

**PENGARUH TEMPERATUR KALSINASI TERHADAP KERAMIK
MgO.P₂O₅.SiO₂ YANG DISINTESIS DENGAN PROSES SOL GEL**

SKRIPSI

***Diajukan Kepada Tim Penguji Skripsi Jurusan Kimia
Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Strata Satu***



Oleh:

**MASNA RESY
2006-73276**

**PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2012**

PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul : Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Keramik
MgO.P₂O₅.SiO₂ Yang Disintesis Dengan Proses Sol
Gel
Nama : Masna Resy
Nim/BP : 73276/2006
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Mei 2012

Diketahui Oleh :

Pembimbing I



Drs. Ali Amran, M.Pd, M.A, Ph.D

NIP : 194710221971091001

Pembimbing II



Dra. Hj. Bayharti, M.Sc

NIP : 195508011979032001

PENGESAHAN

Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan di Depan Tim Penguji Skripsi

Program Studi Kimia Jurusan Kimia

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Padang

Judul : Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Keramik
 $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$ Yang Disintesis Dengan Proses Sol
Gel

Nama : Masna Resy

Nim/BP : 73276/2006

Program Studi : Kimia

Jurusan : Kimia

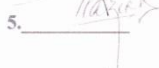
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Mei 2012

Tim Penguji

	Nama
1. Ketua	: Drs. Ali Amran, M.Pd, M.A, Ph.D
2. Sekretaris	: Dra. Hj Bayharti, M.Sc
3. Anggota	: Yerimadesi, S.Pd, M.Si
4. Anggota	: Drs. Bahrizal, M.Si
5. Anggota	: Drs. Nazir KS, M.Pd, M.Si

Tanda Tangan

1.	
2.	
3.	
4.	
5.	

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, Mei 2012

Yang Menyatakan,

Masna Resy



**"...Maha Suci Engkau,tidak ada yang mengetahui
Selain dari apa yang telah Engkau ajarkan kepada kami
Sesungguhnya Engkaulah Yang Maha Mengetahui
Lagi Maha Bijaksana'.(Q.S. Al-Baqarah : 32)**

**"Dan bahwasanya seorang manusia
Tidak memperoleh selain dari apa yang telah diusahakannya
Dan bahwasanya usahanya itu kelak akan diperlihatkan kepadanya"
(Q.S An-Najm : 39-40)**

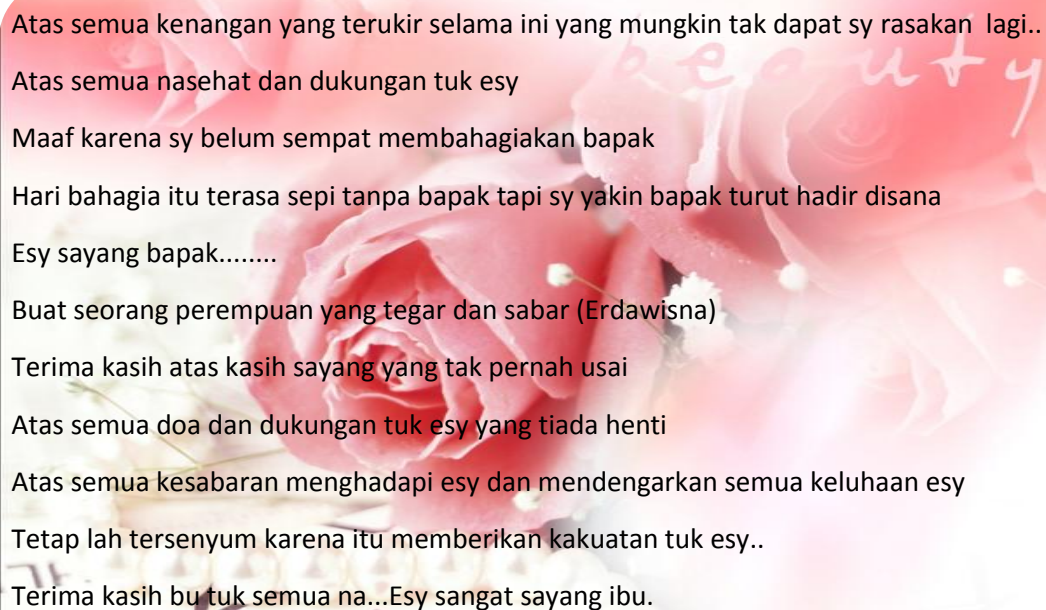
**"...Sesungguhnya setelah kesulitan itu ada kemudahan
Maka apabila kamu telah selesai dari suatu urusan
Kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lain
Dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap"
(Q.S Alam Nasyrh:6-8)**

Alhamdulillahirabbil'alamin

Ya Allah terima kasih Atas segala rahmah dan karunia yang ku terima
Engkau terangi jalanku dengan petunjuk-Mu
Engkau tegarkanku dengan kekuatan-Mu dan
Engkau sejuukkan aku dengan ketabahan
sehingga aku mampu melewati perjuangan yang selama ini ku anggap berat
semoga kemenanganku hari ini membawa kemenangan hari esok
kini aku sadarjuanganku belum sepenuhnya usai,,.....

Terima kasih untuk Bapak tersayang (Sudirman)

Atas cinta dan kasih sayang yang terus mengalir



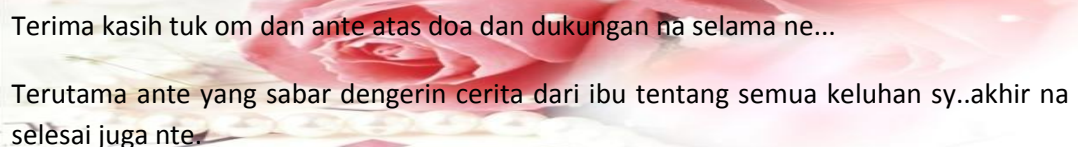
Atas semua kenangan yang terukir selama ini yang mungkin tak dapat sy rasakan lagi..
Atas semua nasehat dan dukungan tuk esy
Maaf karena sy belum sempat membahagiakan bapak
Hari bahagia itu terasa sepi tanpa bapak tapi sy yakin bapak turut hadir disana
Esy sayang bapak.....
Buat seorang perempuan yang tegar dan sabar (Erdawisna)
Terima kasih atas kasih sayang yang tak pernah usai
Atas semua doa dan dukungan tuk esy yang tiada henti
Atas semua kesabaran menghadapi esy dan mendengarkan semua keluhan esy
Tetap lah tersenyum karena itu memberikan kekuatan tuk esy..
Terima kasih bu tuk semua na...Esy sangat sayang ibu.

