilalui selama proses dekomposisi dolomit. Menurut Shahraki, *et al.* [Shahraki, 2009], beberapa peneliti telah mengemukakan bahwa larutan padat karbonat terbentuk selama dekomposisi, dan beberapa peneliti lagi mengasumsikan terjadinya disosiasi yang membentuk karbonat secara terpisah atau menjadi magnesium dan kalsium oksida. Akan tetapi, merupakan sebuah fakta bahwa dekomposisi termal terjadi dalam dua tahap yang telah secara umum dinyatakan dalam reaksi :



Philip Engler, *et al.* [Engler, 1998] telah melakukan penelitian tentang dekomposisi termal dari dolomit dengan atmosfer CO<sub>2</sub> atau udara. Dekomposisi dolomit di bawah tekanan parsial CO<sub>2</sub> yang cukup tinggi terjadi melalui dua tahap yaitu :

- Tahap pertama adalah pembentukan CaCO<sub>3</sub> simultan dengan pembentukan MgO berdasarkan reaksi :



Tahap ini terjadi pada temperatur 550-765°C dan stabil pada temperatur 900-910°C.

- Tahap kedua berhubungan dengan reaksi dekomposisi CaCO<sub>3</sub> terjadi pada temperatur 900-910°C dan stabil pada temperatur 950-960°C.

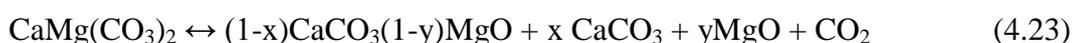


Sedangkan untuk dekomposisi dolomit di bawah atmosfer udara atau tekanan parsial CO<sub>2</sub> cukup rendah diyakini bahwa dolomit terdekomposisi berdasarkan reaksi :

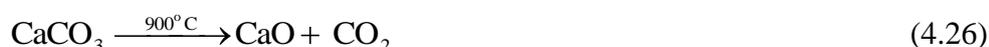


Pernyataan Philip Engler tersebut juga didukung oleh Haul dan Heystek [Haul, 1951], Maitra, *et al.* [Maitra, 2005], dan Samtani, *et al.* [Samtani, 2001]. De Aza, *et al.* [De Aza, 2002] menyatakan bahwa pada pengamatan dengan Neutron Thermodiffractometry pada rentang temperatur antara 25-1000°C, dolomit terdekomposisi mula-mula menghasilkan CaCO<sub>3</sub> dan MgO. Kemudian dengan pemanasan yang lebih lama kalsit terurai membentuk CaO.

Beruto, *et al.* [Beruto, 2003] mengajukan mekanisme reaksi dekomposisi dolomit pada tahap pertama dengan reaksi sebagai berikut :



Berdasarkan pola difraksi dolomit pada gambar 4.4 dan data *d-spacing* pada tabel 4.4, mekanisme reaksi dekomposisi dolomit pada penelitian ini dapat dinyatakan dengan reaksi :





Pada temperatur 700°C terjadi pembentukan *calcite* CaCO<sub>3</sub> dan MgO, sedangkan pada temperatur 800, 900, dan 1000°C hanya terjadi reaksi dekomposisi CaCO<sub>3</sub> menjadi CaO. Mekanisme ini sesuai dengan hasil penelitian-penelitian sebelumnya. Tahap pertama merupakan reaksi dekomposisi dolomit membentuk MgO dan CaCO<sub>3</sub> (yaitu pada temperatur 700°C), dilanjutkan dengan penguraian CaCO<sub>3</sub> membentuk CaO pada pemanasan selanjutnya (pada temperatur 800-1000°C). Pada temperatur sekitar 800°C, tekanan karbondioksida yang dihasilkan oleh disosiasi batu kapur sama dengan tekanan parsial CO<sub>2</sub> dalam gas di tungku kalsiner. Ketika suhu batu mencapai 900°C, temperatur batu kapur meningkat, lapisan permukaan mulai terdekomposisi. Bila temperatur batu kapur melebihi temperatur dekomposisi 900°C, tekanan parsial melebihi 1 atm dan proses pemisahan dapat dilanjutkan di luar permukaan partikel [Oates, 1998].

#### 4.1.5 PENGARUH SUHU TERHADAP HASIL KALSINASI DOLOMIT

Pengaruh suhu kalsinasi dolomit dipelajari pada rentang temperatur 700-1000°C dengan waktu kalsinasi selama 6 jam untuk sampel yang berukuran -80 mesh. Digunakan sampel dengan ukuran yang paling kecil karena diasumsikan bahwa semakin kecil ukuran sampel maka reaksi dekomposisi akan semakin cepat mencapai kesempurnaan.

Secara teoritis kalsinasi dolomit dapat dijelaskan berdasarkan perhitungan stoikiometri sebagai berikut :



Berat molekul	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	= 184 gr/mol
	CaOMgO	= 96 gr/mol
	CO <sub>2</sub>	= 44 gr/mol

Dengan berat sampel dolomit sebanyak 50 gr, reaksi dapat diperhitungkan secara stoikiometris seperti yang terurai dalam tabel 4.5 berikut :

Tabel 4.5 Perhitungan stoikiometris reaksi kalsinasi dolomit.

	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3 \rightarrow$	$\text{CaO} \cdot \text{MgO}$	$+ 2\text{CO}_2$	(4.2)
BM	184	96	44	
Berat awal (gr)	50			
Mol awal (mol)	0,272			
Reaksi (mol)	0,272			
Hasil (mol)	-	0,272	0,543	
Berat akhir produk reaksi		26,1 gr (52,2 % w/w)	23,9 gr (47,8 % w/w)	

Berdasarkan perhitungan pada tabel 4.5 tersebut dapat ditentukan bahwa apabila 50 gram sampel dolomit yang digunakan terkalsinasi sempurna akan menghasilkan produk  $\text{CaOMgO}$  sebanyak 26,1 gram (52,2 % w/w) atau berat dolomit yang hilang sebagai  $\text{CO}_2$  sebanyak 23,9 gram (47,8 % w/w).

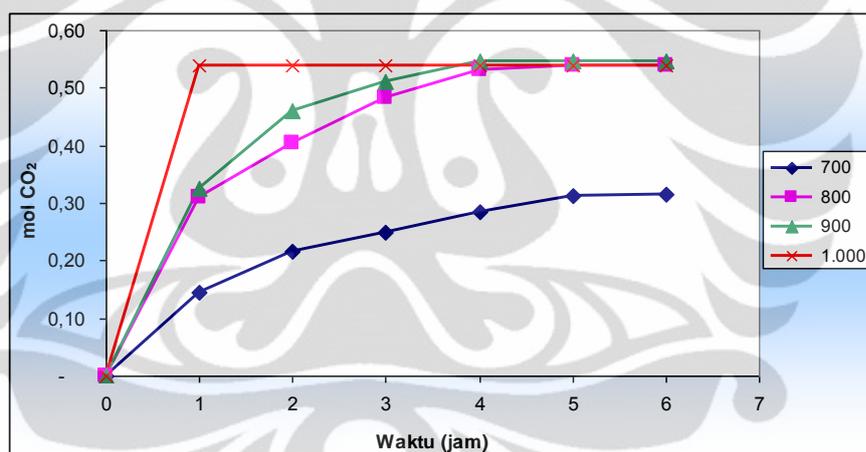
Dari penelitian diperoleh data kinetika berupa perubahan % berat sampel yang hilang setelah kalsinasi setiap waktu pada berbagai temperatur kalsinasi. Berat sampel yang hilang menyatakan banyaknya gas  $\text{CO}_2$  yang terbentuk selama kalsinasi. Data tersebut disajikan dalam tabel 4.6 berikut :

Tabel 4.6 Total  $\text{CO}_2$  (%w/w) yang terbentuk selama kalsinasi pada berbagai temperatur kalsinasi

Waktu (jam)	Total $\text{CO}_2$ yang terbentuk selama kalsinasi (%w/w)			
	700°C	800°C	900°C	1000°C
0	-	-	-	-
1	12,72	27,22	28,54	47,34
2	18,94	35,58	40,44	47,36
3	21,88	42,52	45,04	47,36
4	25,14	46,66	48,15	47,38
5	27,46	47,48	48,16	47,32
6	27,68	47,44	48,16	47,32

Dari tabel 4.6 diketahui bahwa total berat  $\text{CO}_2$  yang terbentuk selama kalsinasi pada temperatur 700°C belum mencapai kondisi konstan. Hingga akhir waktu kalsinasi baru terbentuk 27,68 %w/w  $\text{CO}_2$ . Artinya baru terjadi kalsinasi

sebanyak kurang lebih 60%. Pada temperatur 800°C total berat CO<sub>2</sub> yang terbentuk hingga akhir waktu kalsinasi mencapai kondisi yang stabil setelah 5 jam, yaitu sebanyak 47,48 %w/w CO<sub>2</sub>. Berarti tingkat kalsinasi sudah mencapai 92%. Tetapi hasil ini belum cukup sempurna bila dibandingkan dengan kalsinasi pada 900°C. Pada temperatur 900°C total berat CO<sub>2</sub> yang terbentuk hingga akhir waktu kalsinasi mencapai kondisi yang stabil setelah 5 jam, yaitu sebanyak 48,16 %w/w CO<sub>2</sub>. Dalam hal ini tingkat kalsinasi hampir mencapai 94%. Sedangkan pada temperatur 1000°C total berat CO<sub>2</sub> yang terbentuk hingga akhir waktu kalsinasi stabil sejak 1 jam kalsinasi. Perbedaan antara berat sampel yang hilang setelah kalsinasi antara hasil percobaan dengan berat secara teoritis pada sub-bab 4.2.1 adalah karena pada percobaan berat sampel yang digunakan tidak tepat 50 gram. Apabila data CO<sub>2</sub> yang terbentuk (dalam mol) diplotkan terhadap waktu, maka akan diperoleh kurva seperti pada gambar 4.5.



