

**PENGARUH PERSENTASE PENAMBAHAN SiO₂ DAN VARIASI SUHU
SINTERING TERHADAP DENSITAS, POROSITAS, HARDNESS, STRUKTUR
KRISTAL DAN MORFOLOGI PADA KERAMIK SiC**

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Serjana Sains Bidang Studi Fisika**



Disusun Oleh:

**Luh Ayu Melinia
08021181722004**

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

INDRALAYA

2021

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PERSENTASE PENAMBAHAN SiO_2 DAN VARIASI SUHU
SINTERING TERHADAP DENSITAS, POROSITAS, HARDNESS, STRUKTUR
KRISTAL DAN MORFOLOGI PADA KERAMIK SiC**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Serjana Sains Bidang Studi Fisika


Oleh :

LUH AYU MELINIA
08021181722004

Pembimbing I

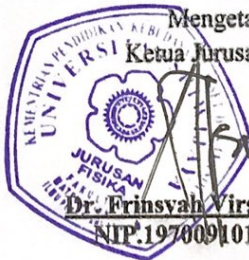

Dr. Ramlan
NIP.196604101993031003

Indralaya, Mei 2021
Pembimbing II


Anggito P. Tetuko, Ph.D
NIP.198111022006041003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T.
NIP.197009101994121001



**PENGARUH PERSENTASE PENAMBAHAN SiO₂ DAN VARIASI SUHU
SINTERING TERHADAP DENSITAS, POROSITAS, HARDNESS, STRUKTUR
KRISTAL DAN MORFOLOGI PADA KERAMIK SiC**

Luh Ayu Melinia

Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Sriwijaya

Jl. Raya Palembang - Prabumulih KM 32 Indralaya, Ogan Ilir

*corresponding author: luhayu1622@gmail.com

ABSTRAK

Pada penelitian ini dilakukan penambahan aditif SiO₂ pada keramik SiC untuk menurunkan suhu sintering dengan menghasilkan keramik yang optimal. Penambahan SiO₂ diberikan sebanyak 0, 0.5, 1 dan 1.5 (% massa). Bahan aditif ditimbang, dicampur dan digiling menggunakan *High Energy Milling* selama 30 menit. Kemudian di *sintering* pada suhu 850°C, 1000°C dan 1100°C. Hasil karakterisasi diperoleh komposisi 1,5% SiO₂ pada suhu 1100°C memiliki densitas sebesar 2.835 g/cm³ serta porositasnya sebesar 11,1 % dan kekerasannya sebesar 876,7 Hv. Hasil analisa XRD hanya ada dua fasa yang teridentifikasi, yakni moissanite (SiC) dan cristobalite (SiO₂). Ukuran kristal menurun dengan ditambahkan aditif SiO₂, namun pada sampel 1,5% SiO₂ dengan suhu 850°C terjadi aglomerasi sehingga ukuran kristal lebih besar. Bentuk dan ukuran butiran pada keramik tidak beraturan antara satu butiran dengan butir lainnya. Melalui gambar dengan perbesaran 5000x ukuran partikel SiC-SiO₂ yang didapatkan sekitar 1 µm sampai 7 µm.

Kata Kunci: keramik, SiC, SiO₂, *Sintering*, Struktur Kristal, Densitas, Porositas dan kekerasan.

THE EFFECT OF INCREASING THE PERCENTAGE OF SiO₂ AND TEMPERATURE VARIATION ON DENSITY, POROSITY, HARDNESS, CRYSTAL STRUCTURE AND MORPHOLOGY OF CERAMICS SiC