To Ade' ku tersayang (Diky Arta)



Makasih ea de' dah nolongin k' nyelesaiin skripsi ne....
Maaf ea sering nyusahin de'...mesti ngantar k' kemana-mana...dibangunin dengan paksa karena harus menjemput sesuatu.....
Makasih atas dukungan dan motifasinya....
Sekarang k' yang nunggu wisuda de'....k' yakin de' bisa nyelesaiin secepatnya..
Semangat ea de'.....

Tuk Om dan Ante (Om Tiuk dan Ante Isas)

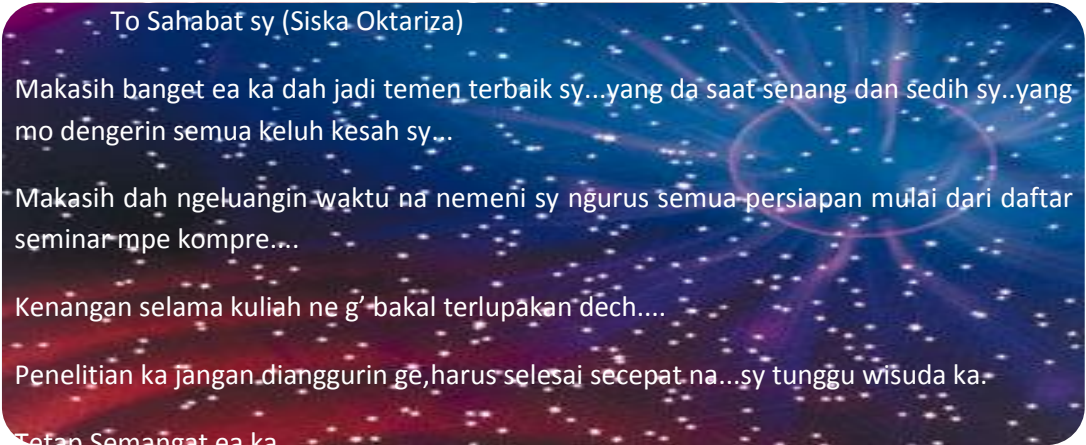


Terima kasih tuk om dan ante atas doa dan dukungan na selama ne..
Terutama ante yang sabar dengerin cerita dari ibu tentang semua keluhan sy..akhir na selesai juga nte.

To Ade' sy (Tari dan Echa)



Makasih ea de' tuk doa na...
Tari pasti bosen ea dengerin cerita k'...pi bentar ge tari juga bakal ngerasain senang dan susah na kuliah hehehe....hehee.
Belajar yang rajin ea de' biar lulus dengan nilai yang bagus....



To Sahabat sy (Siska Oktariza)

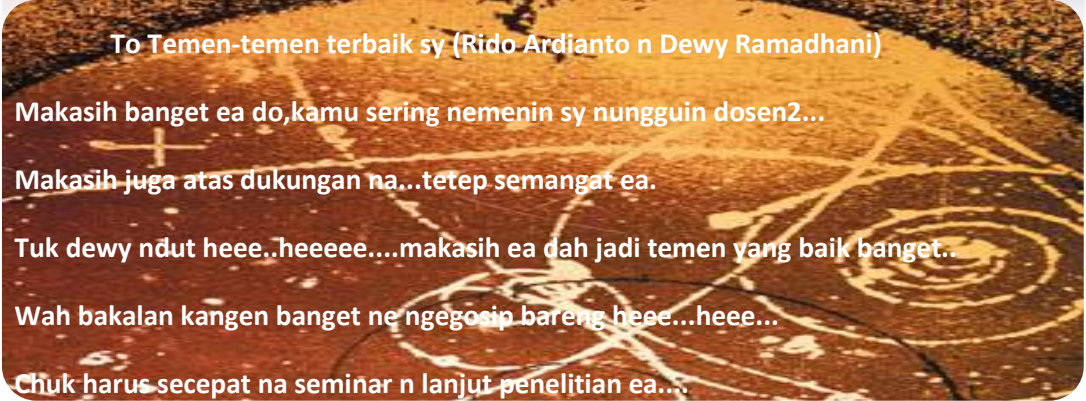
Makasih banget ea ka dah jadi temen terbaik sy...yang da saat senang dan sedih sy..yang mo dengerin semua keluh kesah sy...

Makasih dah ngeluangin waktu na nemeni sy ngurus semua persiapan mulai dari daftar seminar mpe kompre....

Kenangan selama kuliah ne g' bakal terlupakan dech....

Penelitian ka jangan dianggurin ge, harus selesai secepat na...sy tunggu wisuda ka.

Tetap Semangat ea ka...



To Temen-temen terbaik sy (Rido Ardianto n Dewy Ramadhani)

Makasih banget ea do, kamu sering nemenin sy nungguin dosen2...

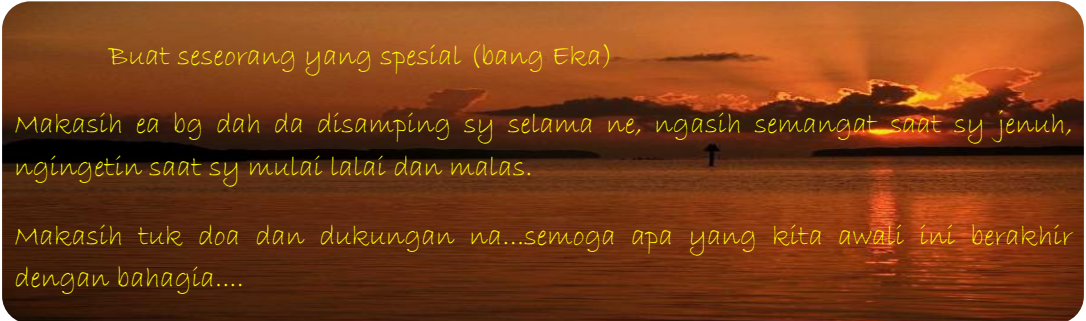
Makasih juga atas dukungan na...tetep semangat ea.

Tuk dewy ndut heeee..heeeee....makasih ea dah jadi temen yang baik banget..

Wah bakalan kangen banget ne nggosip bareng heee...heee...

Chuk harus secepat na seminar n lanjut penelitian ea....

