

ANALISIS STRUKTUR FASA, SIFAT TERMAL, DAN ENERGI *BAND GAP* NANOMATERIAL PERAK SILIKA (Ag/SiO₂) YANG DISINTESIS MENGGUNAKAN METODE SOL GEL PADA SUHU *SINTERING* 850 °C

(Skripsi)

Oleh

YESSI EFRIDAHNIAR



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

ABSTRAK

ANALISIS STRUKTUR FASA, SIFAT TERMAL, DAN ENERGI *BAND GAP* NANOMATERIAL PERAK SILIKA (Ag/SiO₂) YANG DISINTESIS MENGGUNAKAN METODE SOL GEL PADA SUHU *SINTERING* 850 °C

Oleh

YESSI EFRIDAHNIAR

Sintesis perak silika (Ag/SiO₂) dengan metode sol gel menggunakan silika dari sekam padi telah berhasil dilakukan. Nanopartikel perak disintesis menggunakan perak nitrat (AgNO₃) dengan konsentrasi 8 mM dengan metode reduksi pada suhu 90 °C. Zat pereduksi dan penstabil menggunakan trisodium sitrat 64 mM. Nanomaterial Ag/SiO₂ dibuat dengan perbandingan sol silika dan nanopartikel perak sebesar 1:1. Sampel Ag/SiO₂ dianalisis dengan XRD, TGA/DTA, dan Uv-Vis untuk mengetahui struktur fasa, sifat termal, dan energi *band gap*. Hasil analisis XRD menunjukkan struktur silika yang terbentuk adalah kristobalit dan kristal perak berbentuk *face center cubic* (FCC). Hasil analisis TGA/DTA diperoleh nanomaterial Ag/SiO₂ mengalami susut massa sebesar 12%. Hasil analisis Uv-Vis Ag/SiO₂ memiliki puncak serapan maksimum pada panjang gelombang 412 nm dengan energi *band gap* sebesar 2,25 eV.

Kata kunci : perak silika, sekam padi, perak nitrat, XRD, TGA/DTA, Uv-Vis

ABSTRACT

ANALYSIS OF PHASE STRUCTURE, THERMAL PROPERTIES, AND ENERGY OF BAND GAP SILVER SILICA (Ag/SiO₂) NANOMATERIAL SYNTHESIS USING SOL GEL METHOD AT SINTERING TEMPERATURE 850 °C

By

YESSI EFRIDAHNIAR

The synthesis of silica silver (Ag/SiO₂) by the sol-gel method using silica from rice husk has been successfully carried out. Silver nanoparticles were synthesized using 8 mM silver nitrate (AgNO₃) by reduction method at 90 °C. The reducing agent and stabilizer used was trisodium citrate 64 mM. Ag/SiO₂ nanomaterials were made with a 1:1 ratio of silica sol and silver nanoparticles. Ag/SiO₂ samples were analyzed by XRD, TGA/DTA, and Uv-Vis to determine the phase structure, thermal properties, and band gap energy. The results of the XRD analysis showed that the structure of the silica formed was cristobalite and silver crystals in the form of face center cubic (FCC). The results of the TGA/DTA analysis showed that the Ag/SiO₂ nanomaterial experienced a mass loss of 12%. The results of the Uv-Vis analysis of Ag/SiO₂ have a maximum absorption peak at a wavelength of 412 nm with a band gap energy of 2.25 eV.

Keywords : *silver silica, rice husk, silver nitrate, XRD, TGA/DTA, Uv-Vis*

**ANALISIS STRUKTUR FASA, SIFAT TERMAL, DAN ENERGI BAND
GAP NANOMATERIAL PERAK SILIKA (Ag/SiO₂) YANG DISINTESIS
MENGUNAKAN METODE SOL GEL PADA SUHU *SINTERING* 850 °C**

Oleh

YESSI ERIDAHNIAR

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Lampung



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

Judul Penelitian : **ANALISIS STRUKTUR FASA, SIFAT TERMAL, DAN ENERGI *BAND GAP* NANOMATERIAL PERAK SILIKA (Ag/SiO₂) YANG DISINTESIS MENGGUNAKAN METODE SOL GEL PADA SUHU *SINTERING* 850 °C**

Nama Mahasiswa : **Yessi Efridahniar**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1817041067**