Luh Ayu Melinia

Department of Physics

Faculty of Mathematic and Natural Sciences

Sriwijaya University

Jl. Raya Palembang - Prabumulih KM 32 Indralaya, Ogan Ilir

*corresponding author: luhayu1622@gmail.com

ABSTRACT

In this study, the addition of SiO₂ additives to SiC ceramics was carried out to reduce the sintering temperature by producing optimal ceramics. The addition of SiO₂ was given as much as 0, 0.5, 1 and 1.5 (mass%). The additives were weighed, mixed and ground using High Energy Milling for 30 minutes. Then it was sintered at temperatures of 850°C, 1000°C and 1100°C. The characterization results showed that the composition of 1.5% SiO₂ at 1100°C had a density of 2.835 g/cm³ and a porosity of 11.1% and a hardness of 876.7 Hv. From XRD analysis, only two phases were identified, namely moissanite (SiC) and cristobalite (SiO₂). The crystal size decreased with the addition of SiO₂ additives, but the sample of 1.5% SiO₂ at a temperature of 850°C occurred agglomeration so that the crystal size was getting bigger. The shape and size of the grains in ceramics are irregular from one grain to another. Through an image with a magnification of 5000x the particle size of SiC-SiO₂, it is obtained about 1 μm to 7 μm.

Keywords: ceramics, SiC, SiO₂, Sintering, Crystal Structure, Density, Porosity and Hardness.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT karena berkat dan rahmatnya Skripsi yang berjudul “Pengaruh Persentase Penambahan SiO₂ dan Variasi Suhu Sintering Terhadap Densitas, Porositas, Hardness, Struktur Kristal dan Morfologi Pada Keramik SiC” ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Tugas akhir yang dilakukan di pusat penelitian fisika lembaga ilmu pengetahuan indonesia (LIPI) puspitek serpong ini, bertujuan untuk melengkapi persyaratan kurikulum guna memenuhi pengambilan mata kuliah wajib di jurusan fisika fakultas matematika dan ilmu pengetahuan alam universitas sriwijaya. Disamping itu, tugas akhir ini juga memperluas wawasan penulis mengenai Keramik SiC beserta bagaimana karakteristiknya yang baik dengan variasi komposisi bahan aditif yang digunakan.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya pada pihak – pihak yang membantu penulis dalam pelaksanaan kerja praktek ini terutama kepada dosen pembimbing I Bapak Dr. Ramlan, dosen pembimbing II Bapak Anggito P. Tetuko, Ph.D dan Alm Bapak Ir.Muljadi,M.Si yang telah banyak membantu dan memberi nasihat serta motivasinya pada penulis. Selain itu penulis juga mengucapkan terimakasih kepada pihak – pihak yang telah memberi bantuan, bimbingan,saran dan kritik diantaranya :

- Keluarga penulis, Ayah,Ibu dan Adik yang senantiasa memberikan dukungan dan do'a kepada penulis.
- Bapak Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
- Bapak Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
- Bapak Dr. Dedi Setiabudidaya selaku Pembimbing Akademik di Jurusan Fisika Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
- Bapak Dr. Dedi Setiabudidaya selaku penguji I, Ibu Dr. Fitri Suryani Arsyad, M.Si selaku penguji II dan Ibu Dra. Jorena, M.Si selaku penguji III yang telah memberikan kritik dan saran kepada saya dalam menyelesaikan tugas akhir.
- Bapak dan Ibu dosen yang telah memberikan ilmu selama saya menempuh Pendidikan Strata 1 di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

- Bapak Nabair (Babe) dan Kak David selaku staf tata usaha Jurusan Fisika yang telah banyak membantu dalam administrasi selama perkuliahan.
- Ibu Dr. Rike Yudianti, selaku Kepala Pusat Penelitian Fisika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).
- Seluruh staff Pusat Penelitian Fisika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) yang telah memberikan bantuan dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini, khususnya Ibu Ani, Pak Lukman, Pak Ibnu dan Mbak Jihan.
- Ibu Narno yang telah memberikan tempat tinggal untuk penulis saat melakukan Tugas Akhir.
- Teman-teman Fisika angkatan 2017 khususnya teman-teman kerja praktek (Siti Fatimah, Nurjanah, Suci, Milen, Diani, Cindy, Endah, Nanang, Marzuki, Cici, Nurrahmah dan Jihan) yang membuat Kerja Praktek ini lebih menarik.
- Rekan-rekan SMA saya, Selly JuliENZA, Yulan Tia Lorenza, Miranti dan lain-lain yang telah banyak membantu penulis dalam berbagai hal.
- Angga Dwi Putra selaku orang spesial saya yang telah banyak membantu saya
- Serta seluruh pihak terkait yang telah banyak membantu penulis dalam Tugas Akhir ini yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan dan keterbatasan penulis dalam menyelesaikan Skripsi ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan masukan baik saran maupun kritik yang sifatnya membangun.