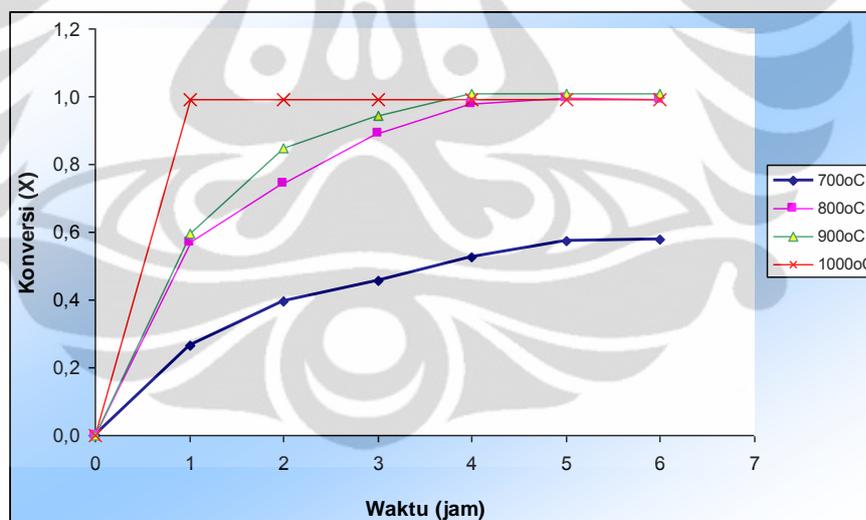
Gambar 4.5 Kurva perubahan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang terbentuk pada berbagai temperatur kalsinasi

Dari gambar 4.5 dan 4.6 terlihat bahwa kurva menjadi stabil pada saat jumlah mol CO<sub>2</sub> mendekati nilai 55% berat (gambar 4.5) yang artinya konversi hampir mencapai 100% (gambar 4.6). Hal ini terjadi karena kandungan CO<sub>2</sub> pada dolomit maksimum sebesar 54,3 mol (47,8 % berat). DT Beruto, *et al.* menyatakan bahwa laju dekomposisi dapat diabaikan bila fraksi yang terdekomposisi mencapai 45% karena dolomit mempunyai kandungan CO<sub>2</sub> maksimum 46% dengan impuritas sebesar 2% [Beruto, 2003].

Dari gambar 4.5 juga terlihat bahwa kenaikan temperatur mempercepat proses kalsinasi ditandai dengan pembentukan  $\text{CO}_2$  yang semakin cepat yang berarti semakin cepat pula proses dekomposisi dolomit  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  menjadi  $\text{CaOMgO}$  dan  $\text{CO}_2$ . Hal ini sesuai dengan hasil penelitian tentang kalsinasi batu kapur yang dilakukan oleh Amri, *et al.* [Amri, 2007] dan dekomposisi dolomit pada temperatur 640-700°C oleh Beruto, *et al.* [Beruto, 2003].

Sesuai dengan penelitian pertama, waktu kalsinasi juga berpengaruh terhadap konsentrasi  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . Semakin lama waktu kalsinasi maka jumlah mol  $\text{CO}_2$  yang terbentuk semakin meningkat, yang berarti bahwa jumlah mol  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  yang terdekomposisi juga semakin meningkat. Waktu kalsinasi yang relatif lebih lama menyebabkan reaksi tidak hanya terjadi pada bagian permukaan dolomit saja, tetapi juga terjadi pada bagian yang lebih dalam melalui mekanisme difusi panas ke daerah tersebut [Amri, 2007].

Dengan mengkonversi data konsentrasi  $\text{CO}_2$  hasil kalsinasi menjadi data konversi reaksi (X) diperoleh data kinetika seperti pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Kurva perubahan konversi dolomit ukuran 80 mesh pada berbagai temperatur kalsinasi

Terlihat dari gambar 4.6 bahwa konversi reaksi meningkat dengan kenaikan temperatur dan waktu kalsinasi. Konversi maksimum dolomit diperoleh pada kalsinasi dengan temperatur 900°C selama 5 jam yaitu 100%. Pada temperatur 700°C konversi dolomit yang terkalsinasi masih rendah, yaitu baru mencapai 58% meskipun waktu kalsinasi sudah enam jam. Pada temperatur 800°C dolomit sudah

terkonversi sebanyak 58% pada satu jam pertama, meningkat hingga waktu kalsinasi selama empat jam dan stabil pada konversi tertinggi mendekati 100% mulai kalsinasi pada jam kelima. Pada temperatur 900°C, dicapai konversi paling tinggi dan stabil setelah kalsinasi selama lima jam, sedangkan pada temperatur 1000°C konversi stabil mulai jam pertama tetapi sedikit lebih rendah daripada konversi pada temperatur 900°C setelah 5 jam. Oleh karena itu dirasa sudah cukup untuk melangsungkan kalsinasi pada temperatur 900°C selama 5 jam dengan pertimbangan bahwa kemungkinan energi untuk mencapai temperatur 1000°C lebih tinggi. Pertimbangan lain adalah bahwa berdasarkan hasil penelitian-penelitian sebelumnya, dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  sudah terjadi pada temperatur 810-920°C [Kok, 2008], 900-910°C [Engler, 1998], dan 777,8-834°C [Gunasekaran, 2007].

#### **4.1.6 PENGARUH UKURAN PARTIKEL TERHADAP HASIL KALSINASI DOLOMIT**

Ukuran partikel mempengaruhi proses dekomposisi dolomit [Samtani, 2001]. Bila sampel yang digunakan mempunyai ukuran yang halus, sampel akan mempunyai luas permukaan dan reaktivitas yang lebih besar. Sampel dengan reaktivitas tinggi akan menurunkan temperatur dekomposisi. Ukuran partikel dolomit mempengaruhi pola pengurangan berat dolomit selama dikalsinasi [Samtani, 2001]. Untuk mempelajari pengaruh ukuran partikel, digunakan dolomit dengan ukuran yang berbeda-beda yang dinyatakan dalam mesh. Perbedaan ukuran partikel sampel dolomit yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut :



Gambar 4.7 Perbedaan Ukuran Partikel Sampel Dolomit (a: 0,5/4 mesh b: 4/8 mesh, c: 8/20 mesh, d: -80 mesh, e: 45/80mesh, dan f: 20/45 mesh)

Dari gambar 4.7 terlihat bahwa untuk partikel dolomit berukuran 0,5/4 mesh mempunyai rongga antar partikel yang cukup besar sedangkan untuk partikel dolomit berukuran -80 mesh terlihat seperti satu kesatuan massa yang padat.

Diameter rata-rata ukuran partikel juga dapat dinyatakan dalam satuan milimeter untuk mempermudah pemahaman bagi orang awam. Ukuran tersebut disajikan dalam tabel 4.7 berikut :

Tabel 4.7 Ukuran partikel dolomit [Mc Cabe, 1985].

No	Mesh	mm
1	0,5/4	15,85 – 4,699
2	4/8	4,699 – 2,362
3	8/20	2,362 – 0,833
4	20/45	0,833 – 0,323
5	45/80	0,323 – 0,175
6	-80	≤ 0,175

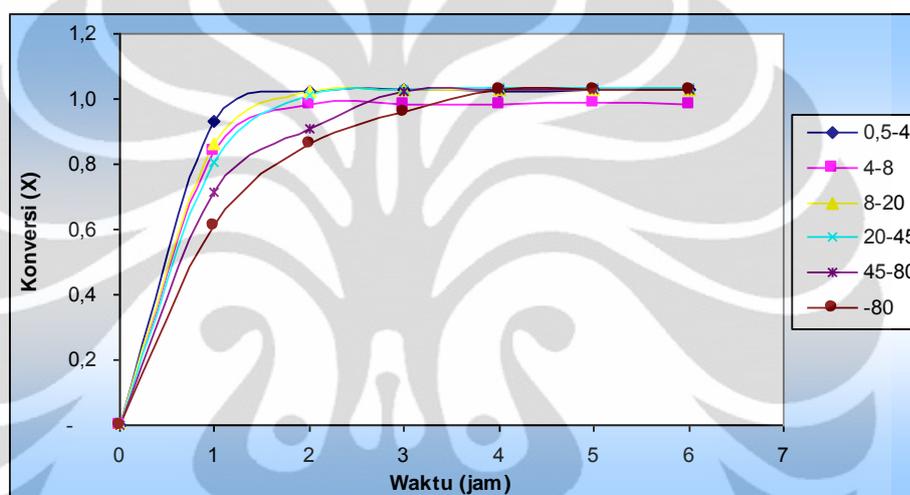
Kalsinasi dilakukan pada temperatur optimum yaitu 900°C. Dari percobaan diperoleh data perubahan total berat CO<sub>2</sub> yang terbentuk selama kalsinasi yang dinyatakan dalam % berat CO<sub>2</sub> terhadap berat sampel awal. Data tersebut disajikan pada tabel 4.8 berikut :

Tabel 4.8 CO<sub>2</sub> yang terbentuk selama kalsinasi (%w/w) untuk berbagai ukuran partikel

Waktu (jam)	Total CO <sub>2</sub> yang terbentuk selama kalsinasi (%w/w)					
	0,5/4 mesh	4/8 mesh	8/20 mesh	20/45 mesh	45/80 mesh	-80 mesh
0	-	-	-	-	-	-
1	43,51	41,17	40,34	37,77	33,43	28,49
2	47,90	48,32	47,91	47,36	42,55	40,38
3	48,04	48,34	48,01	48,18	47,90	44,97
4	47,88	48,32	48,09	48,34	48,08	48,06
5	48,12	48,43	48,07	48,34	48,02	48,10
6	47,96	48,36	48,07	48,38	48,04	48,08

Dari tabel 4.8 tersebut dapat dilihat bahwa kalsinasi dengan temperatur  $900^{\circ}\text{C}$  dengan berbagai ukuran partikel sudah mengarah pada kondisi yang stabil dan mendekati sempurna meskipun kecepatannya berbeda-beda. Hal ini berarti bahwa temperatur  $900^{\circ}\text{C}$  ini memungkinkan untuk dinyatakan sebagai temperatur optimum kalsinasi dolomit. Pembentukan  $\text{CO}_2$  sebagai hasil kalsinasi paling cepat terjadi pada ukuran partikel 0,5/4 mesh.

Pengaruh ukuran partikel terhadap konversi dolomit yang terkalsinasi diilustrasikan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Kurva perubahan konversi berbagai ukuran partikel dolomit pada temperatur kalsinasi  $900^{\circ}\text{C}$

Konversi tertinggi dengan waktu tinggal paling pendek dicapai pada kalsinasi dolomit berukuran 0,5/4 mesh dengan diameter partikel 15,85–4,699 mm. Hal ini berbeda dengan teori yang menyatakan bahwa semakin kecil ukuran partikel, laju reaksi akan semakin cepat. Ukuran butiran 0,5/4 mesh termasuk kategori ukuran sedang. Standar yang umum dipakai sebagai umpan kalsiner berupa batu kapur adalah 0,5-2 in atau 12,7–50,8 mm [Hassibi, 2011].

Sedikit berbeda dengan hasil penelitian ini, Samtani, *et al.* [Samtani, 2001] melakukan penelitian dengan bahan dolomit dari *James River White Rock* berukuran 20 hingga 325 mesh. Dari ukuran-ukuran tersebut ternyata partikel berukuran menengah (60-120 mesh) mengalami laju pengurangan berat paling cepat. Menurut Samtani, *et al.* tekanan yang dihasilkan akibat pelepasan  $\text{CO}_2$  tidak cukup untuk memindahkan partikel yang berukuran besar, sedangkan untuk partikel yang lebih kecil tekanan tidak cukup untuk menggeser massa partikel

yang rapat. Hal itulah yang menyebabkan laju pengurangan berat sampel dolomit berukuran besar dan kecil menjadi rendah [Samtani, 2001].

