



**SINTESIS FORSTERIT DARI PASIR PANTAI
PARANGKUSUMO DENGAN VARIASI WAKTU
PENCAMPURAN MENGGUNAKAN METODE
ULTRASONIKASI**

Skripsi
diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika

Oleh:
Sitta Khusniati Arofah
4211416009

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2020**

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa yang tertulis dalam skripsi ini benar-benar hasil karya saya, bukan jiplakan dan karya tulis orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.

Semarang, 17 Juli 2020

Penulis



Sitta Khusniati Arofah
4211416009

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

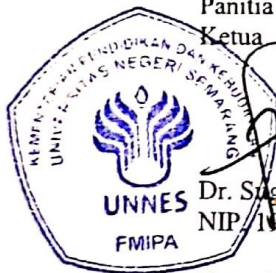
Sintesis Forsterit dari Pasir Pantai Parangkusumo dengan Variasi Waktu
Pencampuran Menggunakan Metode Ultrasonikasi

Disusun oleh

Sitta Khusniati Arofah

4211416009

Telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Fisika
FMIPA UNNES pada tanggal 24 Juli 2020.



Panitia
Ketua

Dr. Sugianto, M. Si.
NIP. 196102191993031001

Ketua Penguji

Dr. Agus Yulianto, M. Si.
NIP. 196607051990031002

Sekretaris

Dr. Suharto Linuwih, M. Si.
NIP. 196807141996031005

Anggota Penguji

Prof. Dr. Sutikno, M. T.
NIP. 197411201999031003

Anggota Penguji/ Pembimbing

Dr. Upik Nurbaiti, M.Si.
NIP. 196708141991022001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

Hidup bukan hanya tentang pencapaian yang diperjuangkan, kebermanfaatan yang diberikan lebih bermakna bagi banyak orang (Sitta, 2020).

Bertindak atau melakukan sesuatu mesti punya alasan dan tujuan, jadikan Allah sebagai alasan dan tujuan agar keberkahan selalu mengiringi kehidupan (Sitta, 2020).

Tak usah mempertanyakan perihal apa yang Allah kehendaki pada diri, karena rencana-Nya jauh lebih indah dari apa yang kita duga (Sitta, 2020).

Perjuangan dalam hidup bukan untuk diakhiri dan disesali, namun perjuangan dalam hidup untuk diselesaikan dan dimenangkan (Sitta, 2020).

PERSEMBAHAN

Untuk Kedua Orang Tuaku

Kakak-Kakakku

Keluarga Besarku

Dr. Upik Nurbaiti, M.Si.

Bapak-Ibu Dosen

Sahabat-Sahabatku

Teman-Temanku

Almamaterku

PRAKATA

Bismillahirrohmanirrohim,

Dengan membaca hamdallah “*alhamdulillahirobbil’alamin*”, puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Sholawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Baginda Rosulullah SAW beserta keluarga, sahabat dan para pengikutnya hingga akhir zaman. *Aamiin.*

Alhamdulillahirobbil’alamin, tak henti-hentinya penulis bersyukur kepada Tuhan yang Maha *Ar-rohman* dan *Ar-rohim* sehingga dengan segala kendala di masa pandemi COVID-19 ini akhirnya penulis diizinkan-Nya untuk menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “**Sintesis Forsterit dari Pasir Pantai Parangkusumo dengan Variasi Waktu Pencampuran Menggunakan Metode Ultrasonikasi**”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana Strata Satu pada Program Studi Fisika Jurusan Fisika Univeritas Negeri Semarang.

Terselesainya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orang tuaku. Ayahku tercinta Bapak Moh. Ghozali (alm) terimakasih untuk kasih sayang yang tak pernah hilang meski alam telah memisahkan. Ibuku tersayang Ibu Rosidah terimakasih atas segala perjuangan tanpa lelah yang telah diberikan sehingga anak-anaknya mendapatkan kenikmatan pendidikan, atas do’a dan nasihat serta restu yang selalu mengiringi langkah kehidupan anaknya.
2. Keluarga besarku. Nenekku yang tak pernah lupa menyebut namaku disetiap doanya, kakak-kakakku, paman dan tanteku yang dengan ikhlas memberikan dukungan baik moril maupun materil, ponakan-ponakanku yang menjadi penghibur dikala lelahku.

3. Dr. Upik Nurbaiti, M.Si. selaku dosen pembimbing yang membimbing dengan penuh kesabaran, tanpa lelah mengingatkan, memberikan arahan, masukan, saran dan motivasi meski ditengah pandemic dengan segala kendala pertemuan.
4. Prof. Dr. Sutikno, M.T. selaku dosen wali yang telah memberikan arahan selama masa perkuliahan.
5. Asisten laboratorium Fisika: Rodhotul Muttaqin, S.Si., Natalia Erna S., S.Pd., dan Wasi Sakti Wiwit Prayitno, S.Pd. yang telah membantu jalannya penelitian.
6. Teman-temanku di lab magnetic, Isna teman sebimbingan yang telah membantu dan menemani dalam penelitian, Salsa dan Karima yang telah menemani dan menyemangati.
7. Adek-adek forsterit grup, Anes, Nisa, Anggita, Hendra, Venny dan Galuh yang telah membantu dalam penelitian.
8. Sahabat Semarangku, Mb Muna, Defi, Yuvita, Adhe, Lili, Fannie, Indah yang berkenan menjadi teman keluh kesah.
9. Sahabatku dari kampus Jogja, Putri yang tak lelah menjadi teman diskusi.
10. Teman-teman Fisika 2016, terimakasih telah menorehkan warna di bangku perkuliahan.
11. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih atas segala dukungan dan bantuannya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dikarenakan keterbatasan yang dimiliki penulis. Segala saran dan kritik akan dijadikan evaluasi yang sangat berharga bagi penulis demi menyempurnakan penelitian ini. Penulis berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan bagi pembaca sekalian serta menjadi sumbangsih bagi kemajuan dunia riset Indonesia.

Semarang, Juli 2020

Penulis

ABSTRAK

Arofah, Sitta Khusniati. (2020). *Pembuatan Forsterit dari Pasir Pantai Parangkusumo dengan Variasi Waktu Pencampuran Menggunakan Metode Ultrasonikasi*. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing utama Dr. Upik Nurbaiti, M.Si.