Indralaya, Mei 2021

Luh Ayu Melinia
NIM. 08021181722004

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTAK	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Keramik.....	4
2.2. Silikon Karbida (SiC).....	5
2.3. Silikon Dioksida (SiO ₂).....	6
2.4. Proses Sintering.....	7
2.5. Densitas dan Porositas.....	8
2.6. Kekerasan.....	10
2.7. XRD	11
2.8. SEM.....	14
BAB III METODE PENELITIAN	16
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	16
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	16
3.2.1. Alat Penelitian	16
3.2.2. Bahan Penelitian	16
3.3. Variabel, Parameter dan Data	17
3.3.1. Variabel.....	17
3.3.2. Parameter	17
3.3.3. Data.....	17
3.4. Tahapan Penelitian	17
3.4.1. Proses Preparasi sampel.....	17

3.4.2. Proses Penimbangan dan Pencampuran.....	18
3.4.3. Proses Pencetakan Sampel.....	18
3.4.4. Proses Pengeringan Pellet.....	18
3.4.5. Pengujian Sampel	19
3.5. Pembuatan keramik SiC dengan Aditif.....	20
3.6. Karkterisasi	21
3.6.1. Karakterisasi Densitas Sampel	21
3.6.2. Karakterisasi Porositas Sampel.....	21
3.6.3. Karakterisasi Kekerasan	22
3.6.4. karakterisasi XRD.....	22
3.6.5 Uji SEM.....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Hasil Uji Densitas dan Porositas Terhadap Komposisi.....	24
4.2 Uji Kekerasan.....	27
4.3 Hasil Uji XRD (X-Ray Diffraction).....	29
4.4 SEM.....	40
BAB V PENUTUP	42
5.1 Kesimpulan	42
5.2 Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN I	47
LAMPIRAN II.....	48
LAMPIRAN III.....	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a) Susunan Atom Kristalin dan (b) Susunan Atom Amorf.....	4
Gambar 2.2 Struktur kristal dari SiC.....	6
Gambar 2.3 Transformasi struktur mikro saat disintering	7
Gambar 2.4 Hasil densitas keramik SiC dengan variasi aditif sintering.....	9
Gambar 2.5 Hasil porositas keramik SiC dengan komposisi aditif sintering	10
Gambar 2.6 Hasil kepadatan dan kekerasan sinter SiC dengan variasi aditif sintering..	11
Gambar 2.7 Peristiwa terjadinya difraksi sinar-X oleh bidang kristal	12
Gambar 2.8 Efek ukuran kristal terhadap pola difraksi	13
Gambar 2.9 Hasil uji XRD keramik SiC dengan komposisi aditif sintering	14
Gambar 2.10 Mikrostruktur keramik SiC + 5% SiO ₂ Pada Temperatur 900°C.....	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 4.1. Proses pembuatan keramik SiC; (a) <i>powder</i> SiC, (b) <i>powder</i> SiO ₂ , (c) setelah dimilling, (d) Pembentukan sampel, (e) sampel setelah pembakaran.....	23
Gambar 4.2 Grafik pengaruh penambahan komposisi aditif SiO ₂ dan kenaikan suhu sintering terhadap nilai densitas keramik SiC	25
Gambar 4.3 Grafik pengaruh penambahan komposisi aditif SiO ₂ dan kenaikan suhu sintering terhadap nilai porositas keramik SiC	26
Gambar 4.4 Grafik pengaruh penambahan komposisi aditif SiO ₂ dan kenaikan suhu sintering terhadap nilai Kekerasan keramik SiC.....	28
Gambar 4.5 Hasil XRD keramik SiC komposisi 0% SiO ₂ pada suhu 850°C.....	29
Gambar 4.6 Pola difraksi hasil XRD keramik SiC aditif 0,5% SiO ₂ pada suhu 850°C..	30
Gambar 4.7 Pola Difraksi keramik SiC menggunakan 1% SiO ₂ pada suhu 850°C.....	30
Gambar 4.8 Grafik hasil XRD keramik SiC dengan 1,5% SiO ₂ pada suhu 850°C.....	31
Gambar 4.9 Pola difraksi sinar-X uji XRD pada suhu 850°C.....	31
Gambar 4.10 Grafik hasil XRD keramik SiC dengan 0% SiO ₂ pada suhu 1000°C	33
Gambar 4.11 Grafik hasil XRD keramik SiC dengan 0,5% SiO ₂ pada suhu 1000°C	34