Jurusan : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



MENYETUJUI

1. **Komisi Pembimbing**

Dr. Junaidi, S.Si., M. Sc.
NIP. 19820618 200812 1 001

Iqbal Firdaus, S.Si., M.Si.
NIP. 19900616 201903 1 016

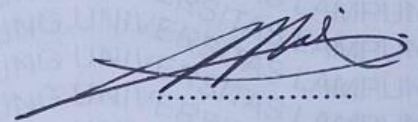
2. **Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung**

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

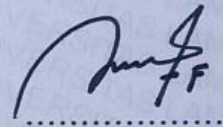
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

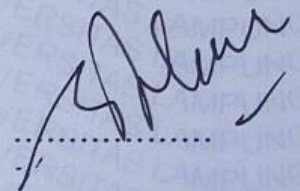
Ketua : **Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.**



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



Penguji
Bukan Pembimbing : **Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, S. Si., M. T.
NIP. 197407052000031001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **25 Januari 2023**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 2 Januari 2023



Yessi Efridahjar
NPM. 1817041067

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Yessi Efridahniar, dilahirkan di Way Jepara, Lampung Timur pada tanggal 20 April 2000. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Mudakir dan Ibu Sumidah. Penulis menyelesaikan Pendidikan di Taman Kanak-Kanak Pertiwi Braja Asri pada tahun 2006, dilanjutkan Sekolah Dasar Negeri (SDN) Braja Asri pada tahun 2012, Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 1 Way Jepara pada tahun 2015 dan Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 1 Way Jepara pada tahun 2018. Penulis terdaftar sebagai mahasiswi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN tahun 2018.

Selama menjadi mahasiswi, penulis aktif mengikuti beberapa organisasi. Pada tahun 2019 penulis menjadi anggota Biro Kesekretariatan dan Rumah Tangga Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) dan anggota Dinas Pengembangan Sains dan Lingkungan Hidup (PSLH) BEM FMIPA. Pada tahun 2020 penulis menjadi Sekretaris Umum Himafi. Penulis melaksanakan pengabdian masyarakat dengan mengikuti acara Karya Wisata Ilmiah (KWI) di Desa Tanjung Tirto, Kec. Way Bungur, Kab. Lampung Timur pada tahun 2018 dan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung di Desa Braja Asri, Kec. Way Jepara, Kab. Lampung Timur tahun 2021. Penulis juga melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Fisika Eksperimen dan Inti FMIPA Unila dengan judul “Pembuatan Tata Tertib Laboratorium Berbasis Infografis”.

MOTTO

Ketetapan-Nya Pasti Akan Datang, dan Janganlah Kamu Minta Agar Dipercepat
(Q.S. An-Nahl : 4)

Dan Aku Belum Pernah Kecewa dalam Berdoa Kepada-Mu, Ya Tuhanku
(Q.S. Maryam : 4)

“Kita Boleh Semuanya, Tapi Jangan Semaunya”
(Yessi Efridahniar)

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, kupersembahkan karya ini kepada:

Kedua Orang Tuaku

Bapak Mudakir dan Ibu Sumidah

Sumber kekuatan dalam hidup saya. Terima kasih yang sebesar-besarnya telah memberikan dan mendoakan yang terbaik untuk anak-anaknya, sehingga saya dapat menyelesaikan pendidikan S1 ini.

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT. yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Struktur Fasa, Sifat Termal, dan Energi *Band gap* Nanomaterial Perak Silika (Ag/SiO₂) yang Disintesis Menggunakan Metode Sol Gel pada Suhu *Sintering* 850 °C**”. Tujuan penulisan skripsi ini sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sehingga dapat menjadi perbaikan untuk kekurangan dalam skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat, menambah wawasan literasi keilmuan, serta rujukan untuk mengembangkan riset selanjutnya agar lebih baik dan sempurna.