Menurut Amri, *et al.* untuk ukuran partikel dengan diameter  $D < 0,025$  cm,  $0,025 < D < 0,0425$  cm, dan  $0,0425 < D < 0,085$  cm, ukuran partikel tidak terlalu berpengaruh. Hal ini karena kecilnya perbedaan ukuran butir dari partikel batu gamping yang digunakan. Namun masih terlihat kecenderungan kenaikan konversi reaksi pada partikel batu gamping yang lebih kecil, karena semakin kecil ukuran partikel maka luas bidang kontakannya semakin besar, sehingga reaksi berlangsung lebih cepat pula [Amri, 2007].

Pengaruh ukuran partikel terhadap tingkat kalsinasi dolomit ini dapat dianalisis dari sudut pandang *bulk density* sampel dolomit yang digunakan. Hasil pengukuran *bulk density* sampel dolomit dengan berbagai ukuran partikel disajikan dalam tabel 4.9 berikut :

Tabel 4.9 Bulk Density Dolomit pada Berbagai Ukuran Partikel.

No	Ukuran Partikel (mesh)	<i>Bulk Density</i> (gr/ml)
1	0,5/4	0,81
2	4/8	0,96
3	8/20	0,96
4	20/45	1,00
5	45/80	1,04
6	-80	1,44

Sebanyak 50 gram sampel yang digunakan dalam penelitian ini dianggap sebagai satu kesatuan massa di dalam krusibel yang digunakan dalam kalsinasi. Untuk massa partikel berukuran 0,5/4 mesh dengan *bulk density* 0,81 gr/ml mempunyai struktur yang cukup longgar dengan banyak *void*. Hal ini memungkinkan transfer panas dari atmosfer tungku maupun antar partikel dan aliran panas dari permukaan luar partikel ke bagian dalam partikel tersebut dapat berlangsung lebih lancar dibandingkan dengan massa partikel yang berukuran lebih kecil. Massa partikel berukuran -80 mesh mempunyai *bulk density* paling besar yaitu 1,44 gr/ml. Di dalam krusibel yang sama massa partikel ini akan membentuk satu satuan massa yang lebih padat sehingga justru dikategorikan

sebagai sampel berukuran besar. Semakin besar ukuran batu, panas tidak cukup menembus ke inti, sehingga bagian dalam pecahan batu tetap sebagai kalsium karbonat sementara bagian luar telah terkonversi menjadi CaO. Bagian inti semacam ini disebut dengan istilah *grit*. Untuk batu berukuran sedang, penetrasi panas berlangsung sempurna dan seluruh batu dapat diubah menjadi CaO. Untuk batu yang lebih kecil, panas mencapai inti dengan cepat dan lapisan luar kelebihan panas sehingga membentuk kulit luar yang keras dimana air tidak bisa menembusnya, membentuk *hard-burned quicklime* [Hassibi, 2011].

#### 4.1.7 KINETIKA KALSINASI DOLOMIT

Evaluasi parameter kinetika untuk reaksi dekomposisi dapat ditinjau dengan menggunakan metode isothermal konvensional [Jou, 1986]. Persamaan laju reaksi dapat direpresentasikan berdasarkan jumlah dolomit yang terkonversi selama periode pemanasan dari temperatur ambient hingga temperatur operasi. Energi aktivasi dan faktor frekuensi selanjutnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan arrhenius berdasarkan nilai konstanta laju reaksi pada berbagai temperatur [Jou, 1986].

##### 4.5.1 Konstanta Laju Reaksi

Analisis data kalsinasi dilakukan dengan menggunakan pendekatan model reaksi homogen. Analisis data kinetika dengan metoda integral menghasilkan nilai konstanta laju reaksi ( $k$ ) dengan asumsi reaksi berorde satu ( $n = 1$ ) [Amri, 2007].

Untuk mengevaluasi parameter kinetika untuk reaksi yang umum dari hasil pengukuran isothermal, kita tidak bisa mengabaikan jumlah yang terkonversi selama periode induksi. Konstanta laju reaksi dapat diperhitungkan dari jumlah yang terkonversi selama periode pemanasan dari temperatur ambient hingga temperatur operasi karena reaktan akan mengalami sejumlah reaksi yang perlu diperhitungkan sebagai hasil kenaikan temperatur [Jou, 1986].

Persamaan laju reaksi dapat direpresentasikan sebagai berikut :

$$\frac{dX}{dt} = k(-X)^n \quad (4.23)$$

Konversi dihitung sebagai :

$$X = \frac{BMCaMg \left[ \frac{CO_3}{2} \right] w_o - w_t}{BM \left[ \frac{CO_2}{2} \right] yw_o} \quad (4.24)$$

Dengan  $w_o$  = berat sampel awal

$w_t$  = berat akhir sampel

$y$  = berat CaCO<sub>3</sub> dan MgCO<sub>3</sub> di dalam sampel

Bila  $n = 1$ , integrasi persamaan (4.23) menghasilkan :

$$-\ln \left( \frac{w_o - X}{w_o} \right) = kt \quad (4.25)$$

Berat sampel yang berkurang sebanding dengan berat gas karbondioksida yang terbentuk. Reaksinya sebagai berikut :



Persamaan untuk menghitung konstanta laju reaksi kalsinasi dolomit dituliskan sebagai :

$$\ln \frac{2C_{A0} - C_C}{2C_{A0}} = -kt \quad (4.27)$$

Plot  $\ln \frac{2C_{A0} - C_C}{2C_{A0}}$  sebagai fungsi dari  $t$  akan merupakan garis lurus dengan

slope  $-k$ , sehingga dari data terbentuknya gas karbondioksida dapat dihitung harga

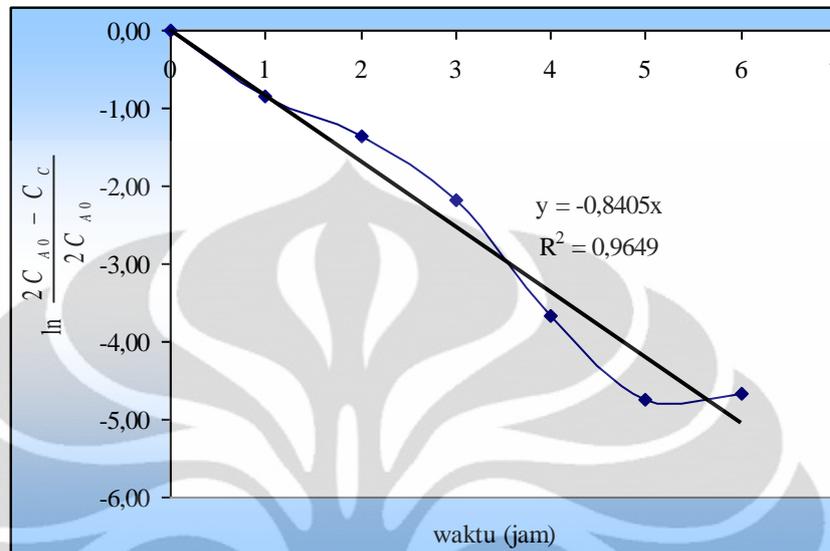
konstanta laju reaksi  $k$ . Nilai  $\ln \frac{2C_{A0} - C_C}{2C_{A0}}$  ini sebanding dengan  $-\ln \left( \frac{w_o - X}{w_o} \right)$ .

Contoh perhitungan konstanta laju reaksi untuk temperatur 800°C disajikan dalam tabel 4.10 sebagai berikut :

Tabel 4.10 Perhitungan konstanta laju reaksi pada temperatur 800°C

Waktu (jam)	$C_C$ (CO <sub>2</sub> yang terbentuk (mol))	$\frac{2C_{A0} - C_C}{2C_{A0}}$	$\ln \frac{2C_{A0} - C_C}{2C_{A0}}$
0	-	1,00	0,000
1	0,31	0,43	-0,840
2	0,40	0,26	-1,358
3	0,48	0,11	-2,188
4	0,53	0,026	-3,659
5	0,54	0,009	-4,753
6	0,54	0,009	-4,661

Data  $\ln \frac{2C_{A0} - C_C}{2C_{A0}}$  diplotkan terhadap waktu sehingga diperoleh grafik dengan slope =  $k$ , digambarkan pada gambar 4.9 berikut :



Gambar 4.9 Plot  $\ln \frac{2C_{A0} - C_C}{2C_{A0}}$  sebagai fungsi dari  $t$

Dari gambar 4.9 di atas diperoleh  $-slope = k = 0,8405/\text{jam}$  dengan nilai  $R = 0,9649$ .

Perhitungan konstanta laju reaksi dengan asumsi reaksi berorde satu ternyata hanya sesuai untuk reaksi kalsinasi dolomit pada temperatur  $800^{\circ}\text{C}$  dengan nilai  $R^2 = 0,9649$ . Untuk reaksi pada temperatur lain, nilai  $R^2$  pada perhitungan konstanta laju reaksi cukup jauh di bawah nilai  $R^2$  yang diharapkan sehingga asumsi orde satu tersebut tidak tepat. Analisis ketepatan orde reaksi pada setiap temperatur dapat dilihat pada lampiran 7.