Gambar 4.12 Bentuk pola difraksi keramik SiC dengan 1% SiO ₂ pada suhu 1000°C ...	34
Gambar 4.13 Grafik hasil XRD keramik SiC dengan 1,5% SiO ₂ pada suhu 1000°C	35
Gambar 4.14 Pola difraksi sinar-X uji XRD pada suhu 1000°C.....	35
Gambar 4.15 Hasil polas difraksi keramik SiC aditif 0% SiO ₂ pada suhu 1100°C.....	37
Gambar 4.16 Hasil pola difraksi keramik SiC ditambahkan 0,5% SiO ₂ suhu 1100°C...	37
Gambar 4.17 Bentuk pola difraksi dari keramik SiC dengan 1% SiO ₂ suhu 1100°C.....	38
Gambar 4.18 Grafik hasil XRD keramik SiC dengan 1,5% SiO ₂ pada suhu 1100°C.....	38
Gambar 4.19 Pola Difraksi Sinar-X Uji XRD pada suhu 1100°C	39
Gambar 4.20. Foto SEM dari Silikon karbida(SiC) dengan aditif 1,5% SiO ₂ (a) pembesaran 500x, (b) pembesaran 1000x, (c) pembesaran 5000x , (d) pembesaran 10.000x.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Preparasi bahan dengan menggunakan aditif.....	18
Table 4.1 Hasil pengukuran densitas dan porositas	24
Tabel 4.2 Hasil uji kekerasan/hardness	27
Table 4.3 Hasil pengukuran kristal keramik SiC dengan variasi komposisi SiO ₂ pada suhu 850°C.....	32
Table 4.4 Hasil pengukuran kristal keramik SiC dengan variasi komposisi SiO ₂ pada suhu 850°C.....	36
Table 4.5 Hasil pengukuran bentuk kristal Keramik SiC dengan variasi komposisi SiO ₂ pada suhu 1100°C.....	49

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dialam semesta ini material memiliki banyak jenis, berdasarkan sifat fisiknya dapat diklasifikasikan dalam tiga kelompok utama yaitu keramik, logam dan polimer(Yusniyanti and Abdullah, 2009). Material keramik adalah campuran padatan yang memanfaatkan panas dan tekanan, biasanya memiliki sekitar dua komponen material untuk pembentukan keramik. Jika dilihat berdasarkan jenisnya, keramik dibedakan menjadi dua jenis yakni keramik tradisional dan keramik modern(Putri, Ratnawulan and Syarif, 2017). Keramik tradisional merupakan tanah liat (lempung) yang dibakar dengan suhu tertentu. Keramik jenis ini memiliki sifat mekanik yang kuat, keras, namun juga memiliki sifat rapuh dan mudah patah (brittle). Selain sifat tersebut keramik juga memiliki sifat lain yakni tahan terhadap korosi, kerapatan yang dimiliki rendah namun titik leleh yang dimiliki tinggi(Yusniyanti and Abdullah, 2009).