Kata Kunci: Pasir alam, Silika amorf, Forsterit, Ultrasonikasi

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dengan jumlah pulau 17.504. Seiring dengan banyaknya pulau, Indonesia memiliki cadangan pasir alam terutama pasir pantai yang melimpah. Salah satu kandungan pasir alam yaitu silika yang memiliki kadar cukup besar di beberapa pasir alam di Indonesia. Silika yang telah dibuat dapat menjadi bahan dalam pembuatan forsterit. Tujuan dari penelitian ini yaitu mensintesis silika dari pasir Pantai Parang Kusumo sehingga menghasilkan silika amorf dengan kadar yang tinggi dan pembuatan forsterit dari silika amorf hasil sintesis menggunakan metode ultrasonikasi. Sintesis silika pada penelitian ini menggunakan metode kopresipitasi menghasilkan persentase silika 88.24 %(berat/mol) dari persentase silika awal 65.37 %(berat/mol). Pembuatan forsterit dilakukan dengan mencampurkan silika amorf dan magnesia dengan perbandingan mol 1:2 serta menambahkan PVA sebanyak 3%. Ultrasonikasi dilakukan dengan variasi waktu 1, 2 dan 3 jam. Kemudian dikalsinasi pada suhu 950° selama 4 jam waktu tahan. Forsterit dikarakterisasi dengan menggunakan FTIR, XRD, dan SEM. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa ketiga sampel tersebut berukuran jauh lebih kecil dari 5 µm dengan fasa forsterit sebesar 44.8%, 52.0%, dan 57.7% untuk variasi waktu ultrasonikasi selama 1, 2 dan 3 jam secara berturut-turut serta terdapat fasa lain yaitu periclas, enstatite dan kristobalit. Hasil variasi waktu ultrasonikasi menunjukkan persentase forsterit optimum pada waktu ultrasonikasi 3 jam.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
PENGESAHAN.....	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	iv
PRAKATA	v
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan dan Manfaat	3
1.3 Sistematika Penulisan Skripsi.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 Silika.....	6
2.1.1 <i>Proses Asam</i>	8
2.1.2 <i>Kopresipitasi</i>	9
2.2 Forsterit.....	9
2.3 Metode Ultrasonikasi	12
BAB III METODE PENELITIAN	14
Preparasi Bahan Baku Pasir	14
Sintesis Silica Amorf	15
Sintesis Forsterit	15
Karakterisasi	15
1. Karakterisasi XRF	16
2. Karakterisasi FTIR.....	16
3. Karakterisasi XRD	16
4. Karakterisasi SEM	16
Diagram Alir Penelitian	17

1.	Diagram Alir Preparasi bahan baku pasir.....	17
2.	Diagram Alir Sintesis Silika	18
3.	Diagram Alir Sintesis Forsterit	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		20
4.1	Hasil Pemurnian Silika dari Pasir Alam.....	20
4.2	Hasil Sintesis Serbuk Forsterit.....	23
4.2.1	<i>Analisis Gugus Fungsi</i>	23
4.2.2	<i>Analisis Komposisi Fasa</i>	26
4.2.3	<i>Analisis Mikrografi</i>	29
BAB V PENUTUP		32
5.1	Kesimpulan	32
5.2	Saran.....	32
DAFTAR PUSTAKA		33
LAMPIRAN		38

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Hasil uji XRF: persentase komposisi oksida pada pasir Pantai Parangkusumo sebelum dan disintesis.....	21
Tabel 4.1. Sebaran peak pada pola FTIR sampel FPK1, FPK2 dan FPK3.....	26
Tabel 4.3. Persentase fasa pada sampel FPK1, FPK2 dan FPK3.....	28

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Beberapa Bentuk Unit Kristal	6
Gambar 2.2 Struktur Lokal Silikon Dioksida	6
Gambar 2.3 Sudut Ikatan Si-O-Si	7
Gambar 2.4 Struktur unit sel ortorombik forsterit α -Mg ₂ SiO ₄	10
Gambar 2.5 Diagram fasa MgO-SiO ₂	10
Gambar 3.1 Diagram alir persiapan sintesis bahan baku pasir	17
Gambar 3.2 Diagram alir sintesis silika	18
Gambar 3.3 Diagram alir sintesis forsterit	19
Gambar 4.1 Lokasi pengambilan sampel.....	20
Gambar 4.2 Pola FTIR serbuk silika hasil pemurnian pasir Pantai Parangkusumo	22
Gambar 4.3 Citra SEM serbuk silika hasil pemurnian pasir Pantai Parangkusumo	23
Gambar 4.4 Pola FTIR dari serbuk MgO, Silika-amorf dan Forsterit.....	24
Gambar 4.5 Pola FTIR sampel FPK1, FPK2 dan FPK3.....	25
Gambar 4.6 Pola difraksi XRD sampel FPK1, FPK2 dan FPK3.....	27
Gambar 4.7 (a) Citra SEM sampel FPK1.....	29
Gambar 4.7 (b) Citra SEM sampel FPK2.....	30
Gambar 4.7 (c) Citra SEM sampel FPK3.....	30

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang memiliki 5 pulau besar dan 4 kepulauan. Menurut Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dalam Buku Informasi Statistik 2017, secara keseluruhan Indonesia memiliki 17.504 pulau. Seiring dengan banyaknya pulau, Indonesia memiliki cadangan pasir alam terutama pasir pantai yang melimpah. Kandungan dalam pasir pantai sangat beragam. Penelitian sebelumnya telah dikaji kandungan dalam pasir pantai dari beberapa pantai di Indonesia, salah satu kandungannya yaitu silika dengan kadar yang cukup tinggi. Pasir pantai Purus Kota Padang memiliki kandungan silika sebesar 71,701 % (Hayati and Astuti, 2015), kandungan silika dari pasir pantai Pulau Sebatik Kalimantan Utara sebesar 95,35% (Nirwana, Alimuddin, 2018).

Pemurnian silika dari berbagai pantai di Indonesia telah banyak dilakukan, baik pemurnian dari pasir pantai dengan kadar silika pasir yang cukup tinggi > 70% (Munasir *et al.*, 2013) (Nirwana, Alimuddin, 2018) (Hayati and Astuti, 2015) juga dari pasir pantai dengan kadar silika awal < 50% (Naat, J. dalam (Pingak, Johannes and Lapono, 2018)). Penelitian ini menggunakan pasir Pantai Parangkusumo sebagai *starting material*. Pemilihan pasir Pantai Parangkusumo didasari pada dugaan bahwa pada pasir tersebut memiliki kandungan silika yang cukup baik dikarenakan Pantai Parangkusumo terletak dekat dengan Gunung Merapi, dimana Gunung Merapi pernah mengalami erupsi sehingga diduga Pasir Pantai Parangkusumo juga terbentuk dari aktivitas Gunung Merapi tersebut. Pasir vulkanik Gunung Merapi memiliki kandungan silika yang cukup tinggi (Sulistiyani, Priyambodo and Yogantari, 2015) untuk dapat dimurnikan sehingga menghasilkan kemurnian tinggi pula. Hasil pengujian XRF pasir Pantai Parangkusumo menunjukkan bahwa kandungan silika pada pasir sebesar 65.37%, angka tersebut dirasa cukup baik untuk dapat menghasilkan silika dengan

kemurnian yang tinggi mengingat penelitian yang dilakukan oleh Naat, J. (Pingak, Johannes and Laponi, 2018) menggunakan pasir dengan kadar silika awal 32,9% dan setelah dimurnikan menghasilkan kadar silika 97,8%.

Pemurnian silika dari pasir alam dapat dilakukan dengan berbagai metode pemurnian. Beberapa metode pemurnian silika yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya antara lain pemurnian pasir Bancar menggunakan metode basah dari kandungan silika awal 76, 80% menghasilkan kemurnian (%Wt Si) 95,7% (Munasir *et al.*, 2013), pemurnian silika menggunakan metode purifikasi (*leaching*) pada pasir kuarsa Desa Pasir Putih Kecamatan Pamona Selatan Kabupaten Poso menghasilkan kemurnian silika tertinggi sebesar 99,90% (Darwis, Khaeroni and Iqbal, 2017), pemurnian silika dari pasir pantai Pulau Sebatik Kalimantan Utara menghasilkan kemurnian 96,45% dari kandungan silika awal 95,35% (Nirwana, Alimuddin, 2018), pemurnian silika dari pasir Takari dengan metode kopresipitasi menghasilkan kemurnian 97,8% dari kandungan awal silika sebesar 32,9% (Naat, J. dalam (Pingak, Johannes and Laponi, 2018)). Keberhasilan Naat, J. dalam memurnikan silika dari kadar awal 32,9% dengan metode kopresipitasi menjadi landasan dalam penelitian ini untuk melakukan pemurnian silika dengan metode yang sama dengan bahan pasir yang berbeda.

