

**PENGARUH VARIASI SUHU SINTERING TERHADAP
PEMBENTUKAN NANOPARTIKEL PERAK SILIKA MENGGUNAKAN
METODE SOL-GEL**

(Skripsi)

Oleh

**Syafiq Rafi Hariputra
1817041038**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI SUHU SINTERING TERHADAP PEMBENTUKAN NANOPARTIKEL PERAK SILIKA MENGGUNAKAN METODE SOL-GEL

Oleh

SYAFIQ RAFI HARIPUTRA

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu sintering terhadap pembentukan nanopartikel perak silika dengan metode sol-gel. Sampel Ag/SiO₂ berhasil disintesis menggunakan metode sol-gel dari prekursor NaOH, HNO₃, AgNO₃, Na₃C₆H₅O₇, dan silika berbasis sekam padi. Sampel disintering pada suhu 600 °C, 700 °C, dan 850 °C selanjutnya dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX). Hasil penelitian menunjukkan bertambahnya suhu sintering mempengaruhi pembentukan gugus fungsi yang terkandung pada Ag/SiO₂. Sampel terbaik diperoleh pada suhu 850 °C yang terlihat adanya ikatan Ag-O serta ikatan O-Si-O yang merupakan ikatan penyusun dari Ag/SiO₂. Suhu yang tinggi mengakibatkan terlihatnya ikatan Ag-O serta ikatan O-Si-O yang merupakan ikatan penyusun dari Ag/SiO₂. Sedangkan data pada SEM memperlihatkan bahwa bertambahnya suhu sintering mempengaruhi ukuran partikel Ag/SiO₂. Karakterisasi menggunakan EDX memperlihatkan masih ada unsur lain yang terkandung dalam sampel.

Kata kunci: Ag/SiO₂, AgNO₃, silika sekam padi, gugus fungsi, mikrostruktur.

ABSTRACT

THE EFFECT OF SINTERING TEMPERATURE VARIATION ON THE FORMATION OF SILVER SILICA NANOPARTICLES USING THE SOL-GEL METHOD

By

SYAFIQ RAFI HARIPUTRA

This research aims to determine the effect of sintering temperature on the formation of silver silica nanoparticles by sol-gel method. Ag/SiO₂ samples were successfully synthesized using the sol-gel method from precursors NaOH, HNO₃, AgNO₃, Na₃C₆H₅O₇, and rice husk-based silica. The samples were sintered at temperatures of 600 °C, 700 °C, and 850 °C, and then characterized using Fourier Transform Infrared (FTIR) and Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX). The research results indicate that an increase in sintering temperature influences the formation of functional groups in Ag/SiO₂. The best sample was obtained at 850 °C, showing the presence of Ag-O and O-Si-O bonds, which are constituent bonds of Ag/SiO₂. High temperatures result in the visibility of Ag-O and O-Si-O bonds, which are constituent bonds of Ag/SiO₂. Meanwhile, SEM data show that the particle size of Ag/SiO₂ increases with the sintering temperature. Characterization using EDX indicates the presence of other elements in the samples.

Keywords: Ag/SiO₂, AgNO₃, functional groups, microstructure, rice husk silica.

**PENGARUH VARIASI SUHU SINTERING TERHADAP
PEMBENTUKAN NANOPARTIKEL PERAK SILIKA MENGGUNAKAN
METODE SOL-GEL**

Oleh

SYAFIQ RAFI HARIPUTRA

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : **PENGARUH VARIASI SUHU SINTERING
TERHADAP PEMBENTUKAN NANOPARTIKEL
PERAK SILIKA MENGGUNAKAN METODE
SOL-GEL**

Nama Mahasiswa : **Syafiq Rafi Hariputra**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1817041038**


Jurusan : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**




Pembimbing I

Pembimbing II


Drs. Syafriadi, M.Si.
NIP. 196108211992031002


Iqbal Firdaus, S.Si., M.Si.
NIP. 199006162019031016

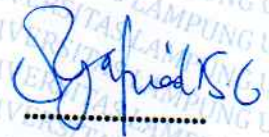
2. **Ketua Jurusan Fisika FMIPA**


Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 198010102005011002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

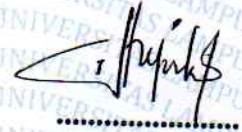
Ketua : **Dr. Syafridi, M.Si.**



Sekretaris : **Iqbal Firdaus, S.Si., M.Si.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Suprihatin, S.Si., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **19 Desember 2023**



LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Pengaruh Variasi Suhu Sintering Terhadap Pembentukan Nanopartikel Perak Silika Menggunakan Metode Sol-Gel” adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, hasil dan analisisnya. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 29 Januari 2024



Syafiq Rafi Hariputra

NPM 1817041038

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Syafiq Rafi Hariputra, dilahirkan pada 18 Januari 2001 di Jakarta. Putra dari pasangan Bapak Aries Munandar dan Ibu Henny Hartati sebagai anak ke-2 dari 2 bersaudara.

Pendidikan yang telah ditempuh oleh penulis adalah SDN 01 Sidorejo lulus pada tahun 2012, SMPN 14 Balikpapan lulus pada tahun 2015, SMAIT Al-Fidaa lulus pada tahun 2018. Pada tahun 2018 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Unila melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai anggota di biro dana dan usaha (DANUS). Pada awal tahun 2021 penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT Bumi Lampung Persada, Way Kanan dengan judul “Pengukuran Berat Jenis Aspal Beton Menggunakan Metode AASHTO T209”. Kemudian di tahun yang sama (2021) penulis menyelesaikan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Tanjung Kesuma, Kecamatan Purbolinggo, Kabupaten Lampung Timur.

MOTTO

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan”

(QS. Al Insyirah: 5)

“Tidak ada peristiwa yang terjadi karena kebetulan”

(Henry Manampiring)

“Dunia yang engkau lihat berbeda dengan dunia yang kulihat, dan mustahil
berbagi duniamu dengan orang lain”

(Ichiro Kishimi)

“Manusia hanya bisa berencana, tapi Tuhan lah yang menentukan”

(Penulis)

PERSEMBAHAN

*Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang
Penulis mempersembahkan karya ini kepada:*

Orang tuaku:

Aries Munandar dan Henny Hartati

Atas do'a yang tidak pernah putus serta segala upaya yang telah dilakukan untuk memberikan yang terbaik.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullah Wabarokatu.

Puji syukur atas karunia Allah SWT, atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulisan skripsi dengan judul “Pengaruh Variasi Suhu Sintering terhadap Pembentukan Nanopartikel Perak Silika Menggunakan Metode Sol-Gel” dapat diselesaikan.

Penulisan skripsi ini tentu masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran demi perbaikan kekurangan tersebut sangat diharapkan oleh penulis. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan dijadikan literatur serta rujukan bagi penelitian-penelitian berikutnya.

Wassalamualaikum Warahmatullah Wabarokatu.

Bandar Lampung, 29 Januari 2024

Syafiq Rafi Hariputra

SANWACANA

Puji syukur atas karunia Allah SWT, karena atas berkat karunia-Nya sehingga penulisan skripsi dengan judul “Pengaruh Variasi Suhu Sintering terhadap Pembentukan Nanopartikel Perak Silika Menggunakan Metode Sol-Gel” dapat diselesaikan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung. Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati, penulis menghaturkan terimakasih kepada:

1. Drs. Syafriadi, M.Si. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan selama proses penelitian dan penulisan skripsi;
2. Iqbal Firdaus, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan selama proses penelitian dan penulisan skripsi;
3. Suprihatin, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran untuk penulisan skripsi ini agar lebih baik lagi;
4. Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si.. selaku Dosen Pembimbing Akademik;
5. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Fisika atas ilmu yang telah diberikan selama penulis menempuh bangku perkuliahan;

6. Kakakku Winda Rani Aquariesta, yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis, serta keluarga besar yang selalu memberikan do'a dan motivasi untuk penulis;
7. Rekan penelitian Firmanda Fardony, Wiwin Sulistiani, Yessi Efridaniar, dan Nur Fikarimah atas kerjasamanya selama melaksanakan penelitian ini;
8. Teman-teman seperjuangan Nur Halimah, Odih, dan Dimas Hartadi yang telah banyak memberi dukungan, masukan, dan motivasi kepada penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini; dan
9. Teman-teman Fisika 2018 atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan.