Data konstanta laju reaksi pada beberapa temperatur kalsinasi dengan asumsi reaksi berorde satu dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Data konstanta laju reaksi pada beberapa temperatur kalsinasi dengan orde reaksi  $n = 1$

T (K)	$k$ ( $\text{jam}^{-1}$ )
973	0,171
1073	0,841
1173	1,005
1273	1,056

### 4.5.2 Energi Aktivasi

Energi aktivasi ditentukan berdasarkan harga konstanta laju reaksi menggunakan persamaan Arrhenius :

$$k_{(T)} = A e^{\left(\frac{-E_a}{RT}\right)} \quad (4.28)$$

Dengan  $k_{(T)}$  = konstanta laju reaksi pada suhu T

A = tetapan Arrhenius

$E_a$  = energi aktivasi (kal/mol)

R = konstanta gas (1,987 kal/mol.K)

T = temperatur (K)

Linearisasi persamaan (3.6) menghasilkan persamaan :

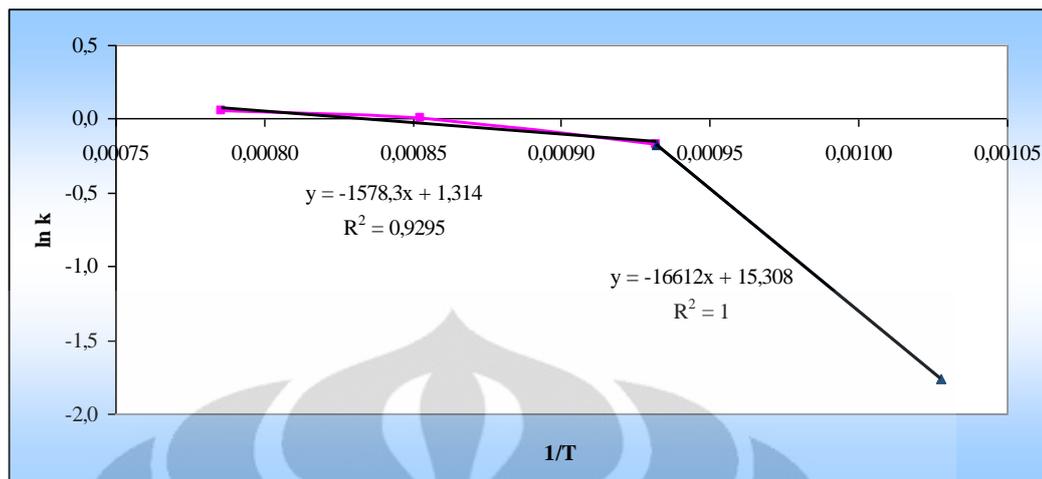
$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad (4.29)$$

Plot grafik antara  $\ln k$  terhadap  $1/T$  akan menghasilkan garis lurus dengan slope  $-\frac{E_a}{R}$  dan intersep  $\ln A$ . Perhitungan energi aktivasi dilakukan dengan menggunakan nilai-nilai yang tertera dalam tabel 4.12 berikut :

Tabel 4.12 Perhitungan Energi Aktivasi

T (K)	k (jam <sup>-1</sup> )	1/T (1/K)	Ln k
973	0,171	0,0010	-1,765
1073	0,841	0,0009	-0,174
1173	1,005	0,0009	0,005
1273	1,056	0,0008	0,054

Dari data pada tabel 4.12 tersebut dibuat plot grafik antara  $\ln k$  terhadap  $1/T$  yang dapat dilihat pada gambar 4.10 berikut :



Gambar 4.10 Plot  $\ln k$  sebagai fungsi dari  $1/T$

Dari gambar 4.10 tersebut diperoleh dua area nilai  $E_a$  :

- Pada temperatur 700-800°C  $E_a = 33$  kkal/mol dan  $A = 2,03 \cdot 10^{15}$ /jam.
- Pada temperatur 800-1000°C  $E_a = 3,14$  kkal/mol dan  $A = 20,6$ /jam.

Energi aktivasi yang digambarkan pada gambar 4.10 di atas terlihat mengalami penurunan pada saat  $T > 800^\circ\text{C}$ . Hal ini kemungkinan terjadi akibat pengaruh reaksi kimia, perpindahan massa, atau perpindahan panas yang mengontrol reaksi dekomposisi dolomit. Pada saat  $T > 800^\circ\text{C}$  terjadi penurunan energi aktivasi. Energi aktivasi lebih rendah memudahkan untuk terjadinya reaksi kimia, berarti dekomposisi dolomit dikendalikan oleh perpindahan massa. Pada saat  $T < 800^\circ\text{C}$  dekomposisi dolomit dikendalikan oleh reaksi kimia, ditandai dengan nilai energi aktivasi yang lebih tinggi. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Flamment yang menyatakan bahwa pada temperatur di bawah  $900^\circ\text{C}$  disosiasi partikel batu kapur berukuran 5-10  $\mu\text{m}$  dikendalikan oleh reaksi kimia dengan energi aktivasi sebesar 46 kkal/mol. Akan tetapi pada temperatur di atas  $900^\circ\text{C}$  energi aktivasi cenderung menurun, mengindikasikan bahwa reaksi kimia tidak lagi mengontrol laju disosiasi [Flamment, 1987].

Berbagai penelitian mengenai kinetika dekomposisi dolomit juga telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Nilai energi aktivasi dari reaksi dekomposisi dolomit yang dihasilkan sangat bervariasi seperti tercantum dalam tabel 4.13 berikut :

Tabel 4.13 Energi aktivasi reaksi dekomposisi dolomit dari hasil berbagai penelitian

No	Peneliti/Referensi	Topik penelitian	Ea
1	Kok, <i>et al.</i> [Kok, 2008]	Dekomposisi dolomit dari berbagai daerah dengan mengasumsikan reaksi berorde satu	48-137 kJ/mol (11,5-32,76 kkal/mol)
2	De Aza, <i>et al.</i> [De Aza, 2002]	Dekomposisi dolomit dari Spanyol menggunakan Neutron Thermodiffractionometry	196 kJ/mol (47 kkal/mol)
3	Samtani, <i>et al.</i> [Samtani, 2002]	Membandingkan kinetika dekomposisi dolomit dengan mineral karbonat lainnya. Kalsit dan dolomit terdekomposisi mengikuti reaksi orde nol, sedangkan magnesit terdekomposisi mengikuti orde satu.	175,05 kJ/mol (41,86 kkal/mol) untuk dolomit
4	Gunasekaran dan Anbalagan [Gunasekaran, 2007]	Dekomposisi dolomit dari India menggunakan TG-DTA	97-147 kJ/mol (23,2-35,14 kkal/mol)
5	Penelitian ini	Dekomposisi dolomit dari Lamongan	138,6 dan 13,2 kJ/mol (33 dan 3,14 kkal/mol)

Dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya dapat disimpulkan bahwa laju reaksi dan energi aktivasi untuk masing-masing dolomit akan berbeda tergantung pada daerah asalnya, komposisi kimia, impuritas, dan struktur mineralnya. Kesimpulan ini sesuai dengan pernyataan Kok, *et al.* [Kok, 2008], dan Gunasekaran, *et al.* [Gunasekaran, 2007].

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 KESIMPULAN**

Kesimpulan yang bisa diambil dari penelitian ini adalah :

1. Dolomit Lamongan ini termasuk jenis dolomit berkalsium dengan kadar MgO 16,7%.
2. Karakteristik kristal dolomit dengan rumus struktur  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  teridentifikasi terutama dari nilai tiga puncak tertinggi (*three strongest peak*) yaitu pada *d-spacing* 2,913, 1,802, dan 2,208 dengan nomor ICDD 36-462.
3. Pada temperatur  $700^\circ\text{C}$  terjadi pembentukan *calcite*  $\text{CaCO}_3$  dan MgO, sedangkan pada temperatur 800, 900, dan  $1000^\circ\text{C}$  hanya terjadi reaksi dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  menjadi CaO.
4. Kenaikan temperatur mempercepat proses kalsinasi dengan kondisi optimum yang diperoleh pada kalsinasi dengan temperatur  $900^\circ\text{C}$  selama 5 jam.
5. Kalsinasi terhadap massa partikel berukuran 0,5/4 mesh dengan *bulk density* 0,81 gr/ml menghasilkan konversi tertinggi dengan waktu tinggal 1 jam.
6. Dengan asumsi reaksi berorde satu diperoleh nilai energi aktivasi  $E_a = 14.495,6$  kal/mol dengan faktor frekuensi  $A = 12,35 \times 10^6/\text{jam}$ .

#### **5.2 SARAN**

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai :

1. Temperatur dekomposisi dolomit dengan TG-DTA.
2. Pengaruh tekanan parsial  $\text{CO}_2$  terhadap temperatur dekomposisi dolomit.
3. Pengaruh impuritas terhadap proses dekomposisi dolomit.

## DAFTAR REFERENSI

- Amri, A., Amrina, Saputra, E., Utama, P. S., Kurniati, A. 2007. ***“Pengaruh Suhu Dan Ukuran Butir Terhadap Kalsinasi Batu Gamping Kab. Agam Pada Proses Pembuatan Kapur Tohor”***. Jurnal Sains dan Teknologi 6(1), 10-13.
- Anbalagan, G., Rajakumar, P. R., Gunasekaran, S. 2009. ***“Non-Isothermal Decomposition Of Indian Limestone Of Marine Origin”***. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 97, 917-921.
- Beruto, D. T., Vecchiattini, R., Goirdain, M. 2003. ***“Solid Products And Rate-Limiting Step In The Thermal Half Decomposition Of Natural Dolomite In A CO<sub>2(g)</sub> Atmosphere”***. Thermochemica Acta 405, 183–194.
- De Aza, H. A., Rodriguez, M. A., Rodriguez, J. L., De Aza, S., Pena, P. 2002. ***“Decomposition of Dolomite Monitored by Neutron Thermo-diffractometry”***. Journal of the American Ceramic Society 85, 881-888.
- Dutrow, B. L., Clark, C. M. 2011. ***“X-ray Powder Diffraction (XRD)”***. [http://serc.carleton.edu/research\\_education/geochemsheets/techniques/XRD.html](http://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/XRD.html) accessed February 1, 2011.
- Dolomite. 2010. <http://webmineral.com/data/Dolomite.shtml> (accessed December 13, 2010)
- Engler, P., Santana, M. W., Mitleman, M. L., Balazs, D. 1988. ***“Non-Isothermal. In Situ XRD Analysis Of Dolomit Decomposition”***. The Rigaku Journal 2, 3-8.
- Flamment, P. 1987. ***“Fundamental and Technical Aspects of SO<sub>2</sub> Capture by Ca Based Sorbents in Pulverised Coal Combustion”***. IFRF Doc. No. F 138/a/8.
- Gunasekaran, S., Anbalagan, G. 2007. ***“Thermal decomposition of natural dolomite”***. Bulletin of Material Science 30, 339–344.
- Hassibi, M. 2011. ***“Factors Affecting the Quality of Quicklime”***, <http://www.cheresources.com/quicklime.shtml> (accessed April 21, 2011)
- Ismono. 1979. ***“Cara-Cara Optik dalam Analisa Kimia”***. Diktat Kuliah Departemen Kimia ITB, Bandung, V 6-15.