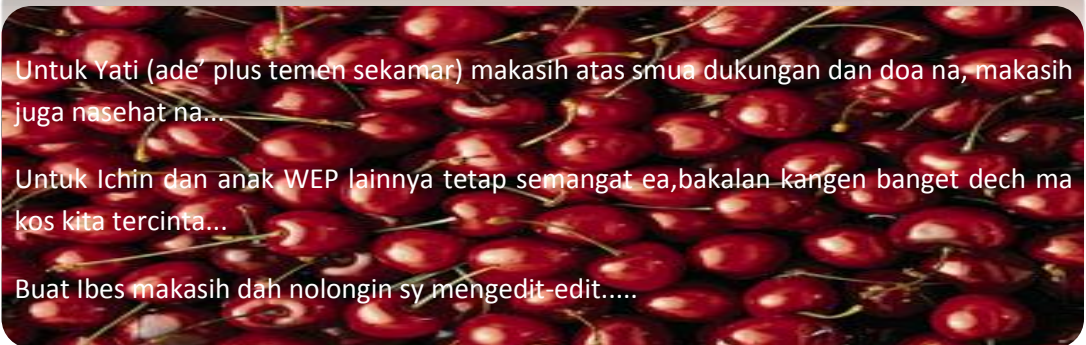
Tetap semangat n jangan nyerah ea.



Buat seseorang yang spesial (bang Eka)

Makasih ea bg dah da disamping sy selama ne, ngasih semangat saat sy jenuh, ngingetin saat sy mulai lalai dan malas.

Makasih tuk doa dan dukungan na...semoga apa yang kita awali ini berakhir dengan bahagia....



Untuk Yati (ade' plus temen sekamar) makasih atas semua dukungan dan doa na, makasih juga nasehat na...

Untuk Ichin dan anak WEP lainnya tetap semangat ea, bakalan kangen banget dech ma kos kita tercinta...

Buat Ibes makasih dah nolongin sy mengedit-edit.....

ABSTRAK

Masna Resy : Pengaruh Temperatur Kalsinasi Pada Keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$ Yang Disintesis Dengan Proses Sol-Gel

Telah disintesis keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$ dengan metode sol-gel menggunakan bahan baku tetraetilortosilikat (TEOS), garam magnesium nitrat heksahidrat ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2.6\text{H}_2\text{O}$) dan asam pospat (H_3PO_4) dengan variasi temperatur kalsinasi 700-1000°C. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur kalsinasi terhadap keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$ yang disintesis melalui metode sol-gel. Hasil sintesis keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$ berupa bubuk berwarna putih. Analisis XRD keramik-kaca pada temperatur kalsinasi 700°C dan 800°C keramik bersifat amorf dan pada temperatur 900°C dan 1000°C bersifat kristal.. Analisis SEM menunjukkan bahwa permukaan keramik pada temperatur kalsinasi 1000°C telah homogen secara mikro, terlihat dari gumpalan-gumpalan partikel keramik yang merata.

Kata kunci : keramik, sol-gel, kalsinasi, $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “***Pengaruh Temperatur Kalsinasi Keramik $MgO.P_2O_5.SiO_2$ Yang Disintesis Dengan Proses Sol-Gel***”. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Kimia di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya dengan segala kerendahan hati atas bantuan, arahan, bimbingan, dan kesempatan yang diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, khususnya kepada :

1. Bapak Drs. Ali Amran, M.Pd, M.A. Ph.D selaku Pembimbing I sekaligus sebagai Penasehat Akademik.
2. Ibu Dra. Hj. Bayharti, M.Sc selaku Pembimbing II.
3. Bapak dan Ibu Tim Penguji yaitu Bapak Drs. Nazir K.S, M.Pd, M.Si, Bapak Drs Bahrizal, M.Si dan Ibu Yermadesi, S.Pd, M.Si.
4. Ibu Dra. Andromeda, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.
5. Bapak dan Ibu staf Pengajar Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.

6. Bapak dan Ibu staf Laboratorium Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.
7. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan mahasiswa yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis telah berusaha menulis tugas akhir ini seoptimal mungkin, namun dengan segala kerendahan hati akan menerima kritik dan saran. Dengan harapan tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan penulis khususnya.

Padang, Mei 2012

Penulis,

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Keramik.....	5
2.2 Kalsinasi.....	11
2.3 Keramik MgO.P ₂ O ₅ .SiO ₂	12
2.4 Proses Sol-Gel.....	13
2.5 X-Ray Diffraction (XRD).....	22
2.6 Scanning Electron Microscopy (SEM).....	23

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	24
3.2 Alat dan Bahan.....	24
3.3 Prosedur.....	24

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil.....	26
4.2 Pembahasan.....	26

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	33
5.2 Saran.....	33

DAFTAR PUSTAKA.....	34
----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	36
----------------------	-----------

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Efek katalis pada pH dan waktu gel untuk hidrolisis TEOS dengan Ekivalen air.....	16
2. Konstanta laju dari hidrolisis alkoksida dan campuran alkoksisilan.....	17
3. Efek unsur alkoksida pada pembentukan glass dan pembentukan gel..	19

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Difraktogram dari keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$ untuk temperatur Kalsinasi 700°C , 800°C , 900°C , dan 1000°C	28
2. Foto SEM keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$ pada temperatur kalsinasi 1000°C	31

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Skema Kerja Sintesis Keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$	36
2. Foto Hasil Penelitian.....	37

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi meningkatkan proses pembuatan keramik. Dulu pembuatan keramik hanya sebatas barang yang dibakar pada temperatur tinggi, dimana keramik yang dihasilkan memiliki mikrostruktur yang tidak homogen sehingga mudah retak. Namun, dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan mendorong kemajuan industri dan seni keramik.

Dalam beberapa tahun terakhir ini proses pembuatan keramik dengan proses sol-gel maju pesat. Keramik yang dihasilkan melalui metoda ini memiliki mikrostruktur yang lebih halus dengan tingkat kemurnian yang dapat dikontrol, lebih homogen dan tahan pada temperatur tinggi (Jamarun N, 1997:1)

Keramik modern dapat dikelompokkan dalam tiga jenis yaitu keramik oksida, keramik non oksida dan keramik silikat. Contoh keramik oksida adalah aluminium oksida, magnesium oksida dan lain-lain, sedangkan contoh keramik non oksida adalah karbida-karbida. Selain itu juga terdapat jenis-jenis keramik lain. Keramik silika seperti keramik steatite, kordient, dan multit.

Keramik oksida didefinisikan sebagai materi yang bahan utamanya adalah logam oksida ($> 90\%$), material yang mempunyai sedikit atau

bahkan tidak ada fasa gelas. Bahan baku dari keramik oksida ini adalah produk sintesis dengan kemurnian yang tinggi. Contoh keramik yang disintesis dengan kemurnian yang tinggi adalah aluminium oksida.

Keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$ termasuk keramik oksida. Material ini berguna untuk komponen elektronik yang berfungsi sebagai isolator atau bahan penyekat karena bahan ini merupakan bahan dielektrik yang baik. Sifat dielektrik yang dimiliki oleh material ini disebabkan oleh ikatan yang kuat antara atom logam dengan atom non logam, dimana atom logam dapat melepaskan elektron kulit terluar dan memberikannya pada atom non logam (Welina dan Siswanto, 2005:5). Keramik ini juga banyak digunakan sebagai bahan refraktori dalam furnace untuk membuat baja, pelapis tanur, dan agregat bata tahan panas.

Pada penelitian Yusnafi (2001) sebelumnya juga melakukan tentang pembuatan keramik barium titanat (BaTiO_3) melalui pencampuran bubuk barium karbonat (BaCO_3) dan bubuk titanium oksida (TiO_2), yang dimanfaatkan untuk peralatan listrik. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa nilai konstanta dielektrik dari keramik BaTiO_3 sangat dipengaruhi oleh temperatur kalsinasi, semakin tinggi temperatur kalsinasi maka reaksi pembentukan keramik BaTiO_3 semakin sempurna sehingga nilai konstanta dielektriknya semakin besar (<http://0-87849-914-5.scientific.net/>). Nova (1999) juga melakukan penelitian tentang pembuatan multilayer pada temperatur rendah menggunakan silikon alkoksida (TEOS) dan aluminium alkoksida (aluminium sec-butakoksida). Dari hasil

penelitian didapatkan bahwa temperatur pembentukan keramik multiti terjadi pada suhu 985°C .

Penulis tertarik untuk melakukan penelitian *“Pengaruh temperatur kalsinasi terhadap keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$ yang disintesis melalui proses sol-gel”*. Pada penelitian dilakukan sintesis keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$ menggunakan Tetra Ethyl Ortho Silicat (TEOS) sebagai prekursor, etanol sebagai pelarut, garam magnesium nitrat dan asam pospat sebagai sumber oksida. Alasan menggunakan etanol adalah karena air dan TEOS dapat larut dalam etanol dan dapat membentuk campuran yang homogen sehingga reaksi hidrolisis dan kondensasi lebih sempurna. Disamping itu titik didih etanol yang relatif rendah akan mempercepat penguapan dari gel. Temperatur kalsinasi sangat berpengaruh terhadap sifat fisika dan sifat permukaan keramik hasil sintesis. Pemanasan dengan laju tidak terkontrol dapat merusak gel. Dalam penelitian ini akan dilakukan variasi temperatur kalsinasi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat fisika dan sifat kimia dari keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$. Hasil sintesis keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$ dikarakterisasi dengan menggunakan XRD dan SEM.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah “Bagaimana pengaruh temperatur kalsinasi terhadap keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$ yang disintesis dengan proses sol-gel.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah maka penelitian ini perlu dibatasi. Adapun batasan masalah penelitian adalah sebagai berikut :

1. Prekursor yang digunakan adalah TEOS dan sebagai sumber oksida logam adalah magnesium nitrat dan asam pospat.
2. Temperatur kalsinasi divariasikan pada 700°C , 800°C , 900°C , dan 1000°C .
3. Karakterisasi keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$ mencakup karakterisasi struktur kimia dengan Difraktometer Sinar-X dan karakterisasi morfologi dan struktur permukaan dengan SEM.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Mensintesis keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$.
2. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh temperatur kalsinasi terhadap keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$ hasil sintesis.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah dapat memberikan informasi tentang ilmu kimia material khususnya dibidang sintesis keramik dan memberikan informasi tentang cara mensintesis keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$ menggunakan proses sol-gel.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Keramik

2.1.1 Pengertian keramik

Keramik berasal dari bahasa Yunani “ *keramikos*” atau “*pottery clay*” yang artinya suatu bentuk dari tanah liat/lempung yang telah mengalami pembakaran pada suhu tinggi (Higgins, 1994:316). Kamus dan ensiklopedia tahun 1950-an mendefinisikan keramik sebagai suatu hasil seni dan teknologi untuk menghasilkan barang dari tanah liat yang dibakar, seperti gerabah, genteng, porselin, dan sebagainya. Tetapi pada saat ini tidak semua keramik berasal dari tanah liat. Definisi keramik terbaru mencakup semua bahan bukan logam dan anorganik yang berbentuk padat.

Dengan demikian keramik dapat didefinisikan sebagai material-material logam dan non logam khusus yang dihasilkan dari lempung dan mineral-mineral lain dari tanah atau bubuk-bubuk yang diproses secara kimia. Umumnya keramik bersifat kristal. Senyawa-senyawa keramik terbentuk dari unsur-unsur logam dan non logam seperti aluminium dan oksigen (alumina, Al_2O_3), silikon dan nitrogen (silicon nitrid, Si_3N_4), serta silikon dan karbon (silicon karbida, SiC) (Geiger, 2004:1)

2.1.2 Klasifikasi keramik

Keramik terbagi atas keramik tradisional dan keramik modern. Keramik tradisional adalah keramik yang dibuat dengan menggunakan bahan alam, seperti kuarsa, kaolin, dan lain-lain. Keramik modern adalah keramik yang dibuat dengan menggunakan oksida-oksida logam atau logam seperti oksida Al_2O_3 , ZrO_2 , MgO , CuO , Cr_2O_3 .

Keramik modern menurut Taylor (2004:2) dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori material yang berbeda, yaitu keramik oksida, keramik non oksida, dan keramik silikat.

a. Keramik oksida

Keramik jenis ini tahan terhadap oksida, bersifat inert, dapat digunakan sebagai penghantar listrik dan konduktivitas termalnya rendah. Beberapa contoh material yang termasuk golongan keramik oksida adalah aluminium oksida, magnesium oksida, tembaga oksida, dan kromium oksida.

b. Keramik non oksida

Umumnya keramik ini keras, bersifat inert, konduktivitas termalnya tinggi dan dapat menghantarkan listrik. Material-material yang termasuk dalam golongan ini adalah borida-borida, nitrit-nitrit dan silika-silika. Untuk memproduksi keramik ini harus melalui tiga proses. Proses pertama yaitu persiapan prekursor atau bahan-bahan dasar dan proses kedua adalah mencampur prekursor-prekursor tersebut untuk mendapatkan campuran yang diinginkan

dan proses yang terakhir yaitu pembentukan serta sintering komponen-komponen akhir. Pada proses pembakaran membutuhkan kontrol furnace yang hati-hati karena material-material ini akan mudah teroksidasi selama proses pembakaran.

c. Keramik silikat

Merupakan perpaduan material keramik dan material silikat. Keramik jenis ini biasanya digunakan untuk komponen-komponen elektronik seperti isolator karena memiliki konstanta dielektrik yang besar. Contoh keramik silikat adalah porselen, steatite, forsterite, cordierite dan keramik multit.