Serta berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT memberikan imbalan berlipat dan memudahkan langkah semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Bandar Lampung, 29 Januari 2024

Syafiq Rafi Hariputra

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Nanopartikel AgNO ₃	5
2.2 SiO ₂	6
2.3 Metode sol-gel.....	8

2.4 Metode Sintering	9
2.5 <i>Fourier Transformed Infrared</i> (FTIR)	10
2.6 <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX)	11
III. METODE PENELITIAN	14
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	14
3.2 Alat dan Bahan	14
3.3 Prosedur Penelitian.....	16
3.3.1 Preparasi sampel Sol SiO ₂ dari Sekam Padi	16
3.3.2 Preparasi sampel Partikel AgNO ₃	16
3.3.3 Preparasi sampel Partikel Ag/SiO ₂	17
3.3.4 Sintesis Serbuk Partikel Ag/SiO ₂	17
3.3.5 Karakterisasi Sampel.....	18
3.3.5.1 <i>Fourier Transformed Infrared</i> (FTIR)	18
3.3.5.2 <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX)	18
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	19
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	312
4.1 Pengaruh Variasi Suhu Sintering Terhadap Gugus Fungsi Ag/SiO ₂	22
4.2 Pengaruh Variasi Suhu Sintering Terhadap Ukuran Partikel Ag/SiO ₂	25
V. KESIMPULAN DAN SARAN	30
5.1 Kesimpulan	30
5.2 Saran	30
DAFTAR PUSTAKA	31
LAMPIRAN.....	38

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Bahan-bahan penelitian	14
Tabel 3.2 Alat-alat penelitian	15
Tabel 3.3 Alat-alat karakterisasi.....	16
Tabel 4.1 Hasil analisis gugus fungsi Ag/SiO ₂	26
Tabel 4.2 Berbagai kandungan Ag/SiO ₂ dengan variasi suhu sintering.....	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Partikel AgNO ₃	5
Gambar 2.2 Silika SiO ₂	7
Gambar 2.3 Skema Alat <i>Fourier Transformed Infrared</i> (FTIR).....	11
Gambar 2.4 Skema Alat <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	12
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Ekstraksi SiO ₂ Dari Sekam Padi.....	19
Gambar 3.2 Diagram Alir Proses Preparasi Nanopartikel AgNO ₃	20
Gambar 3.3 Diagram Alir Proses Sintesis Sampel Nanokomposit Ag/SiO ₂	21
Gambar 4.1 Grafik FTIR pada sampel Ag/SiO ₂ dengan variasi suhu (a) 600 °C, (b) 700 °C, dan (c) 850 °C	22
Gambar 4.2 Hasil karakterisasi sampel Ag/SiO ₂ menggunakan SEM dengan variasi suhu (a) 600 °C, (b) 700 °C, dan (c) 850 °C	27

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Silika menjadi salah satu material yang banyak dikembangkan oleh para peneliti, yang dalam penggunaannya sering digunakan sebagai zat pengering uap air, adsorben, media filter, dan komponen katalisator. Silika merupakan bahan baku utama pada *glass industry*, keramik, industri refraktori, dan bahan baku penting dalam produksi larutan silikat, silikon, serta alloy. Silika dapat diperoleh dari berbagai bahan alam, salah satunya sekam padi. Sekam padi banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan silika karena kandungan SiO_2 yang tinggi, yaitu sebesar 97,3 % (Pratomo *et al.*, 2013).

Katalis perak banyak dimanfaatkan dalam kegiatan di laboratorium hingga dunia industri. Penggunaannya sebagai katalis telah ditingkatkan dengan pengembangan teknik sintesis baru pada berbagai jenis substrat, salah satunya silika. Kelebihan dari substrat silika adalah mampu mencegah agregasi dan melindungi partikel perak pada suhu tinggi (Chahadih *et al.*, 2012). Nanopartikel perak dapat disintesis dengan beberapa metode, antara lain kopresipitasi, sintesis hidrotermal, metode prekursor sitrat, metode keramik-glass, dan proses sol-gel (Costa *et al.*, 2003). Nanopartikel perak banyak mendapat perhatian peneliti dibandingkan dengan nanopartikel logam lainnya. Koloid perak sendiri diketahui memiliki sifat

antimikroba yang mampu membunuh mikroorganisme patogenik (Haryono *et al.*, 2008).

Material nanopartikel menunjukkan sifat fisika dan kimia yang sangat berbeda dari bulk materialnya, seperti kekuatan mekanik, elektronik, magnetik, kestabilan termal, katalitik dan optik. Ada dua hal utama yang membuat nanopartikel berbeda dengan material sejenis dalam ukuran besar (bulk) yaitu : (a) karena ukurannya yang kecil, nanopartikel memiliki nilai perbandingan antara luas permukaan dan volume yang lebih besar jika dibandingkan dengan partikel sejenis dalam ukuran besar. Ini membuat nanopartikel bersifat lebih reaktif. Reaktivitas material ditentukan oleh atom-atom di permukaan, karena hanya atom-atom tersebut yang bersentuhan langsung dengan material lain; (b) ketika ukuran partikel menuju orde nanometer, hukum fisika yang berlaku lebih didominasi oleh hukum-hukum fisika kuantum (Abdullah *et al.*, 2009).

Sol silika berbasis sekam padi digunakan sebagai adsorben, yaitu dapat menyerap komponen tertentu. Silika sekam padi mampu mengurangi toksisitas pada partikel perak. Hal ini disebabkan oleh matrik biokompatibel pada silika. Sintesis Ag/SiO₂ dilakukan dengan metode sol gel. Keunggulan dari metode sol gel yaitu mudah digunakan, biaya yang dikeluarkan cukup murah, serta suhu sintesis yang rendah. Partikel Ag/SiO₂ pada matriks silika memiliki berbagai bentuk seperti batang, bubuk, dan monolit untuk aplikasi antibakteri (Chahadiah *et al.*, 2012).

Metode sol gel dalam penelitian ini menggunakan variasi suhu sintering perak nitrat sebagai prekursor sebanyak mmol. Proses sintering dilakukan untuk memadatkan massa material melalui panas atau tekanan tanpa melelehkan material tersebut

hingga titik pencairan. Variasi suhu sintering yang digunakan yaitu 600 °C, 700 °C, dan 850 °C.

Penelitian Sembiring *et al.* (2022) menunjukkan hasil bahwa peningkatan konsentrasi pada Ag memiliki efek pada ukuran partikel. Kemudian menurut hasil penelitian Simanjuntak *et al.* (2012) morfologi permukaan dan komposisi unsur sampel sangat dipengaruhi oleh pirolisis temperatur, dimana semakin tinggi temperatur maka semakin kecil ukuran butir sampel.

Penggunaan variasi suhu sintering ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh suhu tersebut terhadap hasil karakterisasi. Analisis karakterisasi untuk mengetahui gugus fungsi komposit Ag/SiO₂ dilakukan menggunakan *Fourier Transformed Infrared* (FTIR). Sedangkan karakterisasi untuk mengetahui struktur mikro dari partikel komposit Ag/SiO₂ dilakukan dengan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi suhu sintering terhadap gugus fungsi Ag/SiO₂ yang disintesis dengan metode sol-gel?
2. Bagaimana pengaruh variasi suhu sintering terhadap ukuran partikel Ag/SiO₂ yang disintesis dengan metode sol-gel?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi suhu sintering terhadap gugus fungsi Ag/SiO₂ yang disintesis dengan metode sol-gel.