Silika dan magnesia dapat bereaksi membentuk forsterit (Mg_2SiO_4), enstatit ($Mg_2(Si_2O_6)$), klinoenstatit ($MgSiO_3$) dan protoenstatit ($MgSiO_3$) (Dewa *et al.*, 2015). Forsterit (Mg_2SiO_4) memiliki sifat konduktivitas listrik yang sangat rendah (Lin *et al.*, 2008), ekspansi termal yang rendah, stabilitas kimia yang tinggi dan *fracture toughness* yang tinggi sehingga baik digunakan sebagai implan tulang (Fathi and Kharaziha, 2008). Forsterit juga memiliki biokompaktibilitas yang tinggi, sifat mekanik yang bagus sehingga banyak digunakan dalam bidang kesehatan (Ando *et al.*, 2007). Selain bidang kesehatan forsterit juga sangat berpotensi diaplikasikan dalam segala bidang kehidupan seperti industri elektronik, komunikasi, dan refraktori (Nurbaiti, Arofah and Khumaedi, 2019). Potensi pemanfaatan forsterit dalam berbagai bidang tersebut yang menjadi pertimbangan peneliti sehingga hasil pemurnian silika dalam penelitian ini digunakan sebagai bahan pembuatan forsterit.

Sintesis forsterit dengan menggunakan metode sol-gel dihasilkan forsterit sebesar 90,5 %wt dengan rata-rata ukuran kristal sebesar 53 nm (Su'ud and Pratapa, 2015). Sintesis forsterit dengan variasi waktu aktivasi mekanik menunjukkan bahwa penambahan waktu aktivasi mempengaruhi terbentuknya fasa forsterit. Penambahan waktu aktivasi akan menambah terbentuknya presentase berat forsterit. Analisis komposisi fasa menggunakan metode RIR (*Reference Intensity Ratio*) menunjukkan peningkatan presentase berat forsterit yaitu mencapai 62,1%wt pada aktivasi maksimum 3 jam (Amalina and Pratapa, 2015). Sintesis forsterit dengan variasi waktu *milling* 5 jam, 10 jam, 20 jam, dan 40 jam menyebabkan perubahan pada ukuran butir. Ukuran butir berturut-turut yaitu sebesar 630 nm, 717 nm, 454 nm, 354 nm (Firmansari, Ratnawulan and Fauzi, 2016). Metode lain pencampuran silika dan magnesia pada sintesis forsterit yang dirasa cukup efisien yang bisa dilakukan yaitu metode ultrasonikasi (S, Sutarno and Suyanta, 2017) dengan memanfaatkan getaran yang dihasilkan dari gelombang ultrasonik tersebut. Selanjutnya dikalsinasi pada suhu 950°C yang merupakan suhu yang cukup efisien yang telah berhasil digunakan dalam mensintesis forsterit (Nurbaiti *et al.*, 2018).

Dari uraian di atas, penelitian tugas akhir ini melakukan pemurnian silika dari pasir Pantai Parangkusumo dengan menggunakan metode kopresipitasi dan hasil pemurnian silika tersebut digunakan sebagai bahan pembuatan forsterit dengan menggunakan metode ultrasonikasi dalam pencampuran antara silika dan magnesia dan menggunakan suhu kalsinasi 950°C.

1.2 Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan dan Manfaat

Pada pemurnian silika dari pasir pantai, peneliti pastinya mengharapkan untuk dapat menghasilkan silika dengan kemurnian yang tinggi. Penelitian ini menggunakan pasir Pantai Parangkusumo yang memiliki kandungan silika 65.37%. Peneliti ingin mengetahui apakah pasir Pantai Parang Kusumo dengan kandungan silika 65.37% dapat dimurnikan sehingga menghasilkan silika dengan kemurnian yang tinggi. Kemudian, hasil pemurnian silika digunakan sebagai bahan pembuatan forsterit. Pembuatan forsterit pada penelitian ini menggunakan metode ultrasonikasi karena dirasa lebih efisien dari metode yang lain. Peneliti

ingin mengetahui bagaimana pengaruh waktu ultrasonikasi terhadap kehomogenitas *starting material* dalam pembuatan forsterit tersebut.

Batasan masalah pada penelitian tugas akhir ini terfokus pada identifikasi unsur pada pasir Pantai Parangkusumo yang dilakukan dengan pengujian menggunakan XRF, FTIR dan SEM untuk hasil pemurnian silika dari pasir Pantai Parangkusumo, dan pengujian forsterit dari campuran silika hasil pemurnian pasir Pantai Parangkusumo dan magnesia dari merk dengan menggunakan XRD, FTIR dan SEM.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui perlakuan pada pemurnian pasir Pantai Parangkusumo terhadap kemurnian silika dan untuk mengetahui pengaruh waktu ultrasonikasi dalam pembuatan forsterit berbahan silika hasil pemurnian tersebut.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi dalam pemanfaatan pasir pantai agar memiliki nilai ekonomis yang tinggi dan produk hasil dapat diaplikasikan pada berbagai bidang.

1.3 Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika penulisan skripsi ini disusun dengan tujuan agar pokok-pokok masalah yang dibahas dapat runtut, terarah dan jelas. Sistematika skripsi ini terdiri dari tiga bagian, yaitu: bagian awal, bagian isi dan bagian akhir. Bagian awal skripsi berisi halaman judul, halaman persetujuan pembimbing, halaman pengesahan, halaman pernyataan, halaman motto dan persembahan, kata pengantar, halaman abstrak, daftar isi, daftar tabel, dan daftar gambar. Bagian isi skripsi terdiri dari 5 (lima) bab yang meliputi :

1. Bab 1 Pendahuluan

Bab ini memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan skripsi.

2. Bab 2 Kajian Pustaka

Bab ini terdiri dari kajian mengenai landasan teori dan tinjauan hasil penelitian-penelitian terdahulu sebagai landasan yang diterapkan dalam

skripsi dan pokok-pokok bahasan yang terkait dalam pelaksanaan penelitian.

3. Bab 3 Metode Penelitian

Bab ini menguraikan metode penelitian yang meliputi: waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan penelitian, dan prosedur penelitian.

4. Bab 4 Hasil Penelitian dan Pembahasan

Bab ini berisi tentang pelaksanaan penelitian, hasil penelitian yang dilakukan dan pembahasan terhadap hasil penelitian.

5. Bab 5 Penutup

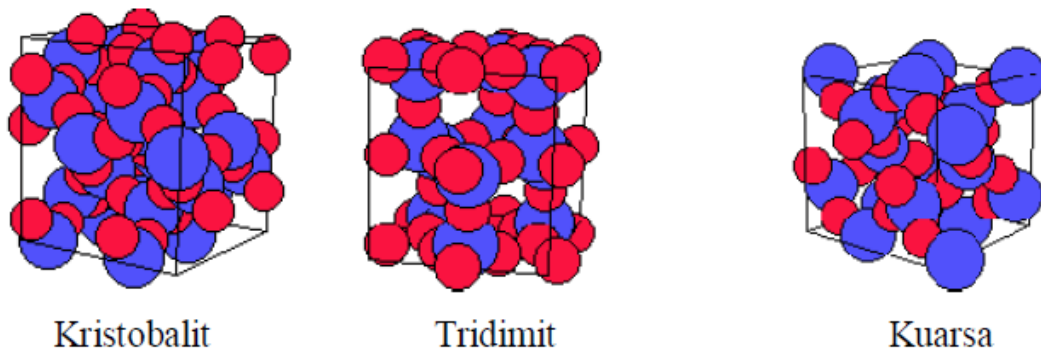
Bab ini berisi tentang kesimpulan hasil penelitian dan saran-saran sebagai implikasi dari hasil penelitian.