Keramik modern dapat didefinisikan sebagai keramik yang dibuat dari pasangan oksida, karbida, perovskite, dan dengan bahan sintesis kompleks. Dari material keramik modern dapat dihasilkan produk seperti alat untuk perangkat elektronik, komputer, dan industri(Putri, Ratnawulan and Syarif, 2017). Saat ini keramik modern banyak digunakan sebagai bahan pengganti logam dari komponen-komponen permesinan, untuk bahan semikonduktor, dan juga bahan bangunan serta banyak kegunaan lain sebagainya(Yusniyanti and Abdullah, 2009).

Keramik modern ada dua jenis yakni keramik jenis oksida dan keramik non oksida, keramik SiC merupakan jenis dari keramik non oksida(Irfanita *et al.*, 2015). Dengan sifat yang dimiliki keramik SiC yaitu stabilan pada temperatur tinggi dan dapat bertahan terhadap korosi. Dari sifat yang dimiliki, material ini biasa digunakan untuk industri mesin, sebagai material refraktori berat dan digunakan sebagai material abrasif(Wigayati and Muljadi, 2008).

Karena jenisnya yang cukup kuat, dengan kekerasan yang cukup tinggi yakni 3500 *vikers hardness* (VHN)(Irfanita *et al.*,2015), SiC memiliki titik lebur sebesar 2.830°C dan untuk kepadatan atau densitasnya sebesar 3.16 g/cm³(https://id.wikipedia.org/wiki/Silikon_karbida). Maka dari itu untuk menghasilkan keramik SiC dengan densitas yang maksimal diperlukan suhu sintering yang mendekati titik lebur dari keramik SiC. Dengan

tingginya titik leleh keramik SiC maka memerlukan energi yang besar dalam melakukan proses sintering keramik SiC. Besarnya energi yang digunakan akan berdampak kepada biaya produksi yang digunakan, biaya produksi yang digunakan dalam pembuatan keramik SiC ini akan semakin besar pula. Sehingga perlu dilakukan percobaan-percobaan tentang teknik menurunkan suhu sintering keramik SiC.

Dari suatu hipotesis/referensi jurnal bahwa dengan menambahkan suatu bahan aditif tertentu pada serbuk SiC, maka temperatur sintering dapat diturunkan. Sehingga untuk ongkos produksi yang digunakan dalam pembuatan keramik SiC akan menurun (Wigayati and Muljadi, 2001). Maka dari itu perlu dilakukan penambahan bahan aditif ke bahan utama keramik yang dapat berfungsi sebagai aditif sintering, seperti contohnya material aditif SiO₂, Borax, TiO₂, MgO, Y₂O₃ dan banyak lainnya. Pada penelitian ini digunakan material keramik SiO₂ glass sebagai bahan aditif keramik SiC. Disamping tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh komposisi penambahan aditif SiO₂ terhadap suhu sintering keramik SiC.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah pengaruh dari komposisi aditif glass SiO₂ terhadap densitas, porositas, kekerasan dan struktur mikro keramik SiC ?
2. Bagaimanakah pengaruh dari suhu sintering terhadap densitas, porositas, kekerasan dan struktur mikro keramik SiC?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisa pengaruh komposisi aditif glass SiO₂ terhadap densitas, porositas, kekerasan dan struktur mikro keramik SiC.
2. Menganalisa pengaruh suhu pembakaran (Sintering) terhadap densitas, porositas, kekerasan dan struktur mikro keramik SiC.

1.4 Batasan Masalah

1. Bahan yang digunakan yaitu *Silikon Karbida* (SiCp) powder, dengan aditif *Silikon dioksida* (SiO₂) glass powder.
2. Variasi komposisi untuk aditif digunakan pada pembuatan keramik Silikon Karbida (SiC) yaitu dalam persen berat : 0%, 0.5%, 1% dan 1.5%.

3. Variasi suhu pembakaran pada proses sintering dengan suhu 850°C , 1000° C dan 1100° C.
4. Uji karakterisasi yang dilakukan yaitu uji densitas, uji porositas, uji kekerasan dan analisa X-Ray Diffraction dan SEM.