2. Mengetahui pengaruh variasi suhu sintering terhadap mikro struktur Ag/SiO₂ yang disintesis dengan metode sol-gel.

1.4 Batasan Masalah

Batasan penelitian ini adalah:

1. Sekam padi berasal dari daerah Tanggamus.
2. AgNO₃ yang digunakan berspesifikasi teknis menggunakan konsentrasi sebesar 8 mmol.
3. Variasi suhu sintering yang digunakan yaitu 600 °C, 700 °C, dan 850 °C.
4. Alat karakterisasi yang digunakan adalah *Fourier Transformed Infrared* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Menambah pengetahuan bagi penulis dan pembaca tentang pengaruh variasi suhu sintering terhadap pembentukan nanopartikel Ag/SiO₂.
2. Sebagai bahan referensi dalam studi pengaruh variasi suhu sintering terhadap pembentukan nanopartikel Ag/SiO₂.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nanopartikel AgNO₃

Nanopartikel secara umum dapat didefinisikan sebagai teknologi desain, pembuatan, maupun aplikasi material yang berukuran nanometer. Nanoteknologi tidak hanya sebatas tentang cara menghasilkan material atau partikel yang berukuran nanometer, melainkan memiliki pengertian yang lebih luas termasuk cara memproduksi serta mengetahui kegunaan sifat baru yang muncul dari material nano yang telah dibuat. Koloid perak telah lama diketahui memiliki sifat antimikroba. Kemampuan antimikroba perak dapat membunuh semua mikroorganisme patogenik. Perak nitrat memiliki titik leleh 212 °C, sedangkan titik leleh dari perak silika adalah 1.740 °C (Ariyanta, 2014). Nanopartikel AgNO₃ tampak pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2. 1. Partikel AgNO₃ (Dokumentasi pribadi)

Prekursor perak dapat diperoleh melalui bermacam sintesis senyawa perak seperti larutan asam nitrat dan larutan asam sulfat dalam keadaan pekat, kemudian pada larutan asam pengoksida dalam keadaan panas. Jenis prekursor senyawa yang dihasilkan yaitu AgSO_4 , AgNO_3 , AgCl , $\text{Ag}(\text{CN})_2$, AgBr , dan AgI . Diantara prekursor tersebut, yang paling banyak digunakan dalam proses sintesis untuk mendapatkan partikel perak adalah AgNO_3 .

Nanopartikel perak merupakan partikel perak yang memiliki ukuran antara 1-100 nm (Romer *et al.*, 2013). Sifat unik dari nanopartikel perak antara lain yaitu memiliki sifat konduktivitas listrik dan panas yang tinggi, memiliki sifat stabilitas kimia, aktivitas katalis dan perilaku optik non linear, aktivitas spektrum bakterisida dan fungisida yang tinggi, dapat digunakan dalam bentuk cair, dapat digunakan dalam industri tekstil, serta dapat digunakan sebagai membran filtrasi pada sistem pemurnian air (Tran *et al.*, 2013).

2.2 SiO_2

Silika merupakan mineral alam yang ditemukan dalam keadaan bebas atau bercampur dengan mineral lainnya yang membentuk silikat. Silika terbagi menjadi dua macam, yaitu silika kristal dan silika amorf. Silika kristal terdiri dari berbagai jenis kwarsa, tridmit, dan kristobalit yang merupakan hasil dari modifikasi temperatur dari rendah ke tinggi yang menyebabkan perubahan kerapatan simetri kristal, serta memiliki titik leleh $1713\text{ }^\circ\text{C}$ (Sugiarto *et al.*, 2010).

Silika atau senyawa SiO_2 , dalam penggunaannya dapat memiliki berbagai bentuk. Silika sering digunakan sebagai *dessicant*, adsorben, media filter, dan komponen katalisator. Silika merupakan bahan baku utama yang dimanfaatkan dalam *glass*

industry, keramik, industri refraktori dan bahan baku yang penting untuk produksi larutan silikat, silikon dan alloy (Suka *et al.*, 2008).



Gambar 2. 2. Silika SiO₂ (Sumber: Adi *et al.*, 2018)

Silika bersumber dari bahan mineral alami, proses nabati, dan proses sintesis. Silika mineral menurut Goncalves (2007) merupakan silika yang terbentuk secara alami serta banyak ditemukan pada material tambang atau galian seperti pasir, granit, kuarsa, feldspar dengan struktur kristal, tanah liat, dan pelapukan batuan yang terbawa oleh air sungai serta laut. Menurut Mittal (1997), salah satu bahan penghasil silika terbesar setelah dilakukan pembakaran sempurna adalah sekam padi. Silika yang berasal dari sekam padi memiliki warna putih seperti pada **Gambar 2.2.**

Silika sekam padi merupakan produk sampingan dari hasil penggilingan padi menjadi produk beras. Sekam padi berfungsi untuk melindungi padi dari reaksi ketengikan selama proses pemanenan, penggilingan, dan pengangkutan. Pada proses penggilingan padi dapat dihasilkan 20% sekam padi dari total berat padi. Kandungan dari sekam padi meliputi silika (94,4%), aluminium oksida (0,61%),

ferioksida (0,03%), kalsium oksida (0,83%), magnesium oksida (1,21%), kalium oksida (1,06%), dan natrium oksida (0,77%). Kandungan silika yang tinggi pada abu sekam padi dapat dimanfaatkan untuk sumber silika nabati sebagai bahan baku pembuatan material berbasis silika (Hindrayawati, 2010).

Abu sekam padi hasil pembakaran yang terkontrol pada suhu tinggi (500-600°C) mampu dimanfaatkan dalam berbagai proses kimia. Abu sekam padi mengandung silika sebanyak 86%-97% berat kering. Silika dari sekam padi dapat diperoleh melalui metode pengabuan dan metode alkalis. Namun metode alkalis biasanya banyak digunakan untuk ekstraksi silika sekam padi karena prosesnya yang sederhana dan biaya yang relatif murah (Farah *et al.*, 2022).

2.3 Metode sol-gel

Metode sol-gel merupakan metode yang sudah sering digunakan untuk sintesis material serbuk, keramik, dan film (Heshmatpour *et al.*, 2011). Metode ini baik digunakan untuk mengontrol bentuk, ukuran, dan komposisi logam dalam skala nano. Material nano sering diaplikasikan sebagai material penyimpanan energi, katalis, optik, dan elektromagnetik (Sakka, 2013). Proses sol-gel berbasis pada hidrolisis dan kondensasi molekul-molekul prekursor (Jittiarporn *et al.*, 2017). Proses mengubah sol menjadi gel ini dilakukan dengan air yang berperan sebagai agen hidrolisis, alkohol sebagai agen pelarut, serta asam atau basa sebagai katalisnya (Sakka, 2013). Metode ini dapat dilakukan pada suhu yang rendah, dan ukuran serta homogenitas partikel produk dapat lebih terkontrol (Schubert, 2003).

Metode sol-gel diawali dengan tahap pembentuk sol. Sol (suspensi koloid) diperoleh dari reaksi pelarutan prekursor dalam larutan alkohol dan air. Reaksi yang

terjadi pada proses tersebut dibagi menjadi dua tahap yaitu hidrolisis dan kondensasi. Partikel koloid dalam sol kemudian berikatan satu sama lain melalui proses polimerisasi sehingga terbentuk gel. Gel yang terbentuk melalui proses ini dapat berupa *aerogel* dan *xerogel* tergantung pada metode yang digunakan untuk menghilangkan pelarut (Wuttke *et al.*, 2010).

Gelasi merupakan proses yang penting dalam sintesis material dengan metode sol-gel. Proses ini dipengaruhi oleh *gelating agent* yang digunakan. *Gelating agent* harus mampu melarutkan dan mendispersikan monomer aloksida secara merata. Berdasarkan hal tersebut, faktor yang dapat mempengaruhi proses gelasi adalah konsentrasi misel, kekuatan ion larutan, suhu, dan pH. Waktu yang dibutuhkan untuk proses gelasi sol silika mulai dari beberapa menit hingga seratus jam dengan variasi pH mulai dari 2 sampai 7 (Perego dan Villa, 1997).

2.4 Metode Sintering

Sintering adalah proses pemadatan material serbuk melalui pembentuk ikatan batas butir antar serbuk penyusun material tersebut. Ikatan tersebut terjadi karena adanya pemanasan dengan penekanan ataupun tidak dengan suhu sintering yang digunakan di bawah titik leleh dari partikel partikel penyusunnya. Prosedur sintering diawali kontak antar butir yang selanjutnya menyebabkan terjadinya pelebaran titik kontak karena proses difusi atom. Apabila difusi yang terjadi terlalu tinggi maka akan mengakibatkan penyusutan volume pori ketika proses sintering berlangsung (Raharjo *et al.*, 2015).