2.1.3 Struktur keramik

Menurut Higgins (1994:316), berdasarkan pada komposisinya maka keramik dapat dikelompokkan menjadi empat kelas, yaitu :

- a. Keramik amorf merupakan bahan-bahan yang dihubungkan dengan glass-glass.
- b. Keramik kristal merupakan material-material fasa tunggal.
- c. Keramik yang berikatan merupakan material-material kristal tunggal yang berikatan bersama oleh suatu matrik glass.
- d. Semen merupakan kristal tapi beberapa diantaranya terdiri dari kristal dan amorf.

Keramik cenderung kurang dapat ditempa dibandingkan dengan logam-logam. Keramik biasanya memiliki komposisi kimia kompleks dan strukturnya relatif kompleks. Struktur-struktur ini dapat

dikelompokkan menjadi dua, yaitu struktur kristal sederhana dan struktur silikat kompleks (Higgins, 1994:317)

a. Struktur kristal sederhana

Keramik yang termasuk pada struktur ini memiliki ikatan ionik atau kovalen. Magnesium oksida adalah suatu senyawa ionik dari struktur kubus yang sama dengan natrium klorida. Magnesium oksida banyak digunakan sebagai refraktori dalam furnace untuk membuat baja dan dapat bertahan pada temperatur lebih dari 2000°C .

b. Struktur silikat kompleks

Kebanyakan material-material keramik berasal dari lempung, pasir, atau semen, yang terdiri dari unsur-unsur silikon dalam bentuk silikat-silikat. Gabungan silikon oksigen sederhana adalah SiO_4 dimana sejumlah atom silikon dikelilingi secara tetrahedral oleh empat atom oksigen. Dengan demikian quadrivalensi silikon terpenuhi tapi bivalensi atom-atom oksigen tidak. Maka untuk memenuhi valensi atom-atom oksigen, gugus SiO_4 berikatan secara ionik dengan atom-atom logam menghasilkan ion silikat bermuatan negatif $(\text{SiO}_4)^{4-}$ dan ion-ion logam bermuatan positif seperti Ca^{+2} , Na^+ , Mg^{+2} , dan Al^{+3} . Ion-ion positif dan negatif ini kemudian membentuk kristal.

2.1.4 Sifat- sifat keramik

Pemanfaaaatan keramik sebagai material-material teknik tidak terlepas dari sifat-sifat fisika. Sifat-sifat fisika keramik antara lain sifat termal, sifat optik, sifat mekanik, dan sifat listrik (Ismunandar, 2007:1)

a. Sifat temal

Sifat termal penting bahan keramik adalah kapasitas panas, koefisien ekspansi termal, dan konduktivitas termal. Kapasitas panas bahan adalah kemampuan bahan untuk mengabsorpsi panas dari lingkungan. Panas yang diserap disimpan oleh padatan antara lain dalam bentuk vibrasi (getaran) atom/ion penyusun padatan tersebut. Contoh paling baik penggunaan keramik untuk insulasi panas adalah pada pesawat ruang angkasa. Hampir semua permukaan pesawat tersebut dibungkus keramik yang terbuat dari serat silika amorf.

b. Sifat optik

Banyak aplikasi memanfaatkan sifat optik bahan keramik. Transparansi gelas membuatnya bermanfaat untuk jendela, filter, alat masak, alat laboratorium, dan objek-objek seni. Pengubahan antara cahaya dan listrik adalah dasar penggunaan LED (*Light Emitting Diode*) dalam alat-alat elektronik. Keramik fluoresensi dan fosforesensi digunakan dalam lampu-lampu listrik dan layar-layar TV. Akhirnya serat optik mentransmisikan percakapan

telepon dan data komputer yang didasarkan atas refleksi internal total sinyal cahaya.

c. Sifat mekanik

Keramik biasanya material yang kuat, keras dan juga tahan korosi. Sifat-sifat ini bersama dengan kerapatan yang rendah dan juga titik lelehnya yang tinggi membuat keramik merupakan material struktural yang menarik. Aplikasi struktural keramik teknik termasuk untuk komponen mesin mobil dan struktur pesawat. Misalnya TiC mempunyai kekerasan 4 kali dari kekerasan baja. Semen dan tanah liat adalah contoh yang lain, keduanya dapat dibentuk ketika basah namun ketika kering akan menghasilkan objek yang lebih keras dan lebih kuat. Material yang sangat kuat seperti alumina (Al_2O_3) dan silikon karbida (SiC) digunakan sebagai abrasive untuk *grinding dan polishing*.

d. Sifat listrik

Sifat listrik bahan keramik sangat bervariasi. Keramik dikenal sangat baik sebagai isolator. Beberapa isolator keramik (seperti BaTiO_3) dapat dipolarisasi dan digunakan sebagai kapasitor. Keramik lain menghantarkan elektron bila energi ambangnya dicapai, dan oleh karena itu disebut semikonduktor. Tahun 1986, keramik jenis baru, yakni superkonduktor temperatur kritis tinggi ditemukan. Keramik yang disebut sebagai piezoelektrik dapat menghasilkan respon listrik akibat tekanan mekanik atau

sebaliknya. Keramik ini sering digunakan sebagai sensor dalam bahan piezoelektrik, penerapan gaya atau tekanan dipermukaannya akan menginduksi polarisasi dan akan terjadi medan listrik, jadi bahan tersebut mengubah tekanan mekanis menjadi tegangan listrik. Sering pula digunakan bahan yang disebut dielektrik. Bahan ini digunakan untuk menyimpan muatan listrik.

2.2 Kalsinasi

Salah satu yang mempengaruhi sifat-sifat fisika keramik diatas adalah temperatur kalsinasi. Kalsinasi yaitu merupakan proses penguraian karbonat, hidrat dan gas lain dengan cara pemanasan pada suhu tertentu, tetapi masih dibawah titik leburnya. Proses kalsinasi dikerjakan pada temperatur tinggi tanpa terjadi pelelehan dan disertai dengan penambahan reagen, hal ini dimaksudkan untuk mengubah bentuk senyawa konsentrat. Kalsinasi biasa disebut juga dengan dekomposisi thermal (penguraian dengan temperatur).

Temperatur kalsinasi dapat mempengaruhi struktur keramik yang dihasilkan. Semakin tinggi temperatur kalsinasi maka reaksi pembentukan keramik semakin sempurna (Yusnafi :2001). Sedangkan apabila temperatur yang digunakan terlalu rendah maka keramik yang diperoleh kurang baik (rapuh). Oleh karena itu, temperatur yang berbeda sangat berpengaruh terhadap keramik yang dihasilkan.