1.5 Manfaat Penelitian

Dapat mengembangkan penelitian yang sudah ada dan memberikan informasi tentang bagaimana cara pembuatan keramik Silikon Karbida dengan penamabahan aditif Silikon dioksida dengan komposisi yang berbeda-beda.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, M. and Simarmata, U. (2015) 'Pengaruh Penambahan Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa Terhadap Karakteristik Keramik Cordierite ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$) Berpori Sebagai Bahan Filter Gas Buang', *Jurnal Einstein*, 3(1), pp. 42–47.
- Antika, L. *et al.* (2012) 'Pengukuran (Kalibrasi) volume dan Massa Jenis Aluminium', *Jurnal Fisika dan Aplikasi*, 13, pp. 22-28.
- Cullity, B. D., dan S. R. (2014) 'Stock. Elements of X-Ray Diffraction Third Edition', Pearson Education limited.
- Damanik, A., (2016) 'Pengantar Fisika Zat Padat, Universitas Sanata Dharma', Yogyakarta.
- Didik, Lalu A. (2020) 'Penentuan Ukuran Butir Kristal $\text{CuCr}_{0,98}\text{Ni}_{0,02}\text{O}_2$ dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) dan Scanning Electron Microscope (SEM)', *Indonesian Physical Review*, 3(1), pp. 6–14.
- Djuhana, Mulyadi and Sunardi (2018) 'Efek Aditif SiO_2 Terhadap Suhu Sintering Keramik Alumina dan Karakteristiknya', *Journal of Technical Engineering*, 2(1), pp. 22–26.
- Fabiani, V. A. *et al.* (2018) 'Sintesis Dan Karakterisasi Silika Gel Dari Limbah Kaca Serta Aplikasinya Pada Kromatografi Kolom', *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*, 1(1), p. 10. doi: 10.26418/indonesian.v1i1.26038.
- Fachry, A *et al.* (2008) 'Pengaruh Waktu Kristalinitas dengan Proses Pendinginan dari Larutannya', *Jurnal Teknik Kimia*, 2(15), pp. 9–16.
- Gulo, K. N., Sudiati and Mulyadi (2020) 'Efek Penambahan Aditif SiO_2 terhadap Suhu Sintering, Sifat Fisis, Struktur Kristal dan Mikrostruktur pada Keramik Al_2O_3 ', *Journal of Technical Engineering*, 4(1), pp. 27–33.
- Hadiati, S. *et al.* (2013) 'KAJIAN VARIASI SUHU ANNEALING DAN HOLDING TIME PADA PENUMBUHAN LAPISAN TIPIS $\text{BaZr}_{0,15}\text{Ti}_{0,85}\text{O}_3$ DENGAN METODE SOL GEL', *Jurnal MIPA*, 36(1), pp. 20–27.
- Hadiati, S., *et al.* (2014) 'Kajian Variasi Temperatur Annealing dan holding time Metode Sol-Gel', *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 10(1), pp. 37–43
- Harahap, F. M., Tugiman and Suprianto (2015) 'ANALISA PENGARUH PARTIKEL SiC TERHADAP SIFAT MEKANIS METAL MATRIX COMPOSITE DIBUAT MENGGUNAKAN METODE', *Jurnal Ilmiah "MEKANIK" Teknik Mesin ITM*, 1(1), pp. 9–15.