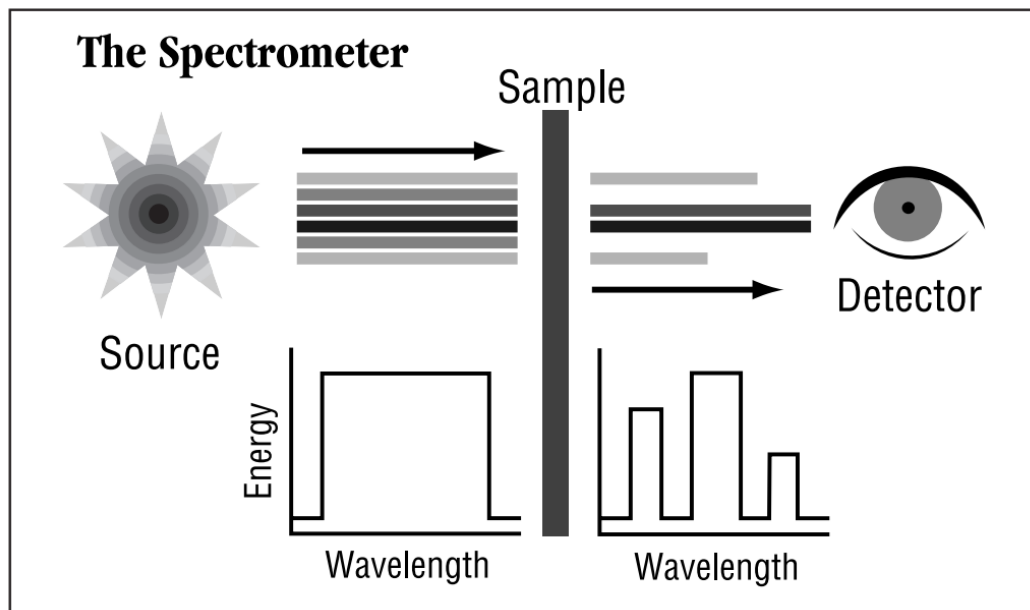
2.5 Fourier Transformed Infrared (FTIR)

FTIR (*Fourier Transformed Infrared*) merupakan suatu instrumen yang mampu menganalisa beberapa komponen secara serentak dari gugus fungsi dari suatu sampel tanpa merusaknya. Suatu molekul dapat menyerap radiasi inframerah karena adanya interaksi vibrasi ikatan kimia yang terpolarisasi dengan medan listrik gelombang elektromagnetik. Getaran molekul terbagi menjadi dua, yaitu getaran tekuk (bengkokan) yang terjadi karena adanya perubahan sudut-sudut diantara ikatan pada atom dan getaran ulur (rentangan) yang merupakan gerakan berirama di sepanjang sumbu ikatan sehingga jarak antar atom berkurang atau bertambah.

Teknik FTIR memiliki kelebihan yaitu semua komponen yang menunjukkan karakteristik penyerapan atau emisi pada wilayah spektra inframerah dapat dianalisis dengan cara kuantitatif maupun kualitatif (Bacsik *et al.*, 2004). Kemudian analisis dengan FTIR dapat digunakan pada semua frekuensi dari sumber cahaya simultan. Kelebihan lain dari teknik FTIR adalah mekanik optiknya lebih sederhana dengan sedikit komponen yang bergerak dibanding spektroskopi inframerah lainnya, serta mampu mengidentifikasi material yang belum diketahui (Hamdila dan Jayanti, 2012).

Prinsip kerja alat FTIR yaitu sinar yang berasal dari sumber sinar akan diteruskan, selanjutnya dipecahkan oleh pemecah sinar menjadi dua bagian yang paling tegak lurus. Sinar ini kemudian dipantulkan oleh cermin bergerak dan cermin diam. Sinar hasil pantulan dari kedua cermin tersebut dipantulkan kembali menuju pemecah sinar untuk saling berinteraksi. Pemecah sinar akan mengakibatkan sebagian sinar diarahkan menuju sumber dan sebagian lainnya akan menuju cuplikan. Fluktuasi sinar tersebut akan sampai ke detektor karena gerakan cermin terhadap detektor

sama. Sinyal pada detektor dihasilkan dari fluktuasi tersebut, yang kemudian diubah dengan bantuan komputer menjadi spektra inframerah berdasarkan operasi matematika (Stuart, 2004). Skema alat karakterisasi FTIR ditunjukkan pada **Gambar 2.3.**



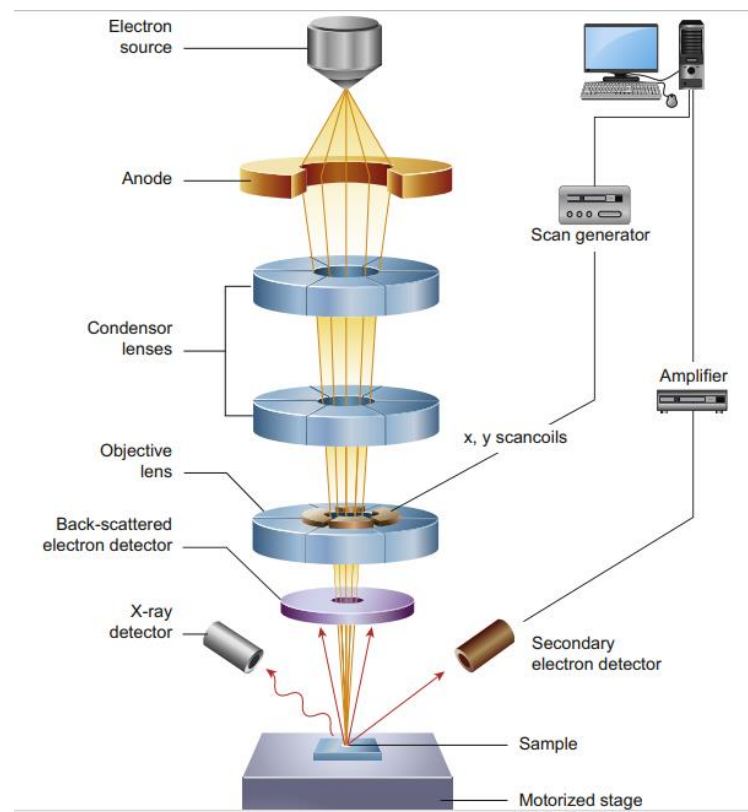
Gambar 2. 3. Skema Alat *Fourier Transformed Infrared* (FTIR) (Nicolet, 2001)

2.6 Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah mikroskop elektron yang banyak digunakan dalam ilmu pengetahuan material. SEM-EDX banyak digunakan karena mampu menghasilkan topologi dan nilai atomik dari suatu material yang dikarakterisasi. Hal ini karena kombinasi unik yang dimilikinya. Mulai dari persiapan spesimen yang simpel dan mudah, kapabilitas tampilan yang bagus serta fleksibel. SEM digunakan pada sampel yang tebal dan memungkinkan untuk dilakukan analisis permukaan (Atkins, 1978).

SEM juga dapat digunakan untuk menyimpulkan data-data kristalografi. Hal ini memungkinkan dapat dikembangkannya untuk menentukan elemen atau senyawa.

Pancaran berkas yang jatuh pada sampel akan dipantulkan dan didifraksi. Elektron yang terdifraksikan dapat diamati dalam bentuk pola difraksi. Pola difraksi tersebut bergantung pada bentuk dan ukuran sel satuan dari sampel (Reed, 2005). Alat karakterisasi SEM ini memiliki skema seperti pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2. 4. Skema Alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) (Inkson, 2016)

Prinsip kerja SEM yaitu *electron gun* dari filamen menghasilkan *electron beam*. Tegangan yang diberikan pada lilitan tungsten pada *electron gun* mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian membentuk gaya yang mampu menarik elektron melaju menuju anoda. Elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel dengan bantuan fokus dari lensa magnetik. Sinar elektron terfokus memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan koil pemindai. Ketika elektron mengenai sampel terjadi hamburan elektron, baik *Secondary Electron* (SE) maupun *Back*

Scattered Electron (BSE) dari permukaan sampel akan dideteksi oleh detektor lalu dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor *Cathoda Ray Tube* (CRT).