Bagian akhir skripsi berisi daftar pustaka dan lampiran-lampiran yang melengkapi uraian pada bagian isi skripsi.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

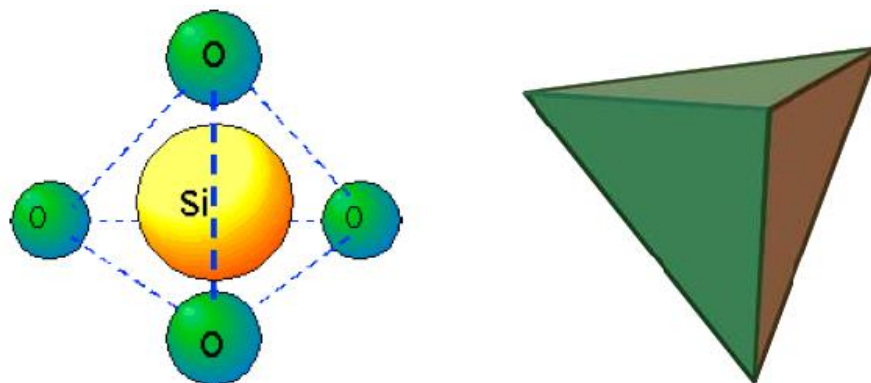
2.1 Silika

Silika adalah senyawa hasil polimerisasi asam silikat, yang tersusun dari rantai satuan SiO_4 tetrahedral dengan formula umum SiO_2 . Di alam senyawa silika ditemukan dalam beberapa bahan alam, seperti pasir, kuarsa, gelas, dan sebagainya. Silika sebagai senyawa yang terdapat di alam berstruktur kristalin, sedangkan sebagai senyawa sintetis adalah amorf (Sulastri and Kristianingrum, 2010). Sebagai kristal, muncul dalam sembilan fase kristal yang berbeda, dengan tiga polimorfisme paling dominan, yaitu kuarsa, tridimit, dan kristobalit. (Dewa *et al.*, 2015).



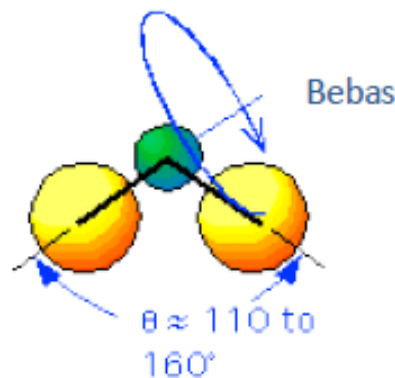
Gambar 2.1 Beberapa Bentuk Unit Kristal

Silika terbentuk melalui ikatan kovalen yang kuat, serta memiliki struktur lokal yang jelas, empat atom oksigen terikat pada posisi sudut tetrahedral di sekitar atom pusat yaitu atom silikon.



Gambar 2.1 Struktur Lokal Silikon Dioksida

Sudut ikatan di sekitar O-Si-O merupakan sudut tetrahedral yaitu sebesar 109° , jarak antara atom Si-O sebesar $1,61 \text{ \AA}$ ($0,16 \text{ nm}$). Silika memiliki ikatan yang disebut “jembatan” oksigen yang terdapat diantara atom silikon, hal inilah yang memberikan sifat unik pada silika. Sudut ikatan pada Si-O-Si sekitar 145° , tetapi nilai ini sangat bervariasi antara $100\text{-}170^\circ$ yang dipengaruhi oleh perubahan energi ikatan, Sehingga sangat memungkinkan terjadinya rotasi ikatan secara bebas (Sunarya, 2019).



Gambar 2.3 Sudut Ikatan Si-O-Si (Sunarya, 2019)

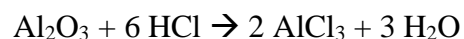
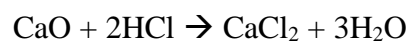
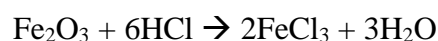
Silika (SiO₂) telah dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi. Pemanfaatan silika yang paling familiar dan komersial adalah selain sebagai bahan utama industri gelas dan kaca juga untuk bahan baku pembuatan sel surya. Pemanfaatan silika dan kalsium yang dibuat nanokomposit menjadi kandidat bahan bioaktif yang menjanjikan untuk aplikasi perbaikan jaringan tulang. Pemanfaatan lain silika orde nano untuk aplikasi di industri yang berkaitan dengan produksi pigmen, *pharmaceutical*, keramik, dan katalis (Munasir *et al.*, 2013).

Metode sintesis silika sangat beragam, untuk sampai pada skala nano memerlukan perlakuan khusus, yaitu menggunakan beberapa metode seperti metode *sol-gel process*, metode *gas phase process*, metode kopresipitasi, metode *emulsion techniques*, dan metode plasma *spraying & foging process* (polimerisasi silika terlarut menjadi organo silika) (Hayati and Astuti, 2015).

Penelitian sebelumnya telah melakukan sintesis silika dengan metode kopresipitasi dari bahan pasir alam Bancar yang direaksikan dengan NaOH 5M, 6M, 7M menghasilkan kemurnian tertinggi pada reaksi dengan NaOH 7M dengan rata-rata 95,33% (Hadi, Munasir and Triwikantoro, 2011). Pemurnian silika dengan metode purifikasi (*leaching*) dengan variasi waktu *milling* selama 2-5 jam menghasilkan kemurnian yang semakin meningkat seiring dengan lamanya waktu *milling*, kemurnian tertinggi yaitu pada waktu *milling* 5 jam dengan kemurnian 99,90% (Darwis, Khaeroni and Iqbal, 2017).

2.1.1 Proses Asam

Penelitian tugas akhir ini menggunakan pasir alam sebagai bahan baku. Kandungan dalam pasir alam sangat beragam, namun penelitian ini hanya membutuhkan silika sebagai bahan pembuatan forsterit. Untuk itu perlu dilakukan pemurnian pasir untuk menghilangkan oksida pengotor dalam pasir sehingga menghasilkan silika murni. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menghilangkan pengotor yang berupa oksida logam dalam pasir yaitu dengan proses asam. Proses asam dilakukan dengan merendam pasir pada larutan asam, salah satu asam yang sering digunakan yaitu HCl. Larutan HCl tersebut akan bereaksi dengan oksida logam dalam pasir seperti Na, Mg, Al, K, Ca, dan Fe, namun karena sifat SiO₂ yang tidak reaktif dengan semua asam kecuali asam fluorida sehingga tidak mengurangi kadar SiO₂ yang terkandung di dalamnya. (Meyori, Elvia and Candra, 2018). Beberapa contoh reaksi kimia yang dapat muncul selama pelarutan dengan asam klorida adalah sebagai berikut:



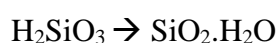
(Batu, 2012)

2.1.2 Kopesipitasi

Kopesipitasi merupakan salah satu metode sintesis silika salah satunya dengan mereaksikan sampel dengan NaOH sehingga membentuk sodium silikat (Na_2SiO_3). Reaksi yang terjadi pada proses pembentukan sodium silikat adalah sebagai berikut:

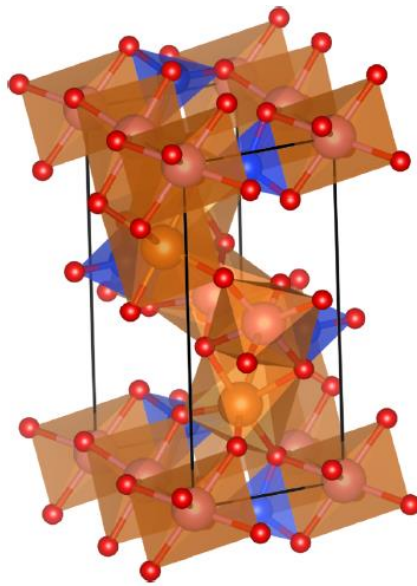


Peleburan pada suhu tinggi mengakibatkan NaOH meleleh dan terdisosiasi sempurna membentuk ion Na^+ dan ion OH^- . Elektronegativitas atom O yang tinggi pada SiO_2 menyebabkan Si lebih elektropositif dan terbentuk intermediet $[\text{SiO}_2\text{OH}]^-$ yang tidak stabil dan akan terjadi dehidrogenasi. Ion OH^- yang kedua akan berikatan dengan hidrogen membentuk molekul air dan dua ion Na^+ akan menyeimbangkan muatan negatif ion SiO_3^{2-} sehingga terbentuk natrium silikat (Mujiyanti, Nuryono and Kunarti, 2010). Kemudian larutan sodium silikat dititrasi dengan menggunakan HCl sehingga membentuk endapan putih yang merupakan silika hidrosol. Penambahan larutan HCl berfungsi sebagai asam kuat yang akan menyebabkan terjadinya pertukaran ion Na^+ dan H^+ menghasilkan suatu padatan berbentuk gel yang akhirnya memisahkan partikel dari silika yang terikat dengan molekul air yaitu silika hidrosol atau asam silikat (H_2SiO_3). Pemanasan pada silika hidrosol mengakibatkan dehidrasi sehingga terbentuk silika (Heriyanti *et al.*, 2019). Reaksi pembentukan pada proses tersebut adalah sebagai berikut:

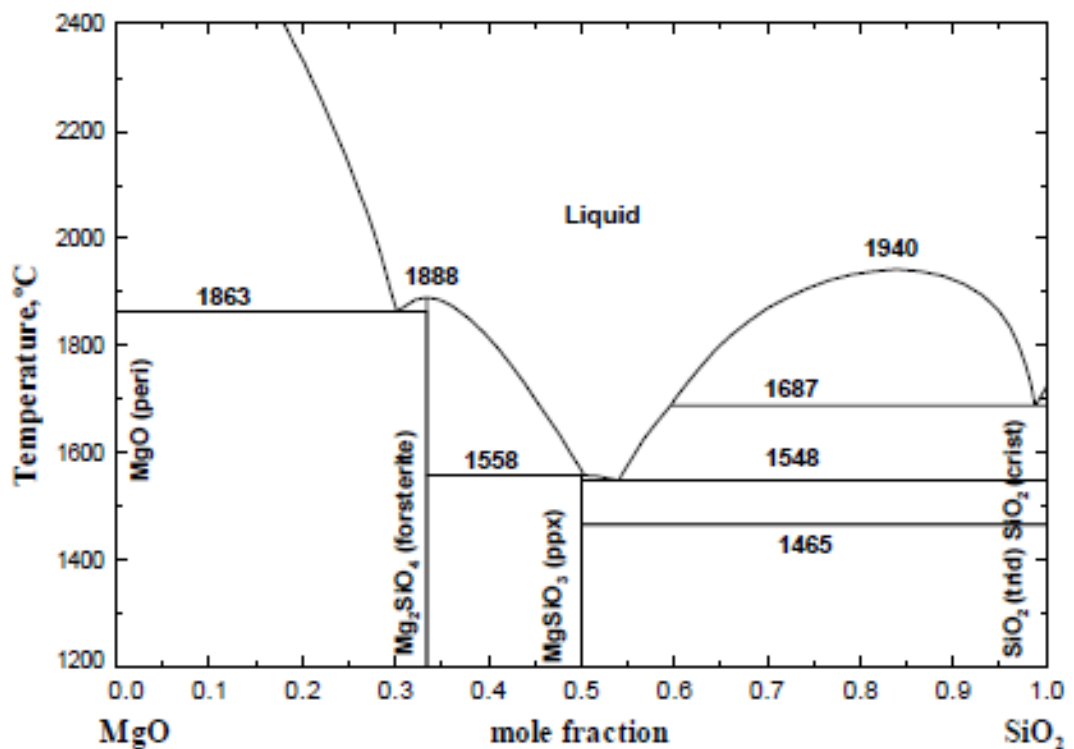


2.2 Forsterit

Forsterit adalah sebuah kristal *magnesium silicate* dengan rumus kimia Mg_2SiO_4 yang berasal dari grup mineral *olivine*. Forsterit merupakan senyawa kimia dengan *space group* Pbnm (*synthetic*) dan kekisi Bravais ortorombik serta parameter-parameter kekisi $a = 4.7540$ $b = 10.1971$ $c = 5.9806$ $Z = 4$ (www.handbookofmineralogy.org). Forsterit (Mg_2SiO_4) adalah sebuah fasa dari sistem SiO_2 - MgO dengan struktur kristal orthorombik (Su'ud and Pratapa, 2015).



Gambar 2.4 Struktur unit sel ortorombik forsterit α - Mg_2SiO_4 . Atom oksigen berwarna merah, atom magnesium berwarna coklat, dan atom silikon berwarna biru. SiO_4 tetrahedra dan MgO_6 octahedra juga ditampilkan dalam warna coklat dan biru. (Erba et al., 2015)

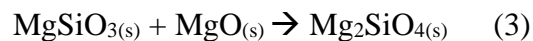
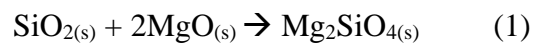


Gambar 2.5 Diagram fasa MgO-SiO_2 (Jung, Deckerov and Pelton, 2005)

Pembentukan fase pada sistem MgO-SiO₂, dipengaruhi oleh perubahan temperatur dan komposisi magnesia-silika yang dapat dilihat pada Gambar 2.5. Dalam rentang suhu 1200-1863 °C terjadi pembentukan forsterit, enstatit, dan periklas. Dengan sekitar 0.34 fraksi mol SiO₂ dan 0.66 fraksi mol MgO akan terbentuk forsterit hingga temperature 1863 °C sedangkan enstatit terbentuk dengan 0.5 fraksi mol SiO₂ dan 0.5 fraksi mol MgO hingga temperature 1558 °C.

Selama berlangsungnya proses sintering, fosteritisasi berlangsung melalui tahap dehidrasi, reorganisasi kation, pembentukan forsterit dan enstantit. Pada tahap dehidrasi, terjadi pelepasan gugus hidroksil dan pembentukan fasa oksida dimana serpentin dan magnesit terurai menjadi MgO dan SiO₂. Pada tahap reorganisasi kation, terjadi pemisahan kation seiring meningkatnya suhu sintering dan pada fasa stabil MgO-SiO₂ terbentuk forsteri dan sedikit enstantit sedangkan MgO yang berlebih akan membentuk periklas (Jorena, Kaban and Bama, 2018).