- Irfanita, R. *et al.* (2015) ‘Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Sintesis Silicon Carbide (SiC) Berbahan Dasar Abu Sekam Padi dan Grafit Pensil 2B’, *Indonesian Journal of Applied Physics*, 5(01), p. 31. doi: 10.13057/ijap.v5i01.258.
- Jiang, Q. *et al.* (2020) ‘Lower-temperature preparation of SiC ceramic membrane using zeolite residue as sintering aid for oil-in-water separation’, *Journal of Membrane Science*, 118238(610). doi: 10.1016/j.memsci.2020.118238.
- Johari, M. I. A. *et al.* (2016) ‘THE MICROSTRUCTURE , PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SILICON CARBIDE WITH ALUMINA AND YTTRIA AS SINTERING ADDITIVES’, *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(22), pp. 13300–13304.
- Juliansyah, Ratnawulan and Fauzi, A. (2015) ‘Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Struktur Mineral Granit yang Terdapat di Nagari Surian Kecamatan Pantai Cermin Kabupaten Solok’, *Pillar of Physics*, 9, pp. 9–16.
- Junaidi, A. and Suhadi, A. (2013) ‘PENGEMBANGAN METODE PEMBUATAN ELEKTRODA TEMBAGA – KARBON DENGAN METALURGI SERBUK’, *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 15(2), pp. 68–77.
- Lestari, L. *et al.* (2017) ‘EVOLUSI MIKROSTRUKTUR DARI KERAMIK PADUAN SILIKA (SiO₂) DAN ALUMINA (Al₂O₃)’, *JURNAL APLIKASI FISIKA*, 13(1), pp. 1–6.
- Malik, R., Kim, Y. and Song, I. (2019) ‘High interfacial thermal resistance induced low thermal conductivity in porous SiC- SiO₂ composites with hierarchical porosity’, *Journal of the European Ceramic Society*, 30727(2219), pp.1–35. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2019.10.056.
- Munasir, *et al.*, (2012) ‘ Uji XRD dan XRF pada Bahan Meneral (Batuan dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO₃ dan SiO₂)’, *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasi(JPFA)*, 2(1), pp 20-29.
- Nasrun, M. and Sujianto, S. (2020) ‘Pembuatan dan pengujian sifat fisis dan mekanik keramik alumina sebagai komponen mekanik’, *JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI*, 16(02), pp. 249–254.
- Nurmairanti, Dewi, R. and Ginting, M. (2015) ‘FABRIKASI DAN KARAKTERISASI MATERIAL Ba_{0.9}Sr_{0.1}TiO₃ DENGAN MENGGUNAKAN DIFRAKSI SINAR-X’, *JOM FMIPA*, 2(1), pp. 167–171.
- Nursyamsi, Indrawan, I. and Hastuty, I. P. (2016) ‘PEMANFAATAN SERBUK KACA SEBAGAI BAHAN TAMBAH DALAM PEMBUATAN BATAKO’, *Media Teknik Sipil*, 14(1), pp. 84–95.
- Nurzal and Siswanto, O. (2012) ‘Pengaruh Proses WET Pressing dan suhu Sintering Terhadap densitas dan Kekersan Viskers pada Manufactur Keramik Lantai’, *Jurnal Teknik Mesin*, 1(2), pp. 1-5.
- Pahlepi, R., Sembiring, S. and Pandiangan, K. D. (2013) ‘Pengaruh Penambahan MgO Pada SiO₂ Berbasis Silika Sekam Padi Terhadap Karakteristik Komposit MgO-