SEM dalam fungsinya menggunakan sumber elektron yang berupa *electron gun* (pemicu elektron) yang menjadi pengganti sumber cahaya. Karakterisasi ini memungkinkan pemindaian area yang luas dan mengumpulkan sejumlah besar data untuk mendapatkan karakteristik sampel, diantaranya adalah menghitung objek dan mengumpulkan statistik objek tersebut, salah satunya mendapatkan citra morfologi ukuran untuk menentukan distribusi ukuran (Kharin, 2020).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Material Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Karakterisasi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) sampel dilakukan di Greenlabs, Bandung, Jawa Barat. Sedangkan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dilakukan di Laboratorium Badan Tenaga Nuklir Nasional, Bandung, Jawa Barat, pada tanggal 20 Februari – 24 Juni 2023.

3.2 Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3.1 sedangkan alat-alat yang digunakan disajikan pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

Tabel 3. 1 Bahan-bahan penelitian

No	Nama bahan	Fungsi
1	Sekam padi	Sumber silika
2	Perak nitrat (AgNO_3)	Prekursor Ag
3	Natrium hidroksida (NaOH)	Pelarut silika pada sekam padi
4	Asam nitrat (HNO_3)	Mengubah pH agar sol silika dan perak nitrat menjadi gel
5	Aquadest	Melarutkan prekursor
6	Trisodium sitrat ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$)	Preduktor perak

Tabel 3. 2 Alat-alat penelitian

No	Nama alat	Fungsi
1	Gelas ukur	Mengukur volume larutan
2	Gelas beaker 500 ml	Menampung larutan
3	Erlenmeyer	Membuat larutan sol perak
4	Labu reaksi	Membuat larutan HNO ₃ dan NaOH
5	Kertas pH	Mengukur pH larutan
6	Sarung tangan	Melindungi tangan dari bahan kimia
7	Kompor listrik	Memasak sekam padi
8	<i>Magnetic stirrer</i> dan <i>hotplate</i>	Mengaduk dan memanaskan sampel perak
9	<i>Oven</i>	Mengeringkan gel Ag/SiO ₂
10	<i>Mortar</i> dan alu	Menghaluskan sampel yang telah dioven
11	Ayakan 200 <i>mesh</i>	Menyaring serbuk komposit Ag/SiO ₂
12	Plastik zip	Menampung serbuk sampel yang sudah siap dikarakterisasi
13	Timbangan digital	Menimbang sampel
14	Pipet tetes	Mengambil larutan sampel
16	Spatula	Mengaduk larutan sampel
17	<i>Aluminium foil</i>	Mewadahi gel Ag/SiO ₂ yang siap di oven
18	Plastik <i>wrap</i>	Menutup larutan agar tidak terjadi kontaminasi
19	Baskom	Menampung gel komposit Ag/SiO ₂ untuk dicuci
20	Kertas saring	Memisahkan air dari gel komposit Ag/SiO ₂ ketika dicuci
21	Corong	Membantu masuknya larutan dan sol silika agar mudah masuk ke erlenmeyer

Tabel 3. 3 Alat-alat karakterisasi

No	Nama alat	Fungsi
1	<i>Fourier Transformed Infrared (FTIR)</i>	Mengetahui gugus fungsi nanopartikel Ag/SiO ₂
2	<i>Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i>	Mengetahui ukuran nanopartikel Ag/SiO ₂ dan mengetahui persebaran unsur partikel

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur yang akan dilakukan pada penelitian ini meliputi preparasi sampel sol SiO₂, preparasi sampel nanopartikel AgNO₃, preparasi sampel nanopartikel Ag/SiO₂, sintesis serbuk nanopartikel Ag/SiO₂, dan karakterisasi sampel.

3.3.1 Preparasi sampel Sol SiO₂ dari Sekam Padi

Preparasi sampel sol silika dari sekam padi adalah sebagai berikut:

1. Sekam padi dicuci menggunakan air bersih.
2. Sekam padi direndam pada air mendidih dengan suhu 100 °C selama 6 jam.
3. Sekam padi dikeringkan dibawah sinar matahari selama 5 jam.
4. Sekam padi yang telah kering dan bersih ditimbang sebanyak 50 gram, kemudian dicampurkan dengan 5% NaOH sebanyak 500 ml.
5. Sekam padi yang telah dicampur dengan NaOH dipanaskan menggunakan kompor listrik hingga mendidih,
6. Sekam padi didinginkan pada suhu ruangan dan disimpan selama 24 jam.
7. Sampel sekam padi disaring menggunakan kertas saring.

3.3.2 Preparasi sampel Nanopartikel AgNO₃

Preparasi sampel nanopartikel AgNO₃.

1. AgNO₃ dilarutkan menggunakan aquadest dengan konsentrasi 8 mmol.

2. AgNO_3 dipanaskan pada suhu $100\text{ }^\circ\text{C}$.
3. AgNO_3 dititrasi menggunakan trisodium sitrat dengan konsentrasi $63,5\text{ mmol}$.
4. AgNO_3 diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 125 rpm hingga berwarna kuning.

3.3.3 Preparasi sampel Nanopartikel Ag/SiO₂

Preparasi sampel nanopartikel Ag/SiO₂.

1. Nanokomposit Ag/SiO₂ disintesis dengan mencampurkan sol SiO₂ sebanyak 50 ml dengan sol AgNO_3 sebanyak 50 ml kedalam *beaker glass*.
2. Kedua bahan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 125 rpm selama 3 jam .
3. Larutan sol Ag/SiO₂ ditambahkan HNO_3 sedikit demi sedikit sampai pH larutan menjadi netral.
4. Sampel didiamkan selama 24 jam agar menjadi homogen.

3.3.4 Sintesis Serbuk Nanopartikel Ag/SiO₂

Sintesis serbuk nanopartikel Ag/SiO₂.

1. Gel yang telah diperoleh dikeringkan di dalam *oven* pada suhu $100\text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 jam untuk menghilangkan kadar air sehingga terbentuk padatan sampel Ag/SiO₂.
2. Padatan yang diperoleh dihaluskan dengan cara digerus.
3. Padatan diayak dengan ukuran 200 mesh .
4. Serbuk Ag/SiO₂ yang telah diayak kemudian disintering dengan suhu $600\text{ }^\circ\text{C}$, $700\text{ }^\circ\text{C}$, $850\text{ }^\circ\text{C}$.

3.3.5 Karakterisasi Sampel

Karakterisasi sampel dilakukan dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Fourier Transformed Infrared* (FTIR).

3.3.5.1 *Fourier Transformed Infrared* (FTIR)