Pada umumnya unsur magnesium sudah terdekomposisi pada temperatur 700⁰C. Apabila temperatur kalsinasi terlalu tinggi atau waktu

kalsinasi terlalu lama maka unsur magnesium tidak dapat terdekomposisi. Oleh karena itu untuk menentukan temperatur kalsinasi yang tepat, parameter didetailkan dalam interval 700°C sampai dengan 1000°C (Gurharyanto).

2.3 Keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$

Keramik modern digunakan karena sifat-sifat khusus atau kombinasi dari sifat-sifatnya. Dilihat dari sifat termalnya, contoh paling baik penggunaan keramik untuk insulasi panas adalah pada pesawat ruang angkasa. Hampir semua permukaan pesawat tersebut dibungkus keramik yang terbuat dari serat silika amorf.

Magnesium oksida berupa zat padat, tidak mudah mencair (titik cairnya 2800°C), keras dan tahan api sehingga banyak digunakan sebagai pelapis tanur, pengatur viskositas gelas dan gelasir keramik dan juga sebagai bahan imbuh (influx) pada tanur tinggi yang berfungsi untuk menurunkan titik lebur. Sedangkan fosfor oksida berupa padatan putih yang dapat menyublim pada suhu 300°C , titik lebur 340°C . Banyak digunakan dalam industri kimia seperti pembuatan detergen, tekstil dan komponen utama pembuatan pupuk ([http://en.wikipedia.org/wiki/keramik-magnesiumoksida/fospor oksida](http://en.wikipedia.org/wiki/keramik-magnesiumoksida/fospor_oksida))

Keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$ memiliki sifat resistensi listrik yang tinggi sehingga cocok dalam aplikasi listrik dan elektronik. Keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$ juga banyak digunakan sebagai bahan refraktori dalam furnace untuk membuat baja, pelapis tanur dan agregat bata tahan panas.

Industri elektronik tidak akan ada tanpa keramik. Keramik merupakan insulator, semikonduktor, superkonduktor, dan magnet yang baik. Keramik dapat juga digunakan pada penanganan tumpahan minyak sehingga dapat ditarik dari kapal, pelabuhan, atau lepas pantai sebelum terbakar (Geiger, 2004:3)

2.4 Proses Sol- Gel

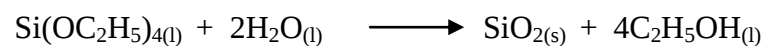
Proses sol-gel dapat diartikan sebagai proses yang diawali dengan pembentukan sol yang kemudian berpolikondensasi membentuk gel. Sol adalah sistem koloid dengan fasa terdispersi cair dalam medium pendispersi padat. Gel juga dapat didefinisikan sebagai koloid hidrofili setengah kaku yang dapat terjadi jika fasa terdispersinya menyerap banyak sekali medium pendispersinya sehingga sistem menjadi kental dan kaku. Dari definisi sol dan gel dapat disimpulkan bahwa proses sol-gel adalah proses yang diawali dengan pembentukan sol yang kemudian menyerap medium pendispersinya sehingga menjadi kental dan kaku yang disebut dengan gel.

Sol- gel merupakan suatu metoda yang dapat digunakan untuk menghasilkan bahan baku anorganik melalui reaksi kimia didalam suatu larutan pada temperatur rendah. Proses ini dapat menghasilkan suatu bahan dasar untuk pembuatan kaca, keramik, fiber atau komposit dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi serta lebih homogen. Keunggulan metoda ini adalah mampu mengontrol mikrostruktur produk yang dihasilkan dengan mengontrol parameter reaksi kimia (Mikula, 2001:6136)

Proses sol-gel untuk pembuatan material-material anorganik seperti kaca, dan keramik telah dikenal sejak tiga puluh tahun yang lalu, meskipun baru menjadi pusat perhatian beberapa tahun terakhir ini. Proses ini telah dapat menghasilkan material-material anorganik seperti kaca dan keramik dengan sifat yang unik pada struktur, sifat listrik dan sifat optik (Amran, 1995:1)

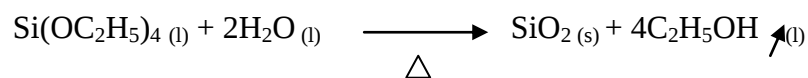
Dalam proses sol-gel yang menggunakan bahan dasar TEOS terjadi dua tahap reaksi, yaitu (Mikula, 2001:6137) :

1. Reaksi hidrolisis

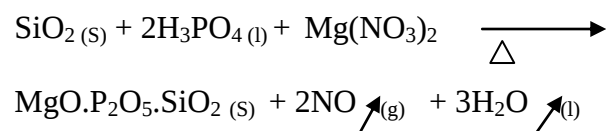


2. Reaksi kondensasi adalah reaksi terbentuknya matriks atau polimer SiO_2 .

Reaksi kimia yang terjadi dalam proses sintesis keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$ secara sol-gel adalah diawali dengan hidrolisis TEOS pada suhu kamar, seperti pada persamaan berikut :



Diikuti dengan pembentukan oksida pada suhu tinggi yang tampak dalam reaksi :



Dalam proses sol-gel terdapat dua metoda yaitu : metoda alkoksida dan metoda koloid. Metoda alkoksida merupakan metoda sol-gel yang menggunakan logam alkoksida sebagai prekursor, sedangkan pada metoda koloid adalah metoda sol-gel yang menggunakan selain logam alkoksida sebagai prekursor, misalnya nitrat, karboksilat, asetil asetonat dan klorida (Emriadi, 2006)

2.4.1 Tahap- tahap proses Sol Gel

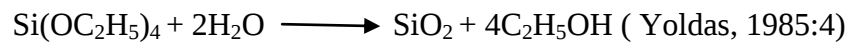
Proses sol-gel mempunyai beberapa tahap yaitu: (1) mixing, dimana suspensi serbuk koloid terjadi dengan pencampuran secara mekanik pada pH yang mencegah pengendapan, (2) gelasi, saat terjadi jaringan tiga dimensi antara partikel koloid dengan spesies silika disebut waktu gelasi, (3) aging, dipengaruhi oleh temperatur dan pH, (4) drying, merupakan penghilangan cairan dari jaringan berpori yang saling berhubungan, (5) stabilisasi kimia, bertujuan untuk memperkuat gel melalui pengurangan konsentrasi silanol pada permukaan, (6) densifikasi, merupakan suatu proses pemanasan gel berpori pada temperatur tinggi, temperatur densifikasi tergantung pada dimensi jaringan berpori serta hubungan pori dan luas permukaan (Amran, 1995)

2.4.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi proses Sol Gel

Banyak faktor yang mempengaruhi proses sol-gel, diantaranya adalah :

- a. Faktor rasio mol H_2O / mol $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$

Secara kimia H_2O yang dibutuhkan untuk reaksi hidrolisis sempurna $\text{Si}(\text{OR})_4$ antara 2 sampai 20 mol per mol $\text{Si}(\text{OR})_4$.



b. Faktor katalis

Pengaruh katalis menyebabkan reaksi hidrolisis menjadi cepat dan sempurna. Katalis sangat berpengaruh pada proses pembentukan struktur mikrogel dan dapat mempercepat pembentukan gel. Katalis yang biasa digunakan adalah asam-asam mineral dan basa. Asam mineral lebih efektif dari basa dengan ekivalen yang sama. Jenis katalis yang berpengaruh terhadap pembentukan gel dengan proses sol-gel dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Efek katalis pada pH dan waktu gel untuk hidrolisis TEOS dengan ekivalen air.