- Jou, C. S. 1986. ***“Expert System To Retrieve Optimal Kinetic Parameters For Simple Reactions”***. A Thesis in Chemical Engineering, Texas Tech University, Texas, 1-6.
- Kok, M. V., Smykatz-Kloss, W. 2008. ***“Characterization, Correlation And Kinetics Of Dolomite Samples As Outlined By Thermal Methods”***. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 91, 565-568.
- Lalu, Jamiludin. 2010. ***“Artikel Bahan Galian Industri: Dolomit”*** Makalah Ilmiah, Program Studi Kimia Fakultas MIPA Universitas Mataram, Mataram, 7-10.
- Madiadipoera, T. 2006. ***“Bahan Galian Industri di Indonesia”***. Pusat Sumber Daya Geologi, Departemen ESDM, Bandung, 1-48.
- Meriçboyu, A. E. and Küçükbayrak, S. 1994. ***“Kinetic Analysis Of Non-Isothermal Calcination TG Curves Of Natural Turkish Dolomites”***. Thermochemica Acta 232, 25-232.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., Harriot, P. 1985. ***“Unit Operation of Chemical Engineering”***. 4<sup>th</sup> edition. McGraw-Hill Book Inc, New York, 293-294.
- Oates, J. A. H. 1998. ***“Lime And Limestone Chemistry And Technology, Production And Uses”***. WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Federal Republic of Germany, 139-153.
- Patnaik, Pradyot. 2002. ***“Handbook Of Inorganic Chemicals”*** Mc Graw Hill Co. New York, 159-160, 170-172, 518-521, 529-531.
- Powder Diffraction File. Inorganic Series. the Joint Committee on Powder Diffraction Standards, 1601 Park Lane, Swarthmore, Pennsylvania 19081, USA.
- Samtani, M., Dollimore, D., Alexander, K. 2001. ***“Thermal Decomposition of Dolomite in an Atmosphere of Carbon Dioxide”***. Journal of Thermal Analysis and Callorimetry 65, 93-101.
- Samtani, M., Dollimore, D., Alexander, K. 2002. ***“Comparison Of Dolomite Decomposition Kinetics With Related Carbonates And The Effect Of Procedural Variables On Its Kinetic Parameters”***. Thermochemica Acta 392-393, 135-145.
- Sastrawiguna, S. 2000. ***“Pembuatan Magnesium Karbonat Sebagai Bahan Pemutih Kertas”***. Laporan Teknik Proyek Penelitian dan Pengembangan Material Tahun Anggaran 2000. Pusat Penelitian Metalurgi – LIPI.

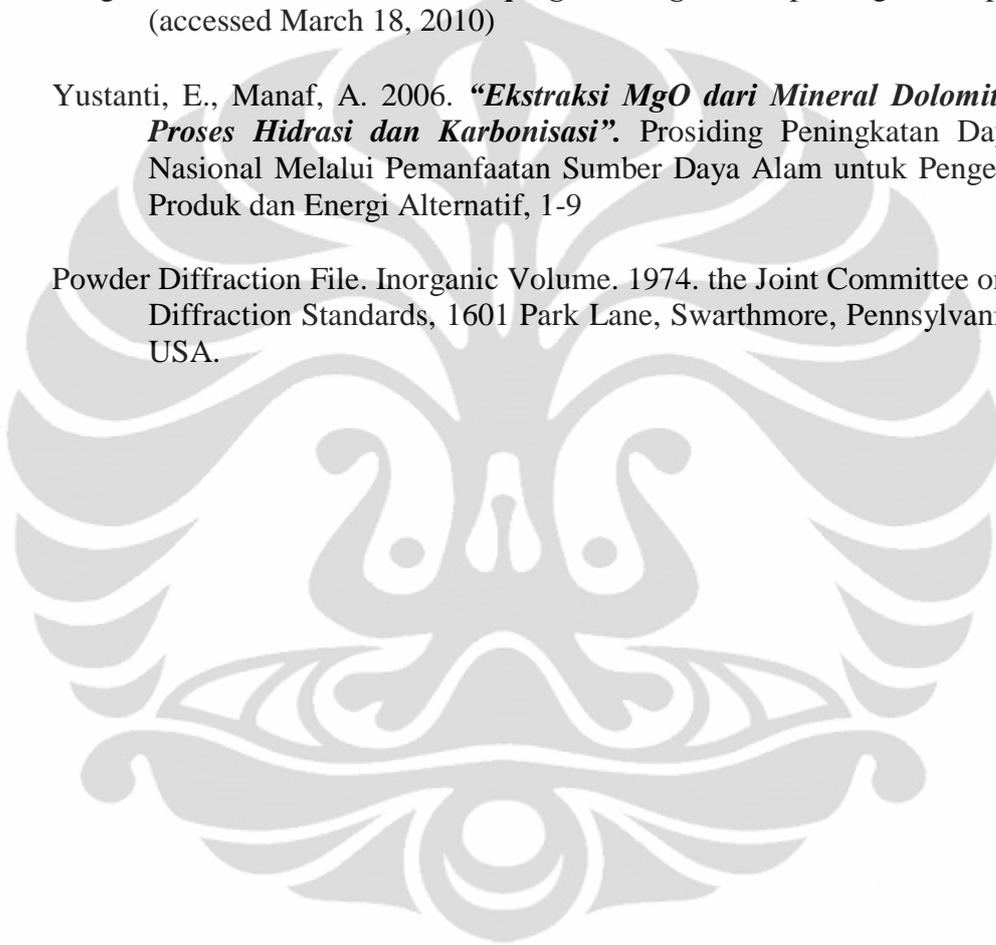
Shahraki, B. K., Mehrabi, b., Dabiri, R. 2009. *“Thermal Behavior Of Zefreh Dolomite Mine (Central Iran)”*. Journal of Mining and Metallurgy 45 B, 35-44.

Schwarzkopf, F. 1994. *“Lime Burning Technology - a Manual for Lime Plant Operators”*, 3<sup>rd</sup> ed., Svedala Industries, Kennedy Van Saun, Wisconsin, USA.

Uulgrs. 2010. *”Industri Batu Gamping Lamongan”*. <http://uulgrs.wordpress.com> (accessed March 18, 2010)

Yustanti, E., Manaf, A. 2006. *“Ekstraksi MgO dari Mineral Dolomit Melalui Proses Hidrasi dan Karbonisasi”*. Prosiding Peningkatan Daya Saing Nasional Melalui Pemanfaatan Sumber Daya Alam untuk Pengembangan Produk dan Energi Alternatif, 1-9

Powder Diffraction File. Inorganic Volume. 1974. the Joint Committee on Powder Diffraction Standards, 1601 Park Lane, Swarthmore, Pennsylvania 19081, USA.



**LAMPIRAN 1**  
**DATA PERCOBAAN VARIASI TEMPERATUR**

**1. Berat sampel berukuran -80 mesh setelah dikalsinasi pada berbagai temperatur**

Waktu (jam)	berat sampel setelah kalsinasi			
	700°C	800°C	900°C	1000°C
0	50,03	50,07	50,08	50,01
1	43,67	36,46	35,81	26,34
2	40,56	32,28	29,86	26,33
3	39,09	28,81	27,56	26,33
4	37,46	26,74	26,00	26,32
5	36,30	26,33	26,00	26,35
6	36,19	26,35	26,00	26,35

**2. Berat sampel berukuran -80 mesh setelah dikalsinasi pada berbagai temperatur dinyatakan dalam % berat**

Waktu (jam)	% berat sampel setelah kalsinasi			
	700°C	800°C	900°C	1000°C
0	100	100	100	100
1	94,4	63,7	54,3	52,7
2	88,0	52,5	59,0	52,7
3	82,9	51,9	54,6	52,7
4	78,6	53,8	54,1	52,6
5	76,9	52,7	54,6	52,7
6	70,5	52,5	53,2	52,7

**3. Berat CO<sub>2</sub> hasil kalsinasi pada berbagai temperatur**

Waktu (jam)	Berat CO <sub>2</sub> hasil kalsinasi			
	700°C	800°C	900°C	1000°C
0	-	-	-	-
1	6,36	13,61	14,27	23,67
2	9,47	17,79	20,22	23,68
3	10,94	21,26	22,52	23,68
4	12,57	23,33	24,08	23,69
5	13,73	23,74	24,08	23,66
6	13,84	23,72	24,08	23,66

**4. Jumlah CO<sub>2</sub> hasil kalsinasi pada berbagai temperatur dinyatakan dalam mol**

Waktu (jam)	Mol CO <sub>2</sub> (BM = 44 gr/gmol)			
	700°C	800°C	900°C	1000°C
0	-	-	-	-
1	0,14	0,31	0,32	0,54
2	0,22	0,40	0,46	0,54
3	0,25	0,48	0,51	0,54
4	0,29	0,53	0,55	0,54
5	0,31	0,54	0,55	0,54
6	0,31	0,54	0,55	0,54

**5. Konversi**

Waktu (jam)	Konversi berdasarkan CO <sub>2</sub>			
	700°C	800°C	900°C	1000°C
0	-	-	-	-
1	0,27	0,57	0,60	0,99
2	0,40	0,74	0,85	0,99
3	0,46	0,89	0,94	0,99
4	0,53	0,98	1,01	0,99
5	0,57	0,99	1,01	0,99
6	0,58	0,99	1,01	0,99

**LAMPIRAN 2**  
**DATA PERCOBAAN VARIASI UKURAN PARTIKEL**

**1. Berat sampel setelah dikalsinasi pada temperatur 900°C**

Waktu (jam)	Berat sampel setelah kalsinasi					
	0,5-4 #	4-8 #	8-20 #	20-45 #	45-80 #	-80 #
0	50,06	47,70	50,07	50,04	50,04	50,08
1	28,28	28,06	29,87	31,14	33,31	35,81
2	26,08	24,65	26,08	26,34	28,75	29,86
3	26,01	24,64	26,03	25,93	26,07	27,56
4	26,09	24,65	25,99	25,85	25,98	26,01
5	25,97	24,60	26,00	25,85	26,01	25,99
6	26,05	24,63	26,00	25,83	26,00	26,00

**2. Berat CO<sub>2</sub> hasil kalsinasi pada temperatur 900°C**

Waktu (jam)	Berat CO <sub>2</sub> hasil kalsinasi					
	0,5-4 #	4-8 #	8-20 #	20-45 #	45-80 #	-80 #
0	-	-	-	-	-	-
1	21,78	19,64	20,20	18,90	16,73	14,27
2	23,98	23,05	23,99	23,70	21,29	20,22
3	24,05	23,06	24,04	24,11	23,97	22,52
4	23,97	23,05	24,08	24,19	24,06	24,07
5	24,09	23,10	24,07	24,19	24,03	24,09
6	24,01	23,07	24,07	24,21	24,04	24,08

**3. % Berat CO<sub>2</sub> hasil kalsinasi pada temperatur 900°C**

Waktu (jam)	% berat CO <sub>2</sub> hasil kalsinasi					
	0,5-4 #	4-8 #	8-20 #	20-45 #	45-80 #	-80 #
0	-	-	-	-	-	-
1	43,51	41,17	40,34	37,77	33,43	28,49
2	47,90	48,32	47,91	47,36	42,55	40,38
3	48,04	48,34	48,01	48,18	47,90	44,97
4	47,88	48,32	48,09	48,34	48,08	48,06
5	48,12	48,43	48,07	48,34	48,02	48,10
6	47,96	48,36	48,07	48,38	48,04	48,08