- SiO₂ Dan Kesesuaiannya Sebagai Bahan Pendukung Katalis Diterima (25 Maret 2013), direvisi (04 April 2013)', *JURNAL Teori dan Aplikasi Fisika*, 01(02), pp. 161–169.
- Putri, N. A., Sudiati and Mulyadi (2020) 'Efek Penambahan SiO₂ dan B₂O₃ terhadap Suhu Sintering, Sifat Fisis, Struktur Kristal dan Mikrostruktur pada Keramik SiC', *Journal of Technical Engineering*, 4(1), pp. 18–26.
- Putri, R. S. Ratnawulan and Syarif, G. (2017) 'Pengaruh Penamabahan ZrO₂ Terhadap Karakteristik Termistor NTC Berbahan Dasar Fe₂O₃ dari Mineral Yarosit', *Pillar of Physics*, 10, pp. 86 – 93.
- Ramlan and Bama, A. A. (2011) 'Pengaruh Suhu dan Waktu Sintering terhadap Sifat Bahan Porselen untuk Bahan Elektrolit Padat (Komponen Elektronik)', *Jurnal Penelitian Sains*, 14(3), pp. 22-25.
- Ramlan *et al.* (2008) 'Pengaruh Aditif MgO dan Perlakuan Panas Terhadap Material Elektro Keramik Berbasis Beta Alumina(β -Alumina)', *Jurnal SainsMateri Indonesia*, 9(3), pp. 254-259.
- Ramlan *et al.* (2019) 'Effect of Al₂O₃ addition with concentration (x=0.1%, 0.2%, 0.4%) mol on the crystal structure and physical properties of permanent magnets barium hexaferrite (BaO₆Fe₂O₃)', *Journal of Physics*, 012026(1282), pp. 6–11. doi:10.1088/1742-6596/1282/1/012026.
- Rasyid *et al.* (2013) 'Strontium Hexaferrite (SrFe₁₂O₁₉) Based Composites for Hyperthermia Applications.' *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 344, pp. 134–39. doi:10.1016/j.jmmm.2013.05.048.
- Ridha, M. and Darminto. (2016) 'Analisa Densitas, Porositas dan Struktur Mikro Batu Apung Lombok dengan Variasi Lokasi Menggunakan Metode Archimedes dan Software Image-J', *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 12(3), pp. 124-130.
- Saragi, T. *et al.* (2012) 'Pengembangan Bahan Magnetik Barium Heksaferite Dari Mineral Yarosit Alam Dan Karakterisasinya', *Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik*, 14(2), pp. 156–163.
- Sembiring, S. and Simanjuntak, W. (2015) *SILIKA SEKAM PADI Potensinya sebagai Bahan Baku Keramik Industri*.
- Setianingsih, T., Sutarno and Masrurroh, (2018) 'Prinsip Dasar dan Aplikasi Metode Difraksi Sinar-X untuk Karakterisasi Material', Universitas Brawijaya Press, Malang.
- Setiawan, F. *et al.* (2017) 'Analisis Porositas dan Kuat Tekan Campuran Tanah Liat Kaolin dan Kuarsa sebagai Keramik', *Jurnal MIPA*, 40(1), pp. 24–27.

- Sidabutar, T.E. (2017) 'Pembuatan dan Karakterisasi Magnesium Alumina Silika dari Abu Vulkanik Gunung Sinabung', *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, 6(1), pp. 28-35.
- Smallman, R. E. and Bishop, R. J., (2000) 'Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material, Edisi Keenam', Erlangga, Jakarta.
- Sujatno, A. *et al.* (2015) 'Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium', *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*, 9(2), pp. 44–50.
- Sulastri, S. and Kristianingrum, S. (2010) 'BERBAGAI MACAM SENYAWA SILIKA: SINTESIS, KARAKTERISASI DAN PEMANFAATAN', in *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta*, pp. 211–216.
- Suprapedi *et al.* (2020) 'Preparation and characterization of alloy Al-SiC made by using powder metallurgy method', *AIP Conference Proceedings*, 110003(2221), pp. 1-6. <https://doi.org/10.1063/5.0005086>.
- Suprapedi, Muljadi and Ramlan (2018) 'Effect of Addition of Amorphous Glass (Soda Lime Glass) on Sintering Process and Properties of Alumina Ceramics', *Jurnal of Physics*, pp. 012038(1120), pp. 1-6. doi:10.1088/1742-6596/1120/1/012038.
- Sutapa, A. A. G. (2011) 'POROSITAS, KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH BETON DENGAN AGREGAT KASAR BATU PECAH PASCA DIBAKAR', *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 15(1), pp. 50–57.
- Wigayati, E. M. and Muljadi (2008) 'Karakteristik Sifat Termal, Sifat dan Struktur Kristal dari Keramik SiC dengan Aditif Clay', *Urania*, 14(3), pp. 128-133.
- Wigayati, E. M. and Muljadi (2001) 'PEMBUATAN BAHAN KERAMIK REFRAKTORI DARI SiC DENGAN BAHAN ADITIF CLAY', in *Prosiding Seminar Nasional Hamburan Newton dan Sinar X Ke 4*, pp. 119–122.
- Yusniyanti, E. and Abdullah, F. (2009) 'Analisa Pengaruh Kadar Lempung Serta Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanik Material Keramik Silikon Karbida (SiC)', *Jurnal Reaksi (Journal of Science and Technology)*, 7(14), pp 37 – 45.