Mekanisme reaksi padat dalam pembentukan dari campuran MgO dan SiO₂ adalah:



(Kholifatunnisa and Pratapa, 2015)

Enstantit terbentuk pada suhu sintering 1000°C, awalnya MgO berdifusi ke permukaan SiO₂ untuk membentuk enstantit (Tavangarian and Emadi, 2010) dan difusi berlanjut melalui lapisan enstantit untuk membentuk forsterit. Sampai pemanasan 1200°C silika amorf atau MgSiO₃ (enstantit) bereaksi dengan MgO, sehingga Mg₂SiO₄ (forsterit) muncul sebagai fase tunggal (Fathi and Kharaziha, 2008)

Forsterit memiliki biokompaktibilitas yang tinggi, sifat mekanik yang bagus sehingga, banyak digunakan dalam bidang kesehatan (Fathi and Kharaziha, 2008). Forsterit meleleh pada temperatur 1890°C sehingga biasanya digunakan sebagai bahan refraktori pada temperatur tinggi (Douy, 2002).

Polivinil alkohol (PVA) dengan rumus molekul $-\text{[CH}_2\text{-CH(OH)-]}_n-$ merupakan salah satu jenis polimer hidrofilik yang tidak toksis, tidak larut dalam

air, dan larut dalam air panas $> 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada batas konsentrasi $< 20\%$ (b/v) (Erizal and C, 1998). Sebagai bahan aditif dalam proses sintesis, PVA mempunyai fungsi utama sebagai bahan perekat (Finch, 1983). Penambahan PVA sebagai bahan aditif juga dilakukan dalam sintesis forsterit (Widianto and Pratapa, 2013), (Nurbaiti, Kholifatunnisa and Pratapa, 2019).

Penelitian sebelumnya telah berhasil mensintesis mikroforsterit dari pasir Bancar dengan variasi suhu kalsinasi antara $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ menunjukkan suhu kalsinasi yang optimum yaitu $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Nurbaiti *et al.*, 2016). Pada penelitian lain, forsterit dapat dibuat pada suhu kalsinasi $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ yang menghasilkan persentase berat forsterit sebanyak 99,3% (Nurbaiti *et al.*, 2018). Merujuk pada penelitian sebelumnya, pada penelitian ini menggunakan suhu kalsinasi $950\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.3 Metode Ultrasonikasi

Ultrasonikasi adalah teknik penggunaan gelombang ultrasonik terutama gelombang akustik dengan frekuensi lebih besar dari 20 kHz. Metode ultrasonikasi memanfaatkan gelombang ultrasonik dimana generator listrik ultrasonik akan membuat sinyal listrik kemudian diubah menjadi getaran fisik atau gelombang ultrasonik sehingga memiliki efek sangat kuat yang disebut dengan efek kavitasi (Rusdiana, Hambali and Rahayuningsih, 2018). Metode ini memanfaatkan efek kavitasi yang dihasilkan dari gelombang ultrasonik yang merambat dalam medium cair (Ismayana *et al.*, 2017). Ketika gelombang ultrasonik menjalar pada fluida, terjadi siklus rapatan dan regangan. Tekanan negatif yang terjadi selama regangan menyebabkan molekul dalam fluida tertarik dan terbentuk kehampaan kemudian membentuk gelembung yang akan menyerap energi dari gelombang ultrasonik. Akibat energi yang diserap lebih besar dari energi yang keluar, gelembung memuai sampai ukuran kritis (ukuran resonan) yang bergantung pada fluida dan frekuensi suara. Dalam kondisi ini, gelembung tidak dapat lagi menyerap energi secara efisien. Tanpa energi input, gelembung tidak dapat mempertahankan dirinya, fluida di sekitarnya akan menekannya dan gelembung akan mengalami ledakan hebat, yang menghasilkan tekanan sangat

besar. Kondisi ekstrim tersebut menyebabkan terjadinya pemutusan ikatan kimia sehingga partikel menjadi lebih kecil. Gelembung inilah yang disebut sebagai gelembung kavitas (Kurniawan, Nikmatin and Maddu, 2012).

Pada pengembangan material nano dengan menggunakan metode ultrasonikasi, kavitas inilah yang digunakan sebagai reaktor pembentukan partikel, sehingga dengan mengendalikan berbagai parameter sonikasi yang akan mempengaruhi ukuran kavitas maka ukuran partikel yang dihasilkan juga dapat dikendalikan (Hapsari *et al.*, 2007). Selain itu, metode ultrasonikasi juga dapat digunakan sebagai alternatif pengadukan, penggetaran, dan pemanasan secara konvensional dengan energi yang rendah dan hasil yang efisien (S, Sutarno and Suyanta, 2017)

Pemanfaatan metode ultrasonikasi dalam pembuatan suatu material telah dilakukan pada penelitian-penelitian sebelumnya. Metode ultrasonikasi telah diteliti untuk mengetahui pengaruh lama ultrasonikasi terhadap ukuran partikel nano ekstrak bawang putih tunggal (*allium sativum l.*) (Wahyudi, Wijayanti and Harijono, 2018), metode ultrasonikasi digunakan dalam mensintesis nanopartikel serat kulit rotan (Safitri, 2012), dan juga digunakan untuk meneliti pengaruh waktu ultrasonikasi terhadap sintesis material *graphene* (Fikri and Dwandaru, 2016) (Junaidi and Susanti, 2014). Keberhasilan sintesis dengan menggunakan metode ultrasonikasi pada penelitian sebelumnya menjadi landasan pada penelitian ini untuk menggunakan metode yang sama dalam pencampuran antara silika dan magnesia pada pembuatan forsterit.

BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini telah dilaksanakan bulan Desember 2019 – April 2020 di Laboratorium Magnetik, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir alam Pantai Parangkusumo, akuades, HCl 2M, NaOH 7M, dan MgO dari merck. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan analitik, ayakan 200 mess, *ball miller*, gelas ukur, magnet, *magnetik stirrer*, kertas saring, alat titrasi, peralatan ultrasonik, oven, dan *furnace*.