**4. Jumlah CO<sub>2</sub> hasil kalsinasi pada temperatur 900°C dinyatakan dalam mol**

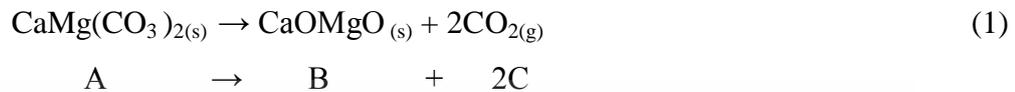
Waktu (jam)	Mol CO <sub>2</sub> hasil kalsinasi					
	0,5-4 #	4-8 #	8-20 #	20-45 #	45-80 #	-80 #
0	-	-	-	-	-	-
1	0,50	0,45	0,46	0,43	0,38	0,32
2	0,55	0,52	0,55	0,54	0,48	0,46
3	0,55	0,52	0,55	0,55	0,54	0,51
4	0,54	0,52	0,55	0,55	0,55	0,54
5	0,55	0,53	0,55	0,55	0,55	0,54
6	0,55	0,52	0,55	0,55	0,55	0,54

**5. Konversi**

Waktu (jam)	Konversi					
	0,5-4 #	4-8 #	8-20 #	20-45 #	45-80 #	-80 #
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,91	0,86	0,84	0,79	0,70	0,59
2	1,00	1,01	1,00	0,99	0,89	0,84
3	1,00	1,01	1,00	1,01	1,00	0,94
4	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00
5	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00
6	1,00	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00

### LAMPIRAN 3 PENURUNAN PERSAMAAN LAJU REAKSI

Reaksi dekomposisi dolomit dinyatakan dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Persamaan laju reaksi untuk reaksi orde satu untuk reaksi di atas adalah:

$$-\frac{dC_A}{dt} = k_1 C_A \quad (2)$$

Persamaan tersebut disusun ulang dan diintegrasikan dengan kondisi awal pada saat  $t = 0$   $C_A = C_{A0}$

$$-\int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A} = \int_0^t k dt$$

Persamaan tersebut disusun ulang dan diintegrasikan dengan

kondisi awal pada saat  $t = 0$   $C_A = C_{A0}$

$$-\int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A} = \int_0^t k dt \quad (3)$$

Integrasi dari persamaan tersebut menghasilkan :

$$\ln C_A - \ln C_{A0} = -kt$$

$$\ln \frac{C_A}{C_{A0}} = -kt$$

$$\ln \frac{C_{A0}}{C_A} = kt \quad (4)$$

Konsentrasi dolomit pada setiap waktu  $t$  adalah :

$$C_A = C_{A0} e^{-kt} \quad (5)$$

Konsentrasi gas karbondioksida pada setiap waktu  $t$  dapat diperoleh dari stoikiometri reaksi :

	A	→	B	+	2C
Mula-mula	$C_{A0}$		$C_{B0} = 0$		$C_{C0} = 0$
Reaksi	$C_{A0}X$		$C_{A0}X$		$2C_{A0}X$
Hasil	$C_A = C_{A0} - C_{A0}X$		$C_B = C_{A0}X$		$C_C = 2C_{A0}X$
	$C_{A0}X = C_{A0} - C_A$				$C_C = 2(C_{A0} - C_A)$

Dari persamaan (5)  $C_A = C_{A0}e^{-kt}$

Maka :

$$C_C = 2(C_{A0} - C_{A0}e^{-kt})$$

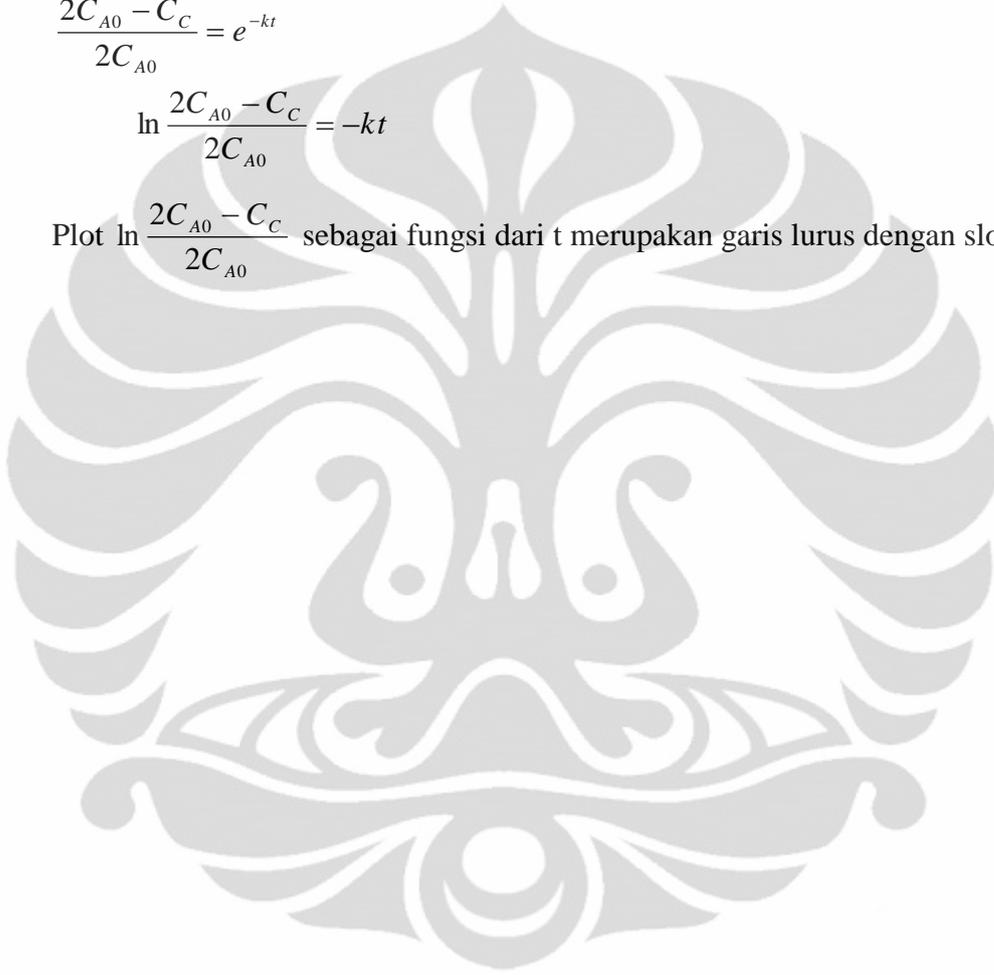
$$C_C = 2C_{A0} - 2C_{A0}e^{-kt}$$

$$C_C - 2C_{A0} = -2C_{A0}e^{-kt}$$

$$\frac{2C_{A0} - C_C}{2C_{A0}} = e^{-kt}$$

$$\ln \frac{2C_{A0} - C_C}{2C_{A0}} = -kt \quad (6)$$

Plot  $\ln \frac{2C_{A0} - C_C}{2C_{A0}}$  sebagai fungsi dari  $t$  merupakan garis lurus dengan slope  $-k$ .



**LAMPIRAN 4**  
**PERHITUNGAN LAJU REAKSI PADA BERBAGAI TEMPERATUR**

**1. Pada T = 700°C**

$$C_{A0} = 0,272 \text{ gr/gmol}$$

Waktu (jam)	$C_c$	$\frac{2C_{A0} - C_c}{2C_{A0}}$	$\ln \frac{2C_{A0} - C_c}{2C_{A0}}$
	(CO <sub>2</sub> yang terbentuk (mol))		
0	-	1	0
1	0,14	0,73	-0,309
2	0,22	0,6	-0,504
3	0,25	0,54	-0,611
4	0,29	0,47	-0,745
5	0,31	0,43	-0,853
6	0,31	0,42	-0,864

$$\text{slope} = -k = -0,1712/\text{jam}$$

**2. Pada T = 800°C**

Waktu (jam)	$C_c$	$\frac{2C_{A0} - C_c}{2C_{A0}}$	$\ln \frac{2C_{A0} - C_c}{2C_{A0}}$
	(CO <sub>2</sub> yang terbentuk (mol))		
0	-	1,00	0,000
1	0,31	0,43	-0,841
2	0,40	0,26	-1,360
3	0,48	0,11	-2,191
4	0,53	0,03	-3,676
5	0,54	0,01	-4,805
6	0,54	0,01	-4,708

$$\text{slope} = -k = -0,841/\text{jam}$$

**3. Pada T = 900°C**

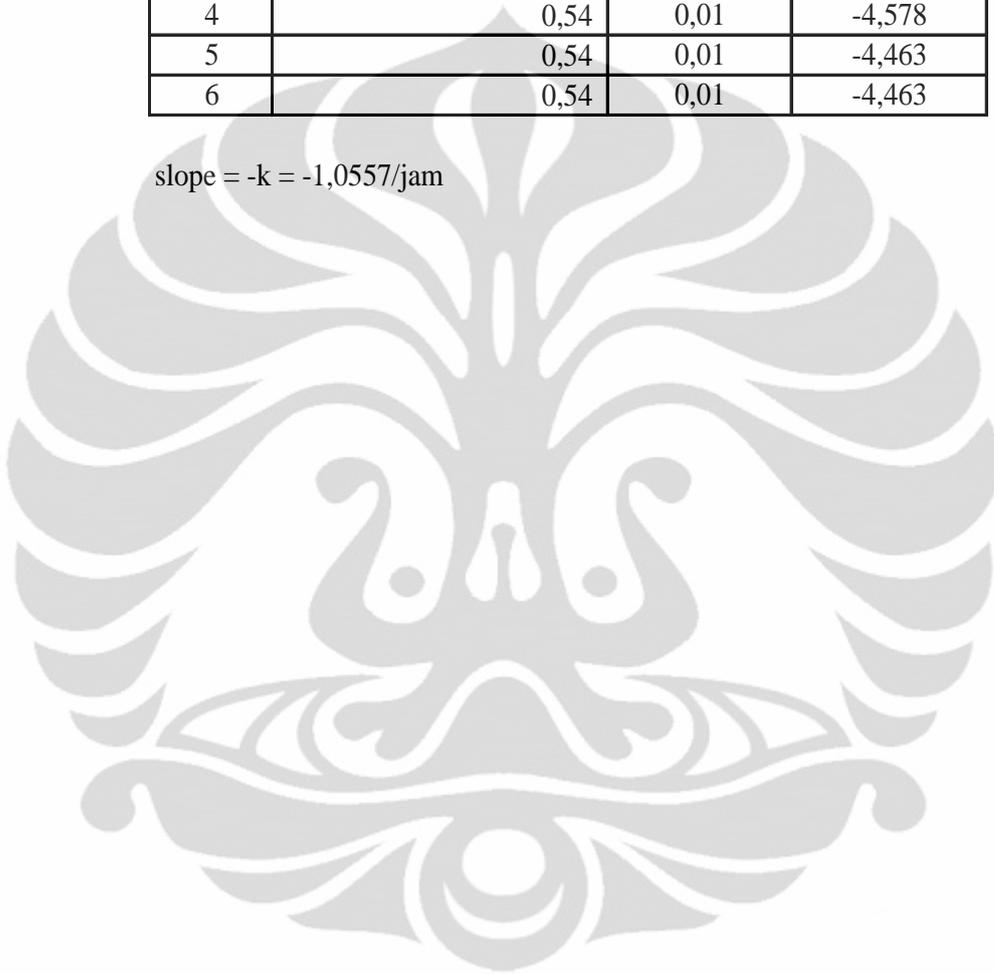
Waktu (jam)	$C_c$	$\frac{2C_{A0} - C_c}{2C_{A0}}$	$\ln \frac{2C_{A0} - C_c}{2C_{A0}}$
	(CO <sub>2</sub> yang terbentuk (mol))		
0	-	1,00	0,000
1	0,32	0,41	-0,903
2	0,46	0,16	-1,852
3	0,51	0,06	-2,800
4	0,54	0,00	-5,420
5	0,54	0,00	-8,697
6	0,54	0,00	-8,697