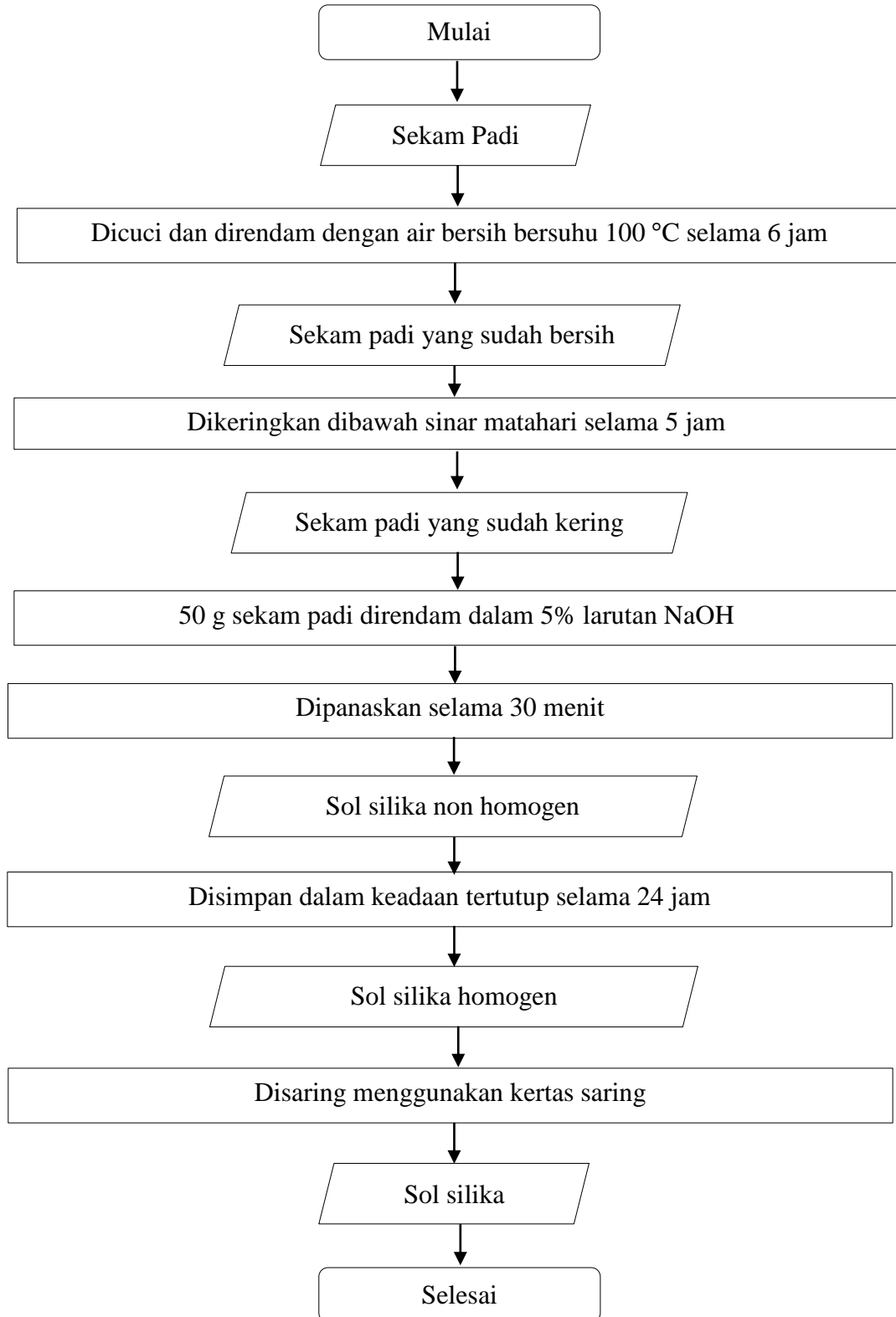
Karakterisasi FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi dari partikel Ag/SiO₂. Pembahasan data dilakukan dengan membandingkan hasil terhadap tabel bilangan gelombang dan gugus fungsi FTIR serta hasil penelitian terdahulu. Alat yang digunakan untuk karakterisasi ini yaitu Shimadzu IRPrestige21 dan Bruker ALPHA II.

3.3.5.2 *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX)

Karakterisasi SEM-EDX dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui mikrostruktur dari nanopartikel Ag/SiO₂ menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) jenis JEOL JSM 6510 LA.

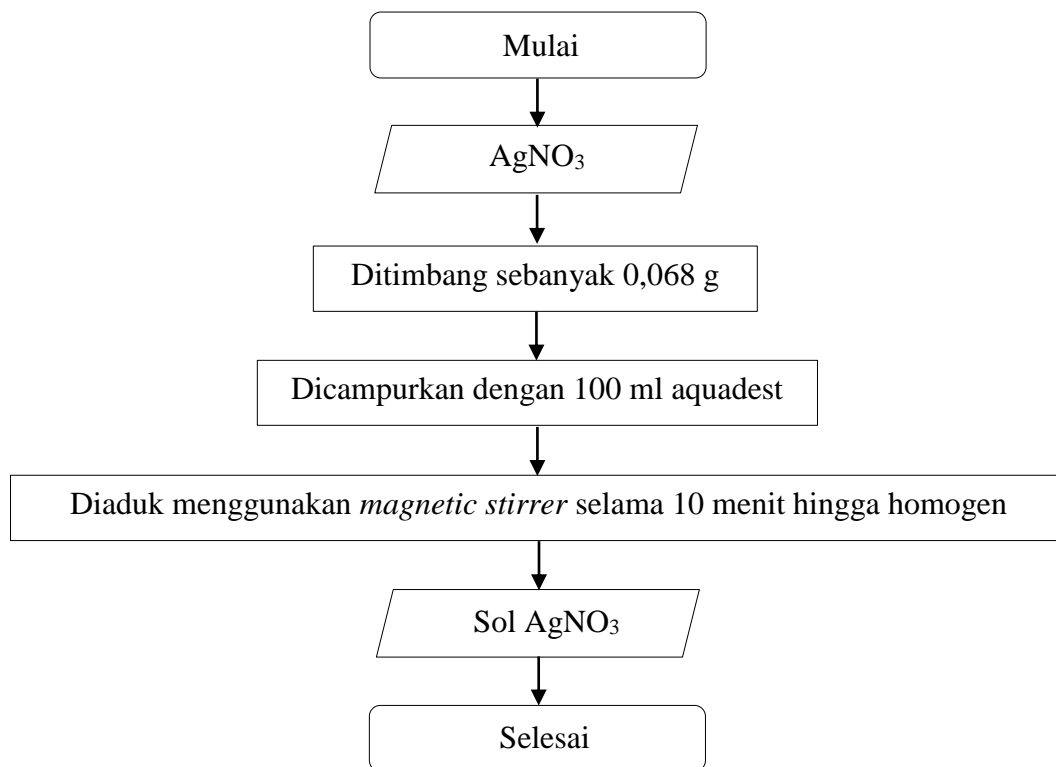
3.4 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir ekstraksi SiO_2 dari sekam padi disajikan pada **Gambar 3.1**.



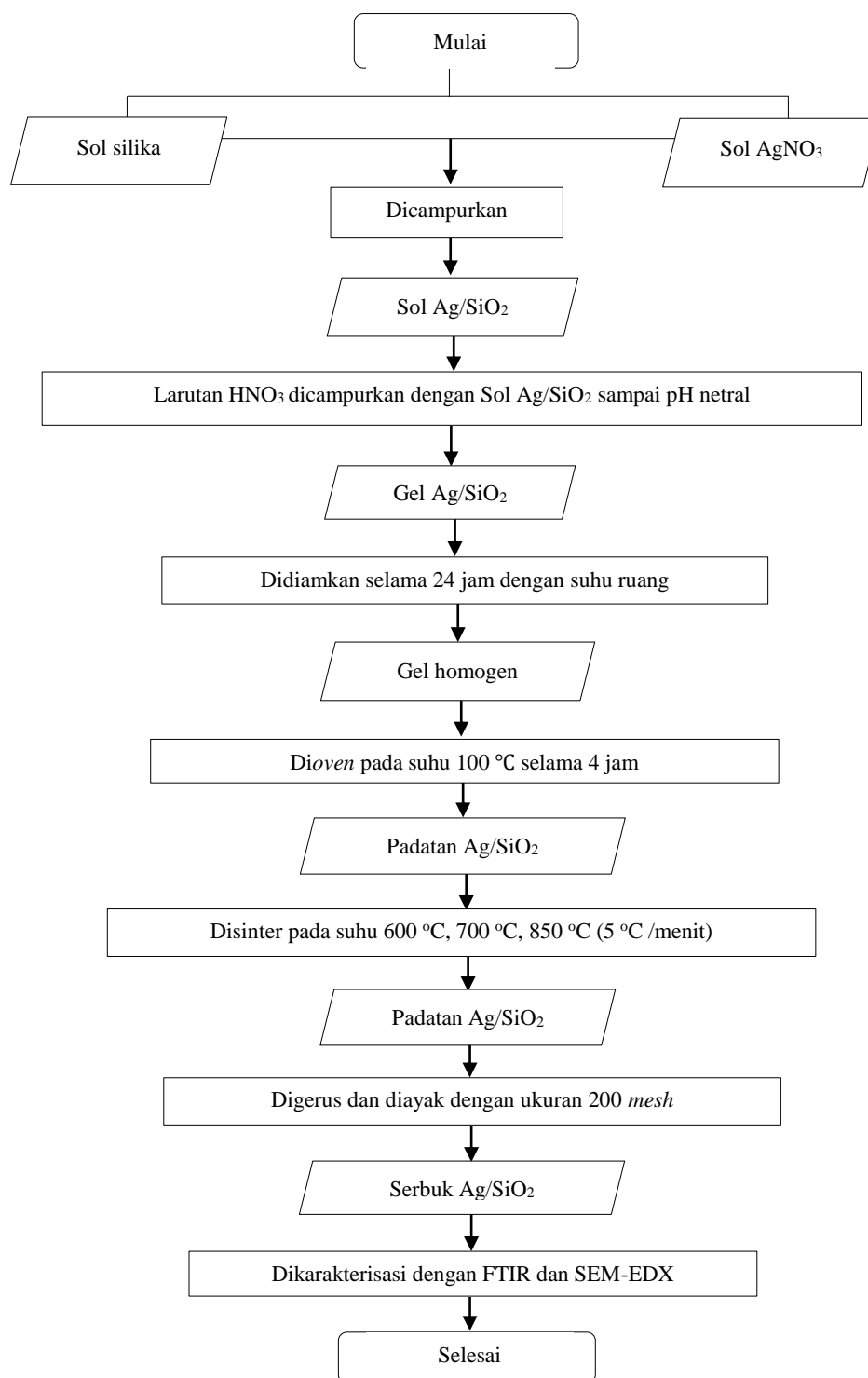
Gambar 3. 1. Diagram alir ekstraksi SiO_2 dari sekam padi