Katalis	Konsentrasi (mol TEOS)	pH awal larutan	Waktu gelasi (jam)
HF	0,5	1,9	12
HCl	0,5	0,05	92
HNO_3	0,5	0,05	100
H_2SO_4	0,5	0,05	106
HOAc	0,5	3,7	72
NH_4OH	0,5	9,95	107
Tak ada katalis	—	5,00	1000

Sumber : Brinker, 1986 : 33

Dari tabel 1 terlihat pengaruh katalis terhadap pH dan waktu gelasi terhadap hidrolisis TEOS. Pada penelitian ini katalis yang digunakan adalah HNO_3 dimana waktu gelasinya lebih cepat jika dibandingkan dengan H_2SO_4 yaitu 100 jam dengan pH awal larutan 0,05.

c. Faktor temperatur dan waktu

Jika selama proses sol-gel dilakukan pada temperatur yang lebih besar dari temperatur kamar maka laju hidrolisis akan menjadi cepat dan juga akan menyebabkan gel semakin cepat terbentuk. Temperatur yang tinggi akan mempengaruhi kerapatan dari silika gel, yang mana kerapatan gel semakin besar pada temperatur tinggi.

d. Faktor sterik

Pada reaksi hidrolisis faktor sterik berpengaruh besar pada kestabilan hasil hidrolisis. Dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Konstanta laju dari hidrolisis alkoksida dan campuran alkoksisilan.

R	K ($10^2 \text{ L mol}^{-1} \text{ s}^{-1} [\text{H}^+]$)
$-\text{C}_2\text{H}_5-$	5,1
$-\text{C}_4\text{H}_9-$	1,9
$-\text{C}_6\text{H}_{13}-$	0,83

Sumber : Brinker, 1986 :34

Dari tabel 2 terlihat bahwa konstanta laju dari hidrolisis alkoksida dan campuran alkoksisilan yang tertinggi yaitu pada $-C_2H_5-$ yaitu 5,1. Semakin tinggi konstanta laju hidrolisis maka hasil hidrolisisnya akan semakin stabil.

e. Faktor pelarut

Air dan alkoksisilan kurang sempurna bercampur (akibat kepolaran yang berbeda), maka pelarut alkohol sering digunakan dalam reaksi pembentukan gel. Selain itu pelarut juga digunakan untuk mengontrol konsentrasi logam alkoksida agar tidak pekat pada waktu pembentukan gel.

Alkohol digunakan karena mempunyai titik didih yang relatif rendah sehingga dapat mempercepat penguapan pelarut dari gel. Pengaruh pelarut pada komposit silika-titania juga telah dipelajari oleh Rusmita (2002) yang menyatakan bahwa pelarut etanol menghasilkan komposit silika-titania yang homogen, transparan, dan tidak pecah serta persen kehilangan berat gel lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan pelarut metanol, propanol dan butanol karena reaksi lebih sempurna.

f. Faktor prekursor

Senyawaan logam yang digunakan sebagai bahan pemula pada reaksi hidrolisis dan kondensasi disebut prekursor. Syarat umum dari prekursor harus dapat larut dalam media reaksi dan harus cukup reaksi dalam pembentukan gel.

Prekursor juga berpengaruh terhadap gel yang dihasilkan. Diantara prekursor yang dapat digunakan adalah garam-garam dengan anion yang mudah terdekomposisi, oksida-oksida, hidroksida pada senyawa kompleks, dan alkoksida (Schidmit, 1988:54)

g. Faktor unsur alkoksida

Unsur dari alkoksida berpengaruh pada gel yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Efek unsur alkoksida pada pembentukan glass dan pembentukan gel.

Unsur	Pembentukan glass	Pembentukan gel
Si	Sangat baik	Sangat baik
Ti	Jelek	–
B	Baik	Jelek
Zr	Jelek	Sangat baik
Al	Beralasan	Baik
Ge	Baik	Baik

Sumber : Schidmit, 1988 : 54

2.4.3 Kelebihan dan kekurangan proses Sol Gel

Proses sol-gel mempunyai beberapa kelebihan seperti dapat menghasilkan kaca yang bermutu dengan suhu proses dibawah suhu pembuatan kaca secara konvensional. Disamping mempunyai kelebihan, proses sol-gel juga mempunyai beberapa kelemahan. Akan tetapi kelemahan ini bukanlah suatu penghambat untuk terus melakukan penelitian dengan metoda sol-gel. Kelebihan metoda sol-gel adalah :

- a. Kehomogenan yang lebih baik
- b. Kemurnian yang tinggi
- c. Suhu pengerjaan relatif rendah
- d. Tidak terjadi reaksi dengan senyawa sisa
- e. Kehilangan bahan akibat penguapan dapat diperkecil
- f. Mengurangi pencemaran udara

Disamping mempunyai beberapa kelebihan, proses sol-gel ini juga mempunyai beberapa kelemahan yaitu :

- a. Bahan mentah mahal
- b. Penyusutan yang besar selama proses pengeringan
- c. Terbentuknya pori-pori
- d. Sisa hidroksi dan karbon
- e. Menggunakan pelarut organik yang berbahaya bagi kesehatan
- f. Memerlukan waktu pemrosesan yang lama

Walaupun proses sol-gel mudah dilakukan, terdapat beberapa permasalahan dalam menghasilkan produk akhir. Yang menjadi perhatian yaitu sukar untuk mendapatkan produk yang bebas dari pecahan saat proses pengeringan (Jamarun N, 2000)

2.4.4 Prekursor pada proses Sol Gel

Dalam proses sol-gel, prekursor dalam pembuatan koloid terdiri dari unsur logam atau metaloid yang dikelilingi oleh bermacam-macam ligan. Seagai contoh, prekursor yang biasa digunakan untuk aluminium oksida meliputi garam anorganik (tidak mengandung karbon) seperti $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$

dan senyawa organik seperti $\text{Al}(\text{OC}_4\text{H}_9)_3$. Selain itu, logam alkoksida merupakan prekursor yang populer digunakan. Salah satu contoh logam alkoksida adalah TEOS (Tetra Ethyl Orto Silikat).