$$\text{slope} = -k = -1,353/\text{jam}$$

4. Pada T = 1000°C

Waktu (jam)	$C_c$	$\frac{2C_{A0} - C_c}{2C_{A0}}$	$\ln \frac{2C_{A0} - C_c}{2C_{A0}}$
	(CO <sub>2</sub> yang terbentuk (mol))		
0	-	1,00	0,000
1	0,54	0,01	-4,500
2	0,54	0,01	-4,538
3	0,54	0,01	-4,538
4	0,54	0,01	-4,578
5	0,54	0,01	-4,463
6	0,54	0,01	-4,463

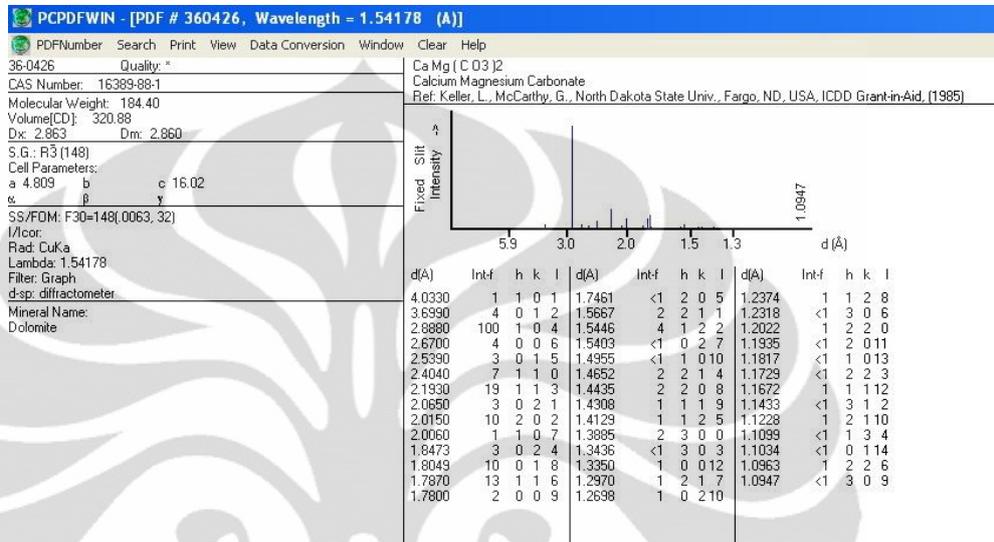
slope = -k = -1,0557/jam



## LAMPIRAN 5 DATA STANDAR DIFRAKSI SINAR-X

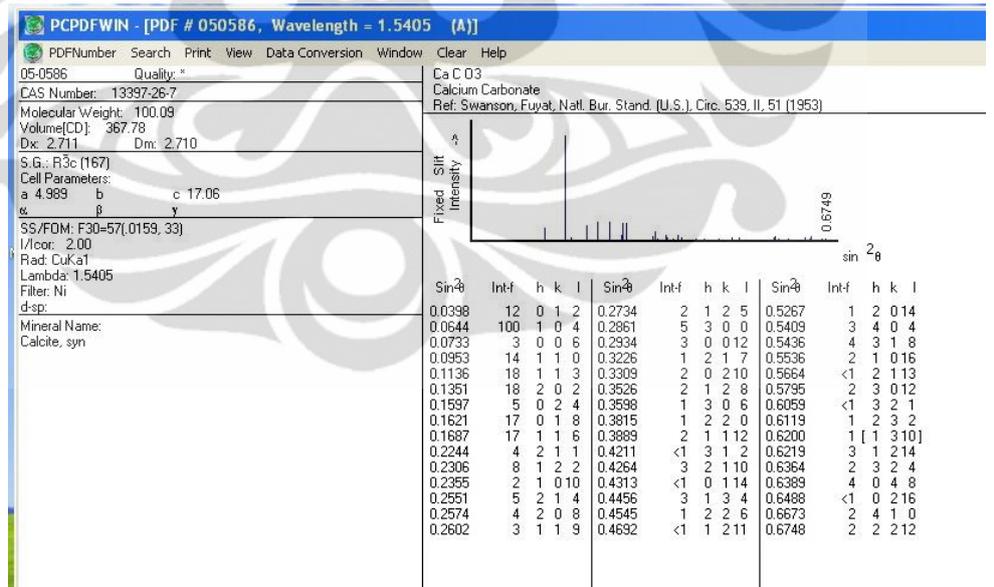
### 1. $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