Diagram alir preparasi nanopartikel AgNO_3 pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3. 2. Diagram alir preparasi nanopartikel AgNO_3

Diagram alir sintesis sampel nanokomposit Ag/SiO₂ disajikan pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3. 3. Diagram alir sintesis sampel nanokomposit Ag/SiO₂

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini antara lain:

1. Penambahan suhu sintering (600 °C, 700 °C, dan 850 °C) mempengaruhi pembentukan gugus fungsi Ag/SiO₂. Sampel terbaik diperoleh pada suhu 850 °C yang terlihat adanya ikatan Ag-O serta ikatan O-Si-O yang merupakan ikatan penyusun dari Ag/SiO₂.
2. Kenaikan suhu sintering mempengaruhi ukuran partikel Ag/SiO₂. Kenaikan suhu sintering berakibat pada bertambahnya persentase ukuran partikel nano yang berkisar antara 0,082 μm sampai dengan 74,982 μm dengan persentase sebesar 50,33 %. Karakterisasi sampel menggunakan EDX terlihat masih ada unsur lain yang terkandung dalam sampel.

5.2 Saran

Saran yang penulis berikan untuk peneliti selanjutnya yaitu agar dapat melakukan penelitian yang lebih berfokus pada variasi suhu sintering di atas 850 °C supaya pembentukan nanopartikel Ag/SiO₂ lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Yudistira Virgus, N. N., & Khairurrijal, K. 2009. Sintesis Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*. 1(2), 33-57.
- Adam, F., Ahmed, A. E., & Min, S. L. 2008. Silver modified porous silica from rice husk and its catalytic potential. *Journal of Porous Materials*. 15(4), 433-444.
- Adi, W. A., Fauzy, R., Yana, T., dan Yusmaniar. 2018. Pengaruh komposisi silika dari abu sekam padi terhadap daya serap gelombang elektromagnetik pada komposit unsaturated polyester resins/silika. *Jurnal Ilmu Dasar*. 19(1): 7-16.
- Ariyanta, H. A. 2014. Preparasi nanopartikel perak dengan metode reduksi dan aplikasinya sebagai antibakteri penyebab luka infeksi. *Media Kesehatan Masyarakat Indonesia*. 10(1), 36-42.
- Arun K. D., Merline Shyla, J., dan Xavier, F. P. 2012. Synthesis and characterization of $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ nano composites for solar cell applications. *Applied Nanoscience*. 2(1): 429-436.
- Azat, S., E. Arkhangelsky., T. Papathanasiou., A. A. Zorpas., A. Abirov., dan V. J. I. 2020. Synthesis of Biosource Silica-Ag Nanocomposite and Amalgamation Reaction with Mercury in Aqueous Solution. *Comptes Rendus Chimie*. 2(3):77-92.
- Bacsik, Z., Mink, J., dan Keresztury, G. 2004. FTIR spectroscopy of the atmosphere. I. principles and methods. *Applied Spectroscopy Review*. 39(3): 295-363.
- Budnyak, T. M., Gładysz-Płaska, A., Strizhak, A. V., Sternik, D., Komarov, I. V., Majdan, M., dan Tertykh, V. A. 2018. Imidazole-2yl-phosphonic acid derivative grafted onto mesoporous silica surface as a novel highly effective

- sorbent for uranium (VI) ion extraction. *ACS applied materials & interfaces*. 10(7): 668-669.
- Chahadih, A., Hamzaoui, H., E., Cristini, O., Bigot, L., Bernard, R., Kinowski, C., Bouazaoui, M., dan Capoen, B. 2012. H₂-Induced copper and silver nanoparticle precipitation inside sol-gel silica optical fiber performs. *Nanoscale Research Letters*. 7(2): 2-7.
- Costa, A. C. F. M., Tortellab, E., Morellib, M. R., dan Kiminamib, R. H. G. 2003. Synthesis, microstructure and magnetic properties of Ni-Zn ferrites. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 25 (3): 174-182.
- Dudek, K., J. Podworny., M. Dulski., A. Nowak., J. Peszke. 2017. X-ray Investigations into Silica/Silver Nanocomposite. *Technical Article*. . 48, Hal. 1-5.
- Duhan, S. 2012. Development of Silver-Silica Nanocomposite for Novel Humidity Sensing Application. *Indian Journal of Applied Research*. 1(5): 220-221.
- Farah, R. D. E., Nur, F. A., dan Simon, S. 2022. Studi pendahuluan pembentukan gugus fungsi dari komposit perak silika (Ag/SiO₂) berbasis sekam padi. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. 10(1): 31-35.
- Garcia, D. A., A. O. Teran., F. P. Delgado., M. E. D. Garcia., dan G. P. Luis. 2016. Water-Compatible Core-Shell Ag/SiO₂ Molecularly Imprinted Particles for the Controlled Release of Tetracycline. *Journal Materials Science*. 15(2): 1-13.
- Geoffrey I. N. W., Graham A. B., dan James B. M. The thermal decomposition of Silver (I, III) oxide: A combined XRD, FTIR and Raman spectroscopic study. *Phys. Chem*. 3(1):3838-3845.
- Goncalves, M. R. F., dan Bergmann, C. P. 2007. Thermal insulators made with rice husk ashes: production and correlation between properties and microstructure. *Construction and Building Materials*. 21(3): 2059-2065.
- Granbohm, H., J. Larismaa., S. Ali., L. S. Johansson., dan S. P. Hannula. 2018. Control of the Size of Silver Nanoparticle and Release of Silver in Heat Treated SiO₂-Ag Composite Powders. *Materials*. 11 (1): 1-17.

- Guzman, M. G., Jean, D., dan Stephan, G. 2009. Synthesis of silver nanoparticles by chemical reduction method and their antibacterial activity. *International Journal Chemical Bimolecular*. 2(3): 35-47.
- Hamdila dan Jayanti, D. 2012. Pengaruh Variasi Massa Terhadap Karakteristik Fungsional dan Termal Komposit Magnesium Silikat Berbasis Silika Sekam Padi Sebagai Katalis. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Hamead, A. A. A., Sura, S. A., Shatha, R. A. A., Mayyadah, S. A., ASeel, B. A., dan Ghufuran, K. H. 2019. Employing recycling materials for the fabrication of smart mortar. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.154>
- Haryono, A., Sondari, D., Harmani, S. B., dan Muhammolad, R. 2008. Sintesa nanopartikel perak dan potensi aplikasinya. *Jurnal Riset Industri*. 2(3): 156-163.
- Hedge, S. G., R. Kumar, R. N. Bhat, dan P. Ratnasamy. 1989. Characterization of the Acidity of Zeolite Beta by FTIR Spectroscopy and TPD of NH₃. *Zeolites*. 9(1): 231-237.
- Heshmatpour, F., Adelkhani, H., dan Jangholi, M. 2011. Studying of optical and morphological properties of SiO₂-MO_x (M: Co/Cu) glasses prepared by the sol-gel method. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 35(7): 1409-1413.
- Hindrayawati dan Mujiyanti. 2010. Jenis-Jenis dan Sifat-Sifat Bambu, Silika, Ekstraksi Silika, Keramik Silika, dan Karakterisasinya. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Inkson, B. J. 2016. *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*. Woodhead Publishing. Cambridge.
- Jean, R. D., K. C. Chiu., T. H. Chen., C. H. Chen., dan D. M. Liu. 2010. Functionalized Silica Nanoparticle by Nanometallic Ag Decoration for Optical Sensing of Organic Molecule. *Journal Physics and Chemistry*. 11(4): 156-165.
- Jittiarporn, P., Badilescu, S., Al Sawafta, M. N., Sikong, L., dan Truong, V. V. 2017. Electrochromic properties of sol-gel prepared hybrid transition metal oxides a short review. *Journal of Science Advanced Materials and Devices*. 2(3):286-300.