Tetra ethyl orto silikat atau TEOS juga disebut sebagai tetra etoksi silana. Sifat-sifat TEOS adalah :

- a. Berat molekul adalah 208.33 gr/mol
- b. Berwujud cair pada suhu kamar dengan tekanan uap 1.5 torr
- c. Secara lambat terhidrolisis menjadi silikon dioksida dan etanol ketika berkontak dengan udara lembab
- d. Tidak berwarna
- e. Mudah terbakar
- f. Beracun
- g. Titik didihnya adalah 165°C - 166°C
- h. Titik lelehnya adalah -77°C
- i. Tidak larut dalam air
- j. Larut dalam alkohol

2.4.5 Aplikasi proses Sol Gel

Proses sol- gel telah berhasil dikembangkan dalam berbagai industri kaca dan keramik. Secara khusus aplikasi dari proses sol-gel pada bidang industri adalah :

- a. Pembuatan kaca borosilikat
- b. Pembuatan keramik yang bersifat bioaktif
- c. Pembuatan keramik sebagai pelapis (coating)

- d. Pembuatan komposit organik-anorganik
- e. Pendukung semikonduktor
- f. Pembuatan material optik aktif

2.5 X- Ray Diffraction (XRD)

Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang $1\text{\AA}^0$ (10^{-10} m) yang terdapat diantara sinar γ dan sinar ultraviolet yang akan menunjukkan gejala difraksi bila sinar tersebut jatuh pada jarak antara atomnya kira-kira sama dengan panjang gelombang sinar tersebut yang menentukan arah difraksi atau sudut dalam kristal adalah sistem kristal dan parameter kisinya. Difraksi sinar-X ini dapat digunakan untuk karakterisasi material-material kristal dan untuk menentukan struktur kristal (West, 1984 :116)

Jika sinar dari radiasi sinar-X monokromatik dipancarkan langsung pada material kristal maka akan terlihat suatu difraksi sinar-X pada sudut yang berbeda dari cahaya sinar-X. Hubungan antara panjang gelombang dari cahaya sinar-X dengan sudut difraksi θ dan jarak tiap-tiap atom kisi kristal (d), yaitu : $n \lambda = 2 d \sin \theta$.

Dimana :

d = jarak antar bidang

θ = sudut terjadinya difraksi

λ = panjang gelombang

Jarak (d) ditentukan oleh dimensi kisi bukan oleh susunan atomnya, sedangkan arah difraksi (sudut θ) dalam kristal ditentukan oleh sistem kristal, bentuk serta sel satuan dari kristal (Hartomo, 1994:38)

2.6 Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM merupakan alat yang dapat digunakan untuk mempelajari permukaan dari sampel padat. Material dengan konduktivitas listrik dapat dianalisis secara langsung, sedangkan untuk material non konduktor memerlukan lapisan tipis yang memiliki konduktivitas untuk mencegah terjadinya muatan listrik dari sampel.

Prinsip kerjanya berdasarkan kepada sinar elektron yang difokuskan dengan lensa elektromagnetik kepada permukaan sampel. Sinar akan sampai pada seluruh permukaan sampel yang akan disetarakan dengan sinar katoda yang ditujukan pada layar. Emisi elektron dari sampel digunakan untuk mengatur keterangan dari sinar katoda yang ditujukan sehingga akan menghasilkan bayangan permukaan sampel. Selain itu, SEM juga dapat mengevaluasi permukaan glass yang berisikan polimer dengan spesifik dan menyelidiki morfologi permukaan partikel katalis dan struktur internal yang diamati secara melintang (Sibiha.J.P, 1996)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$ dapat disintesis dengan metoda sol-gel, dengan prekursor yang digunakan adalah TEOS, magnesium nitrat heksahidrat dan asam pospat.
2. Temperatur kalsinasi sangat berpengaruh terhadap sintesis keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$. Analisa XRD dan SEM menunjukkan bahwa kristal yang sempurna terbentuk pada keramik $\text{MgO.P}_2\text{O}_5.\text{SiO}_2$ pada temperatur kalsinasi 1000°C .

5.2 Saran

Penelitian ini masih terbatas pada prekursor, sumber oksida logam dan karakterisasi. Oleh karena penelitian ini bersifat studi lanjut, maka disarankan untuk melakukan penelitian dengan menggunakan prekursor, sumber oksida dan karakterisasi yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Amran, Ali. (1995). *Sol Gel Glass For Glass Formation*. Makalah Seminar dan Lokakarya. IKIP:Padang.
- Brinker, C.J. (1988). *Hydrolysis and Condensation of Silicates : Effect on Struktur*. J. of Non-Crystalline Solids, 100.
- Emriadi. (2006). *Kimia Koloid Permukaan*. Unand Press. Padang.
- Geiger, Breg. (2004). *Introduction to Ceramics*. Technical Information Manager: American Ceramic Society.
- Hartomo, A.J. (1994). *Mengenal Keramik Modern, Edisi I*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Higgins, Raymond. A. (1994) *The Properties Of Engineering material*. 2nd Edition. Edward Arnold; London.
- <http://en.wikipedia.org/wiki/keramik-magnesium> oksida/fosfor oksida. 29 Januari 2011.
- Ismunandar. (2007). *Keramik*. Artikel-artikel populer. ITB : Bandung.
- Jamarun, N. (1997). "Pengaruh pH pada Pembentukan Silika Gel Melalui Proses Sol-Gel". Jurnal Kimia Universitas Andalas. Vol. 2. No.2. Unand: Padang.
- Jamarun, N. (2000). *Proses Sol-Gel*. FMIPA. Universitas Andalas. Padang.
- Mikula, Rendy.J (2001) "Chemical kinetic study of the sol-gel processing". Journal Physical Chemistry. ACS. USA.
- Nova, Ria (1999). *Pembuatan Keramik Multit Al₂O₃SiO₂*. FMIPA. Universitas Negeri Padang. Padang.
- Sari, Novia (2005). *Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Sifat Fisika dan Kimia dari Keramik Silikat Steatite (MgO.SiO₂) yang Disintesis dengan Proses Sol Gel*. Skripsi : Universitas Negeri Padang.
- Nurzepega, Yulia. 2010. *Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Keramik Cr₂O₃.CuO.SiO₂ Yang Disintesis Dengan Metoda Sol –Gel*. Skripsi : Universitas Negeri Padang.