Preparasi Bahan Baku Pasir

Pasir yang digunakan pada penelitian ini diambil dari Pantai Parangkusumo, pada titik pengambilan secara geografis terletak pada 8°01'20" LS dan 110°19'24" BT. Pasir yang telah diambil dicuci dengan air mengalir sebanyak 30 kali untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang terbawa bersama pasir. Kemudian pasir dikeringkan hingga kering. Pasir disiparasi magnet untuk menghilangkan kandungan Fe dalam pasir. Setelah kandungan Fe dalam sampel dirasa sudah menghilang, selanjutnya direduksi dengan menggunakan *ball miller* dengan perbandingan bola dan pasir yaitu 5:1 selama 8 jam. Pasir yang telah direduksi diayak dengan ayakan berukuran 200 mess. Hasil ayakan disiparasi magnet kembali untuk memastikan kandungan Fe pada pasir menghilang. Selanjutnya direndam dalam larutan HCl 2M selama 24 jam dengan perbandingan HCl:pasir yaitu 30:1 untuk mengurangi zat-zat pengotor berupa oksida logam yang terdapat dalam pasir (Meyori, Elvia and Candra, 2018). Penggunaan larutan HCl dalam proses ini dikarenakan sifat SiO₂ yang tidak reaktif terhadap semua asam, kecuali asam fluorida (HF) (Trivana, Sugiarti and Roharti, 2015). Selanjutnya residu disuci dengan akuades hingga pH mendekati netral. Kemudian disaring dan dikeringkan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan maka kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sintesis silika dari pemurnian pasir Pantai Parangkusumo telah berhasil dilakukan dengan peningkatan persentase kandungan silika dari 65.4% menjadi 88.24%.
2. Sintesis forsterit dengan menggunakan metode ultrasonikasi dari campuran silika hasil pemurnian pasir Pantai Parangkusumo dan magnesia komersial dari merk telah berhasil dilakukan. Hasil berupa serbuk dengan ukuran lebih kecil dari 5 μm dengan fasa forsterit sebesar 44.8%, 52.0%, dan 57.7% untuk variasi waktu ultrasonikasi selama 1, 2 dan 3 jam secara berturut-turut serta terdapat fasa lain yaitu periclas, enstatit dan kristobalit.
3. Hasil variasi waktu ultrasonikasi menunjukkan persentase forsterit optimum pada waktu ultrasonikasi 3 jam.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil karakterisasi serta uraian pembahasan pada tugas akhir ini perlu adanya saran untuk dapat mengembangkan penelitian selanjutnya yaitu perlu adanya perlakuan khusus agar dapat menghasilkan silika dengan kemurnian yang lebih tinggi dan perlu mempertimbangkan persentase kemurnian pada perbandingan antara magnesia dan silika untuk dapat menghasilkan fasa forsterit yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adziimaa, A. F., Risanti, D. D. and Mawarni, L. J. (2013) 'Sintesis Natrium Silikat dari Lumpur Lapindo sebagai Inhibitor Korosi', *JURNAL TEKNIK POMITS*, 1(1), pp. 1–6.
- Amalina, F. and Pratapa, S. (2015) 'Analisis Komposisi Fasa Keramik Forsterit dari Bahan Dasar Periklas dan Kristobalit dengan Metode RIR', *JURNAL SAINS DAN SENI ITS*, 4(2), pp. 57–59.
- Ando, M. *et al.* (2007) 'Synthesis of high-quality forsterite', *Japanese Journal of Applied Physics, Part 1: Regular Papers and Short Notes and Review Papers*, 46(10 B), pp. 7112–7116. doi: 10.1143/JJAP.46.7112.
- Batu, F. L. (2012) 'ANALISIS PENGARUH KONSENTRASI NaOH PADA PROSES BAYER TERHADAP EKSTRAKSI BIJIH NEPHELINE', in *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Darwis, D., Khaeroni, R. and Iqbal, I. (2017) 'Pemurnian dan Karakterisasi Silika Menggunakan Metode Purifikasi (Leaching) dengan Variasi Waktu Milling pada Pasir Kuarsa Desa Pasir Putih Kecamatan Pamona Selatan Kabupaten Poso', *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 6(2), pp. 187–193. doi: 10.22487/25411969.2017.v6.i2.8667.
- Delmifiana, B. and Astuti (2013) 'NANOPARTIKEL MAGNETIK YANG DISINTESIS DENGAN METODE KOPRESIPITASI', *Jurnal Fisika Unand*, 2(3).
- Dewa, E. *et al.* (2015) 'Enhancing the Value of Local Silica Sand from Bancar as a Fuel-Cell Sealing Material', *Advanced Materials Research*, 1112(July), pp. 262–265. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.1112.262.
- Douy, A. (2002) 'Aqueous Syntheses of Forsterite (Mg_2SiO_4) and Enstatite ($MgSiO_3$)', *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 24, pp. 221–228.
- Erba, A. *et al.* (2015) 'Structural and elastic anisotropy of crystals at high pressures and temperatures from quantum mechanical methods: The case of Mg_2SiO_4 forsterite', *Journal of Chemical Physics*, 142(20), pp. 1–12. doi: 10.1063/1.4921781.
- Erizal and C, R. (1998) 'KARAKTERISASI HIDROGEL POLI(VINIL ALKOHOL) (PVA) HASIL POLIMERISASIRADIASI', *Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi*, pp. 137–144.
- Fathi, M. H. and Kharaziha, M. (2008) 'Mechanically activated crystallization of phase pure nanocrystalline forsterite powders', *Materials Letters*, 62(27), pp. 4306–4309. doi: 10.1016/j.matlet.2008.07.015.

- Fikri, A. A. and Dwandaru, W. S. B. (2016) 'PENGARUH VARIASI KONSENTRASI SURFAKTAN DAN WAKTU ULTRASONIKASI TERHADAP SINTESIS MATERIAL GRAPHENE DENGAN METODE LIQUID SONIFICATION EXFOLIATION MENGGUNAKAN TWEETER ULTRASONICATION GRAPHITE OXIDE GENERATOR', *Jurnal Fisika Volume*, 5(3), pp. 188–197.
- Finch, C. A. (1983) 'SOME PROPERTIES OF POLYVINYL ALCOHOL AND THEIR POSSIBLE APPLICATIONS', *Chemistry and Technology of Water-Soluble Polymers*, pp. 287–288.
- Firmansari, V., Ratnawulan and Fauzi, A. (2016) 'PENGARUH WAKTU MILLING TERHADAP UKURAN BUTIR FORSTERITE (Mg_2SiO_4) DARI BATUAN DUNIT DI DAERAH JORONG TONGAR NAGARI AUR KUNING, KABUPATEN PASAMAN BARAT', *Phillar of Phyics*, 8, pp. 89–96.
- Hadi, S., Munasir and Triwikantoro (2011) 'Sintesis Silika Berbasis Pasir Alam Bancar menggunakan Metode Kopresipitasi', *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 7(2), p. 110202. doi: 10.12962/j24604682.v7i2.902.
- Hapsari, B. W. *et al.* (2007) 'SINTESIS NANOSFER BERBASIS FERROFLUID DAN POLY LACTIC ACID DENGAN METODE SONIKASI', *Jurnal Sains Material Indonesia*, 11(2), pp. 139–144.
- Hayati, R. and Astuti (2015) 'Sintesis Nanopartikel Silika Dari Pasir Pantai Purus Padang Sumatera Barat Dengan Metode Kopresipitasi', *Jurnal Fisika Unand*, 4(3), pp. 282–287.
- Heriyanti *et al.* (2019) 'Analisis Kandungan Silikon (Si) pada Batubara PT. Tambang Bukit Tambi Provinsi Jambi', *Jurnal of The Indonesian Society of Integrated chemistry*, 11(2), pp. 57–63.
- Hofmeister, A. M., Keppel, E. and Speck, A. K. (2003) 'Absorption and reflection infrared spectra of MgO and other diatomic compounds', *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 345, pp. 16–38.
- <https://eppid.pu.go.id/assets/vendors/ckfinder/userfiles/files/01.Buku%20Statistik%20PUPR/BIS%202017.pdf> diakses pada 7 Desember 2019 pukul 14.15
- <http://www.handbookofmineralogy.org/pdfs/forsterite.pdf> diakses pada 8 Desember 2019 pukul 10.37
- Ismayana, A. *et al.* (2017) 'Sintesis nanosilika dari abu ketel industri gula dengan metode ultrasonikasi dan penambahan surfaktan', *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 27(2), pp. 228–234. doi: 10.24961/j.tek.ind.pert.2017.27.2.228.