Nomor ICDD = 36-426



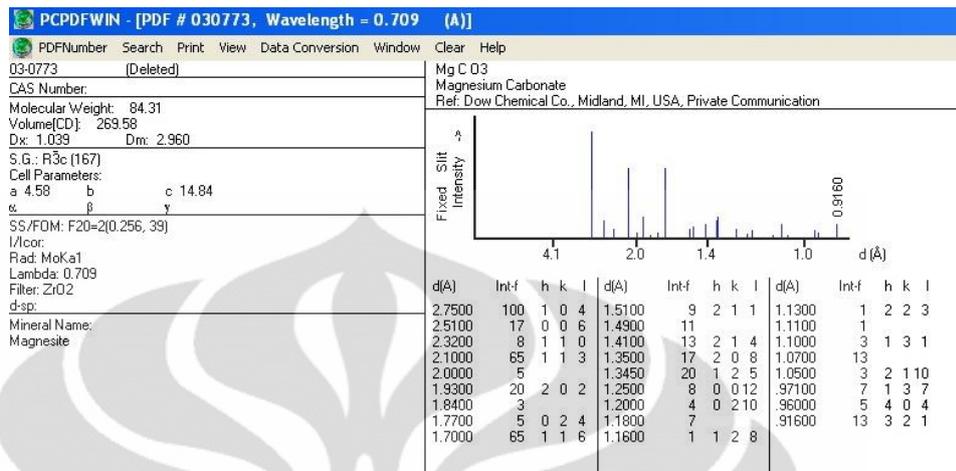
### 2. $\text{CaCO}_3$

Nomor ICDD = 05-586



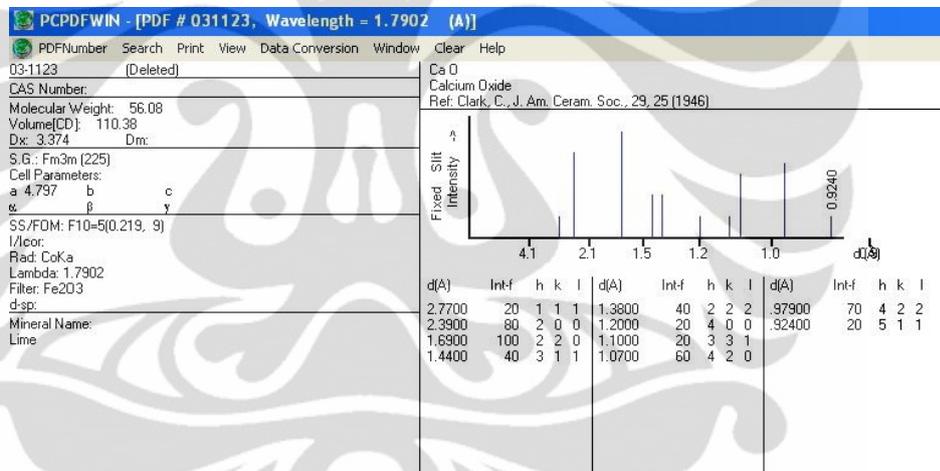
3.  $\text{MgCO}_3$ 

Nomor ICDD = 03-773



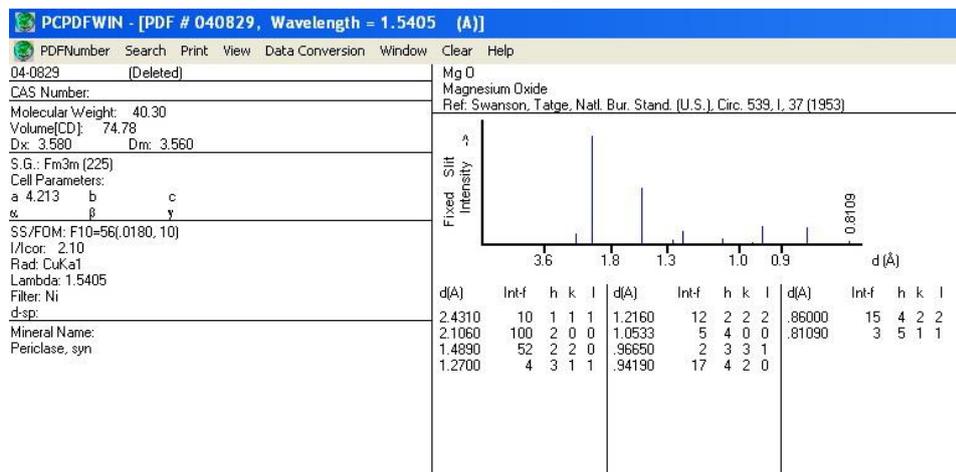
## 4. CaO

Nomor ICDD = 03-1123



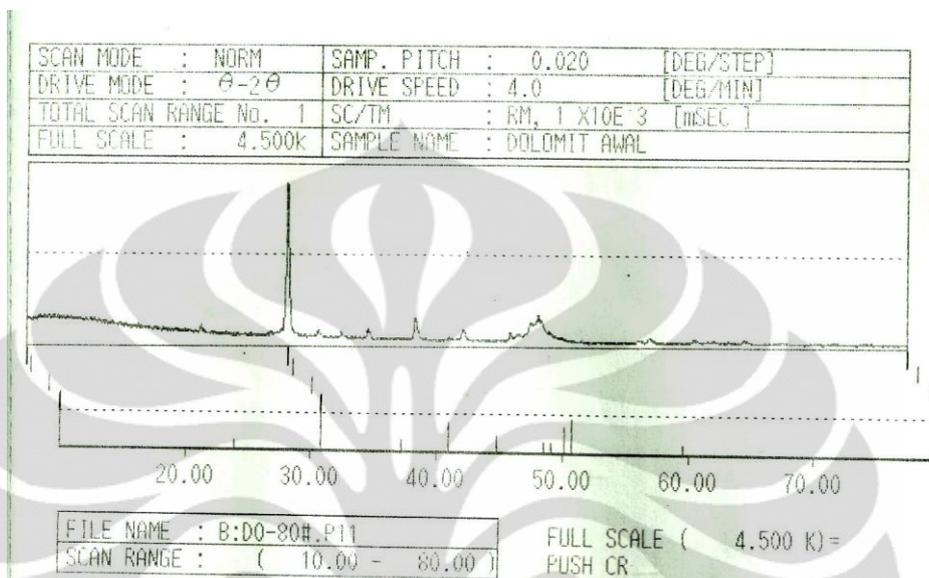
## 5. MgO

Nomor ICDD = 04-829

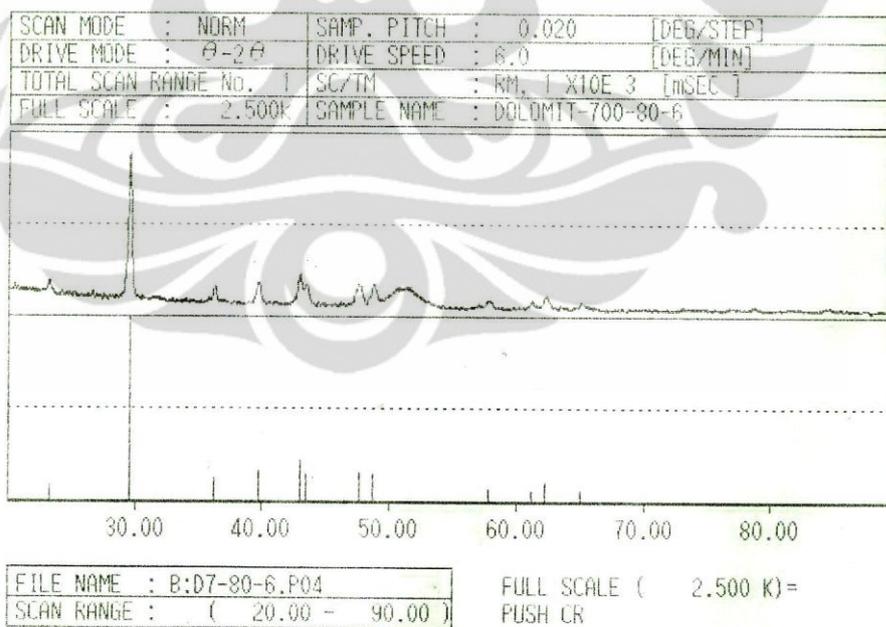


## LAMPIRAN 6 DATA DIFRAKSI SINAR-X

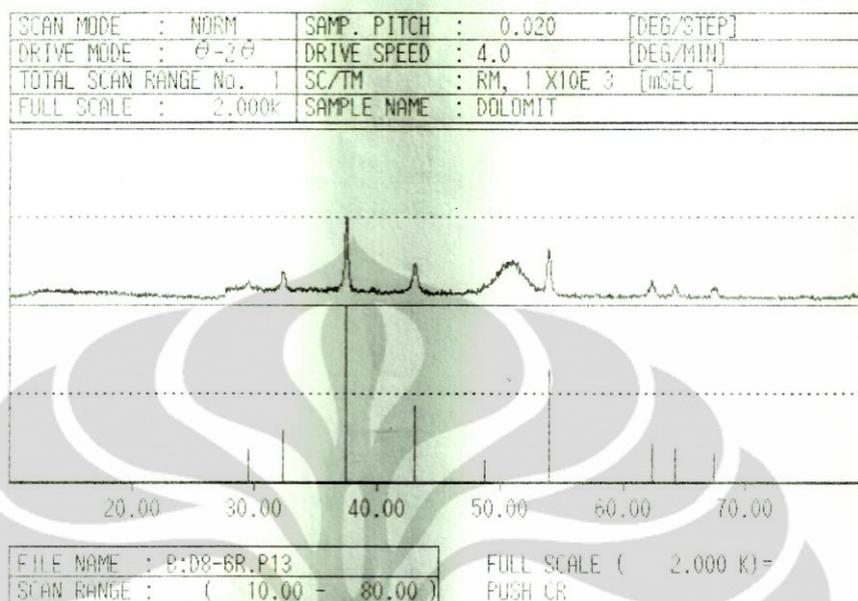
### 1. Sampel Awal



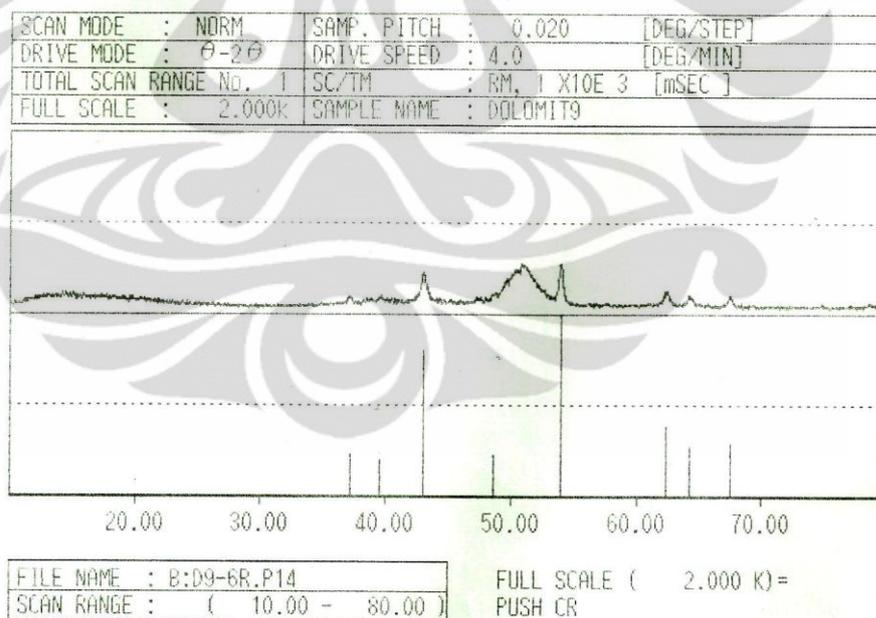
### 2. Kalsinasi 700°C



## 3. Kalsinasi 800°C

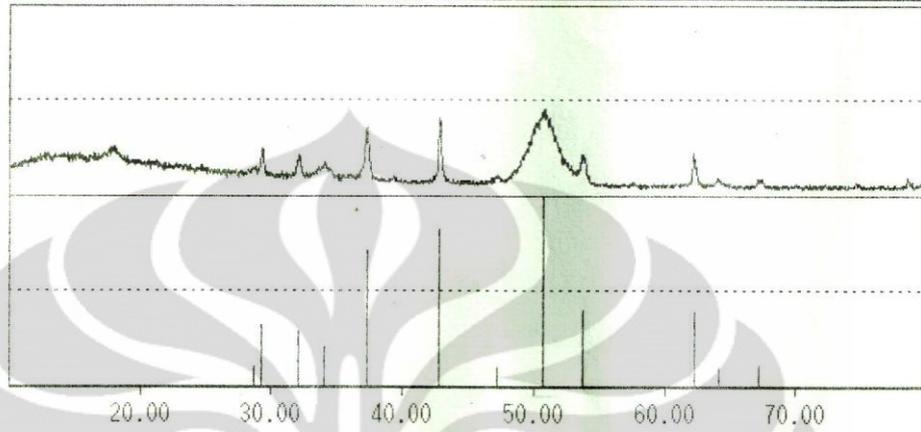


## 4. Kalsinasi 900°C



## 5. Kalsinasi 1000°C

SCAN MODE : NDRM	SAMP. PITCH : 0.020	[DEG/STEP]
DRIVE MODE : $\theta$ - $2\theta$	DRIVE SPEED : 4.0	[DEG/MIN]
TOTAL SCAN RANGE No. 1	SC/TM : RM, 1 X10E 3	[mSEC]
FULL SCALE : 2.000K	SAMPLE NAME : DOLOMIT10R2	



FILE NAME : B:D10-6R2.P16	FULL SCALE ( 2.000 K) =
SCAN RANGE : ( 10.00 - 80.00 )	PUSH CR

**LAMPIRAN 7**  
**ANALISIS LINIERITAS ORDE REAKSI**

Orde	R <sup>2</sup>				average
	700°C	800°C	900°C	1000°C	
0	0,702	0,500	0,361	0,341	0,476
0,1	0,719	0,572	0,439	0,342	0,518
0,2	0,737	0,646	0,517	0,339	0,560
0,3	0,753	0,719	0,596	0,338	0,602
0,4	0,770	0,787	0,674	0,335	0,642
0,5	0,786	0,849	0,749	0,331	0,679
0,6	0,801	0,900	0,814	0,327	0,711
0,7	0,816	0,939	0,866	0,319	0,735
0,8	0,830	0,964	0,902	0,311	0,752
<b>0,9</b>	<b>0,845</b>	<b>0,975</b>	<b>0,921</b>	<b>0,300</b>	<b>0,760</b>
<b>1</b>	<b>0,857</b>	<b>0,972</b>	<b>0,922</b>	<b>0,288</b>	<b>0,760</b>
1,1	0,870	0,960	0,910	0,270	0,753
1,2	0,882	0,937	0,893	0,257	0,742
1,3	0,893	0,910	0,868	0,239	0,728
1,4	0,904	0,880	0,842	0,218	0,711
1,5	0,950	0,850	0,816	0,196	0,703
1,6	0,923	0,820	0,973	0,173	0,722
1,7	0,913	0,792	0,773	0,148	0,657
1,8	0,939	0,776	0,797	0,123	0,659
1,9	0,946	0,742	0,741	0,098	0,632
2	0,953	0,721	0,730	0,072	0,619