- Karthik, S., & Mohan, K. S. R. (2021). A Tauguchi Approach for Optimizing Design Mixture of Geopolymer Concrete Incorporating Fly Ash, Ground Granulated Blast Furnace Slag and Silica Fume. *Crystals*. 11(11): 127-139.
- Kharin, A.Y. 2020. Deep learning for scanning electron microscopy: synthetic data for the nanoparticle's detection. *Ultramicroscopy*. <https://doi.org/10.1016/j.ultramic.2020.113125>
- Kumar, A., Mohanta, K., Kumar, D. & Parkash, O. 2012. Properties and industrial applications of rice husk. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2(1): 86-90.
- Meliyana, Rahmawati, C., dan Lia, H. 2019. Sintesis silika dari sekam padi dan pengaruhnya terhadap karakteristik bata ringan. *Journal of Science and Technology*. 5(2): 164-175.
- Mittal, D. 1997. Silica from ash: a valuable product from waste material. *Resonance*. 2(7): 64-66.
- Nariyal, R. K., Kothari, P., dan Bisht, B. 2014. FTIR measurements of SiO₂ glass prepared by sol-gel technique. *Chemical Science Transactions*. 3(3): 1064-1066.
- Nicolet, t. 2001. introduction to fourier transform infrared spectrometry. thermo nicole corporation. usa.
- Nomoev, V. L. A, Lygdenov, V., Mankhirov, V, Khartaeva, E., dan Syzrantsev, E. 2020. Porous silicon obtained by the metallic thermal reduction of high-purity silica gel Porous silicon obtained by the metallic thermal reduction of high-purity silica gel. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng*.
- Oh, T., dan Choi, C. K. 2010. Comparison between SiOC thin films fabricated by using plasma enhance chemical vapor deposition and SiO₂ thin films by using fourier transform infrared spectroscopy. *J. Korean Phys. Soc.* 5(4): 150-155.
- Parashar, V.K., Raman, V., dan Bahl, O.P. 1996. The role of N,N, dimethylformamide and glycol in the preparation and properties of sol-gel derived silica. *Journal Mater. Sci. Lett.* 15(16): 140-153.
- Perego, C. dan Villa, P. 1997. Catalyst preparation methods. *Catalysis Today*. 34 (1): 281-305.

- Pham, D. P., K. K. Huynh., C. V. Tran., V. Q. Fu., dan T. T. V. Tran. 2014. Preparation and Structural Characterization of Sol-Gel-Derived Silver Silica Nanocomposite Powders. *International Journal of Materials Science and Application*. 3(1): 147–151.
- Pratomo, Ilham, Sri, W., dan Danar, P. 2013. Pengaruh teknik ekstraksi dan konsentrasi HCl dalam ekstraksi silika dari sekam padi untuk sintesis silika xerogel. *Kimia Studentjournal*. 2(1): 58-64.
- Raharjo, J. 2015. Pengaruh tingkat kemurnian bahan baku alumina terhadap temperatur sintering dan karakteristik keramik alumina. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*. 1-13.
- Reed, S. J. B. 2005. *Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology*. Cambridge university press. Cambridge.
- Romer, I., Gavin, A. J., White, T. A., Merrifield, R. C., Chipman, J. K., Viant, M. R., dan Lead, J. R. 2013. The critical importance of defined media conditions in daphnia magna nanotoxicity studies. *Technology Letter*. 22(1): 103-108.
- Sakka, S. 2013. *Handbook of Advanced Ceramics: Chapter 11.1.2. Sol-gel process and applications*. Elsevier Inc Chapters. Amsterdam.
- Sakthisabarimoorthi, A., Jose, M., Martin Britto Dhas, S. A., dan Jerome Das, S. 2017. Fabrication of Cu@ Ag core-shell nanoparticles for nonlinear optical applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 8(2): 45-52.
- Scholze, B., dan Meier, D. 2001. Characterization of the water-insoluble fraction from pyrolysis oil (pyrolytic lignin). Part I. PY-GC/MS, FTIR, and functional groups. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 6(1): 41-54.
- Schubert, U. 2003. Sol-Gel Processing of Metal Compounds. Dalam *Comprehensive Coordination Chemistry II*. Elsevier. 7(1): 62-66.
- Sembiring, S. dan Karo-Karo, P. 2007. Pengaruh suhu sintering terhadap karakteristik termal dan mikrostruktur silika sekam padi. *Jurnal Sains MIPA*. 13(1): 23-39.

- Sembiring, S., Riyanto, A., Firdaus, I., Junaidi, J., dan Situmeang, R. 2022. Structure and properties of silver-silica composite prepared from rice husk silica and silver nitrate. *Ceramics-Silik ty*. 6(2): 167-177.
- Shokri, B., Firouzjah, M. A., dan Hosseini, S. I. 2009. FTIR analysis of silicon dioxide thin film deposited by metal organic-based PECVD. *In Proceedings of 19th international symposium on plasma chemistry society*. 26(3): 26-31.
- Simanjuntak, W., Sembiring, S., dan Sebayang, K. 2012. Effect of pyrolysis temperatures on composition and electrical conductivity of carbosil prepared from rice husk. *Indonesia Journal Chemistry*. 12(2): 119-125.
- Sugiarto, K. H., dan Suyanti, R. D. 2010. Kimia anorganik II dasar-dasar kimia anorganik logam. *Jurnal of Chemical Information and Modeling*. 5(3): 168-179.
- Suka, I. G., Simanjuntak, W., Sembiring, S., dan Evi, T. 2008. Karakteristik Silika Sekam Padi dari Provinsi Lampung yang Diperoleh dengan Metode Ekstraksi. *MIPA*. 37(1): 47-52.
- Sun, D. H., Lu, P., Zhang, J. L., Liu, Y. L., dan Ni, J. Z. 2011. Synthesis of the Fe₃O₄@ SiO₂@ SiO₂-Tb (PABA) 3 luminomagnetic microspheres. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 11(1), 74-89.
- Stefanescu, M., Stoia, M., dan Stefanescu, O. 2007. Thermal and FT-IR study of the hybrid ethylene-glycol-silica matrix. *Journal of sol-gel science and technology*. 4(1): 71-78.
- Stuart, B. 2004. *Infrared Spectroscopy: Fundamental and Applications*. John Wiley and Sons. United Kingdom.
- Tezcan, E., dan atici, O. G. 2017. Isolation of cellulose and hemicellulose by using alkaline peroxide. *Natural and Engineering Sciences*. 2(2): 100-110.
- Tran, O. H., Nnguyen, V. O., dan Le, A. T. 2013. Silver nanoparticles: synthesis, properties, toxicology, application, and perspective. *Adv. Nat. Sci: Nanosci. Nanotechnol*. 4(1): 1-20.
- Trianasari, T., Manurung, P., dan Karo, P. K. 2017. Analisis dan Karakterisasi Kandungan Silika (SiO₂) sebagai Hasil Ekstraksi Batu Apung (Pumice). *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. 5(2): 179-186.

- Vijayalakshmi, U., Balamurugan, A., dan Rajeswari, S. 2005. Synthesis and characterization of porous silica gels for biomedical applications. *Trends Biomater Artif Organs*. 18(2): 101-105.
- Wuttke, S., Coman, S. M., Krohnert J., Jentoft, F. C., dan Kemnitz, E. 2010. Sol-gel prepared nanoscopic metal fluorides-A nes class of tunable acid based catalysts. *Catalyst Today*. 15(1): 2-10.
- Yuan, Q. H., Wang, X. M., Yin, G. Q., Li, J., dan Dong, C. Z. 2016. The Organosilicon thin Film Deposited Using an Atmospheric Pressure Dual-Frequency 50 kHz/33 MHz Frequency MicroPlasma Jet. *Contributions to Plasma Physics*. 5(9): 70-87.
- Yulianti, I. P. I. 2020. Nanoenkapsulasi oleoresin ampas jahe dengan matriks maltodekstrin menggunakan metode spray drying. *Doctoral Dissertation*. Universitas Islam Indonesia.