- Jorena, Kaban, H. and Bama, A. A. (2018) 'Uji Fisis dan Mekanik pada Desain Struktur Keramik Forsterite (Mg_2SiO_4) dengan Teknik Sintering (Solid State-Reaction)', *Jurnal Penelitian Sains*, 20(1).
- Junaidi, M. and Susanti, D. (2014) 'Pengaruh Variasi Waktu Ultrasonikasi dan dan Konduktivitas Listrik Material Graphene', *JURNAL TEKNIK POMITS*, 3(1), pp. 2337-3539 (2301-9271 Print).
- Jung, I., Decterov, S. A. and Pelton, A. D. (2005) 'Critical thermodynamic evaluation and optimization of the $CaO - MgO - SiO_2$ system', *Journal of the European Ceramic Society*, 25, pp. 313-333. doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2004.02.012.
- Kamalian, R. *et al.* (2012) 'Synthesis and characterization of bioactive glass/forsterite nanocomposites for bone and dental implants', *Ceramics - Silikaty*, 56(4), pp. 331-340.
- Kharaziha, M. and Fathi, M. H. (2009) 'Synthesis and characterization of bioactive forsterite nanopowder', *Ceramics International*, 35, pp. 2449-2454. doi: 10.1016/j.ceramint.2009.02.001.
- Kholifatunnisa, A. and Pratapa, S. (2015) 'Sintesis Keramik Komposit Berbasis Forsterit dengan Bahan Dasar Periklas dan Silika Amorf', *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(2), pp. 2337-3520.
- Kristianingrum, S. (no date) *HANDOUT SPEKTROSKOPI INFRA MERAH*.
- Kurniawan, D., Nikmatin, S. and Maddu, A. (2012) 'SINTESIS NANOPARTIKEL SERAT RAMI DENGAN METODE ULTRASONIKASI UNTUK APLIKASI FILLER BIONANOKOMPOSIT', *Jurnal Biofisika*, 8(2), pp. 34-41.
- Lin, L. *et al.* (2008) 'Luminescence properties of a new red long-lasting phosphor: $Mg_2SiO_4:Dy^{3+}, Mn^{2+}$ ', *Journal of Alloys and Compounds*, 455, pp. 327-330. doi: 10.1016/j.jallcom.2007.01.059.
- Meyori, F., Elvia, R. and Candra, I. N. (2018) 'KOPRESIPITASI DARI PASIR PANTAI PANJANG BENGKULU', *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*, 2(1), pp. 46-51.
- Mujiyanti, D. R., Nuryono and Kunarti, E. S. (2010) 'SINTESIS DAN KARAKTERISASI SILIKA GEL DARI ABU SEKAM PADI YANG DIIMOBILISASI DENGAN 3-(TRIMETOKSISILIL)-1-PROPANTHIOL', *Sains dan Terapan Kimia*, 4(2), pp. 150-167.
- Munasir *et al.* (2013) 'EKSTRAKSI DAN SINTESIS NANOSILIKA BERBASIS PASIR BANCAR DENGAN METODE BASAH', *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, 3(2), pp. 12-17.

- Nirwana, Alimuddin, E. (2018) 'Pemucat Untuk Menurunkan Kadar Asam Lemak Bebas Pada Cpo', in *Prosiding Seminar Nasional Kimia 2018*, p. 46.
- Nurbaiti, U. *et al.* (2016) 'Synthesis of microforsterite using derived-amorphous-silica of silica sands', *AIP Conference Proceedings*, 1725(April). doi: 10.1063/1.4945510.
- Nurbaiti, U. *et al.* (2018) 'Synthesis and characterization of silica sand-derived nano-forsterite ceramics', *Ceramics International*, 44(5), pp. 5543–5549. doi: 10.1016/j.ceramint.2017.12.198.
- Nurbaiti, U., Arofah, S. K. and Khumaedi (2019) 'Karakterisasi serbuk forsterit produk sintesis metode ultrasonik berbahan baku silika dari pasir Parang Kusumo', *Jurnal Fisika*, 9(2), pp. 80–85.
- Nurbaiti, U., Kholifatunnisa, A. and Pratapa, S. (2019) 'Synthesis of nano-crystalline forsterite based on amorphous silica powder from natural sand by mechanical activation method', *Journal of Physics: Conference Series*, 1170(1). doi: 10.1088/1742-6596/1170/1/012069.
- Pingak, R. K., Johannes, A. Z. and Lapon, L. A. S. (2018) 'Analisis Potensi Pasir Tablolong Dan Pasir Koka Sebagai Sumber Silika Menggunakan Uji Xrf Dan Xrd', *Jurnal Fisika : Fisika Sains dan Aplikasinya*, 3(3), pp. 132–136. doi: 10.35508/fisa.v3i3.614.
- Pratapa, S., Dwi, W. and Nurbaiti, U. (2017) 'Synthesis and characterization of high-density B₂O₃-added forsterite ceramics', *Ceramics International*. Elsevier, (February), pp. 0–1. doi: 10.1016/j.ceramint.2017.03.002.
- Prihantini, M. *et al.* (2019) 'KARAKTERISTIK FISIKA NANOPARTIKEL KITOSAN EKSTRAK ETANOL DAUN SUJI (*Pleomele angustifolia*) DAN UJI STABILITAS FISIKA MENGGUNAKAN METODE CYCLING TEST', *Jurnal Ilmu Farmasi dan Farmasi Klinik (JIFFK)*, 16(2), pp. 125–133.
- Rusdiana, I. A., Hambali, E. and Rahayuningsih, M. (2018) 'Pengaruh Sonikasi Terhadap Sifat Fisik Formula Herbisida yang Ditambahkan Surfaktan Dietanolamida', *Agroradix*, 1(2), pp. 34–41.
- S, M. M. F., Sutarno and Suyanta (2017) 'PENGARUH WAKTU SONIKASI SELAMA SINTESIS TERHADAP KRISTALINITAS MCM-41 BERBASIS SILIKAT', *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 5(2), pp. 58–66.
- Safitri, D. K. (2012) *Sintesis nanopartikel serat kulit rotan dengan metode ultrasonikasi*. Institut Pertanian Bogor.
- Su'ud, F. A. and Pratapa, S. (2015) 'Sintesis Forsterit dengan Metode Pencampuran Koloid Silika dari Pasir Alam dan Magnesium Klorida',

Jurnal Sains dan Seni ITS, 4(2), pp. 2337-3520 (2301–928X Print).

- Sulastri, S. and Kristianingrum, S. (2010) 'BERBAGAI MACAM SENYAWA SILIKA: SINTESIS, KARAKTERISASI DAN PEMANFAATAN', in *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*, pp. 211–216.
- Sulistiyani, Priyambodo, E. and Yogantari, L. (2015) 'SILICA PURIFICATION FORM MERAPI VOLCANO SAND AS PHOTOVOLTAIC RAW MATERIALS', *Jurnal Sains Dasar*, 4(2), pp. 122–127. doi: 10.21831/jsd.v4i2.9087.
- Sunarya, R. R. (2019) 'Struktur Padatan Silikon Dioksida'.
- Tavangarian, F. and Emadi, R. (2010) 'Synthesis of pure nanocrystalline magnesium silicate powder', *Ceramics - Silikaty*, 54(2), pp. 122–127.
- Trivana, L., Sugiarti, S. and Roharti, E. (2015) 'Sintesis Dan Karakterisasi Natrium Silikat (Na_2SiO_3) Dari Sekam Padi', *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 7(2), pp. 66–75.
- Wahyudi, C. T., Wijayanti, S. D. and Harijono (2018) 'Pengaruh Konsentrasi Media Penyalut dan lama Ultrasonikasi terhadap Ukuran Partikel dan Aktivitas Antioksidan nano Ekstrak Bawang Putih Tunggal (*Allium sativum* L.)', *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 6(3), pp. 8–17.
- Widianto, M. Y. H. and Pratapa, S. (2013) 'Stabilitas Sifat Fisik dan Fasa Komposit Pasir Silika–MgO Akibat Siklus Termal', *JURNAL SAINS POMITS*, 1(1), pp. 1–3.
- Widyabudiningsih, D. and Widiastuti, E. (2015) 'STUDI AWAL PENGAMBILAN KEMBALI ALUMINIUM DARI LIMBAH KEMASAN SEBAGAI ALUMINA', *Jurnal Fluida*, 11(1), pp. 40–44.