Bandar Lampung, 2 Januari 2023
Penulis

Yessi Efridahniar

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan atas karunia yang telah dilimpahkan oleh Allah Subhanahu wa ta'ala sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Analisis Struktur Fasa, Sifat Termal, dan Energi *Band gap* Nanomaterial Perak Silika (Ag/SiO₂) yang Disintesis Menggunakan Metode Sol Gel pada Suhu *Sintering* 850 °C”**. Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis telah mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Junaidi S.Si., M.Sc. selaku Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan, saran dan motivasi, serta ilmu yang bermanfaat selama penelitian dan penulisan skripsi.
2. Bapak Iqbal Firdaus, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan bimbingan, saran dan motivasi, serta ilmu yang bermanfaat kepada penulis.
3. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si. selaku Penguji yang senantiasa memberikan kritik dan saran dalam penyelesaian penulisan skripsi.
4. Almarhum Prof. Simon Sembiring, Ph.D. yang telah memberikan ilmunya dan memotivasi untuk tidak boleh menyerah dalam belajar.
5. Bapak Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing Akademik yang telah banyak memberi nasihat dan juga motivasi dari awal masuk kuliah sampai dengan selesai.
6. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
7. Seluruh Dosen Jurusan Fisika atas segala ilmu yang telah diberikan selama penulis menjadi mahasiswa di Universitas Lampung. Para staff dan karyawan Jurusan Fisika yang telah membantu memenuhi kebutuhan

administrasi penulis.

8. Kedua orang tua, Adikku Syahril Al Azhari dan Syahrul Al Azhari, Opom, Paktuo, serta seluruh keluarga besar yang selalu memberi motivasi dan dorongan kepada penulis.
9. Tim penelitian Ag/SiO₂, Firmada Fardony, Wiwin Sulistiani, Nur Fikarimah, dan Syafiq Rafi Hariputra yang saling memberi semangat, bantuan, dan kebersamaannya selama ini.
10. Teman seperjuangan Intan Pubiyanti, Mei Suryani, Noni Susanti, Wiwin Sulistiani, Monica Okta Violeta, dan Rini Vamulia yang selalu memberi semangat dan dukungan dalam segala kondisi.
11. Teman-teman seperjuangan Fisika 2018, dan keluarga besar Himafi yang telah memberi motivasi dan banyak pengalaman kepada penulis.
12. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan doa, motivasi, bantuan moril maupun materil kepada penulis.

Semoga Allah SWT. senantiasa memberikan balasan atas segala kebaikan yang telah dilakukan oleh semua pihak sehingga skripsi ini dapat selesai dan bermanfaat.

Bandar Lampung, 2 Januari 2023
Penulis,

Yessi Efridahniar

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 GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Silikon Dioksida (SiO ₂).....	6

2.2	Sumber Silika	6
2.2.1	Silika Mineral	7
2.2.2	Silika Sintesis	7
2.2.3	Silika Nabati	7
2.3	Proses Sol Gel.....	9
2.4	Nanopartikel Perak	10
2.5	Perak Silika (Ag/SiO ₂)	11
2.6	Karakterisasi Sampel	12
2.6.1	Difraksi Sinar-X (<i>X-Ray Diffraction</i> , XRD)	12
2.6.2	<i>Thermo Gravimetric Analysis/Differential Thermal Analysis</i> (TGA/DTA).....	14
2.6.3	Spektrofotometer UV-Vis.....	16
III.	METODE PENELITIAN	18
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	18
3.3	Prosedur Percobaan	19
3.3.1	Preparasi Ekstraksi Sol Silika Sekam Padi.....	19
3.3.2	Preparasi Nanopartikel Perak	21
3.3.3	Sintesis Nanokomposit Ag/SiO ₂	22
3.3.4	Karakterisasi dan Data Uji Sampel.....	22
3.4	Diagram Alir.....	26
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1	Hasil Sintesis Nanomaterial Ag/SiO ₂	28
4.1.1	Preparasi Ekstraksi Sol Silika Sekam Padi.....	28
4.1.2	Hasil Preparasi Nanopartikel Perak	29
4.1.3	Hasil Sintesis Nanomaterial Ag/SiO ₂	30
4.2	Hasil Karakterisasi XRD pada Sampel Ag/SiO ₂	32
4.2.1	Analisis Kualitatif XRD	32
4.2.2	Analisis Kuantitatif XRD	34
4.3	Hasil Karakterisasi TGA/DTA Sampel Ag/SiO ₂	36
4.4	Hasil Karakterisasi UV-Vis Sampel Ag/SiO ₂	38
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.1	Kesimpulan.....	56
5.2	Saran	56
	DAFTAR PUSTAKA	56
	LAMPIRAN.....	56

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Prinsip XRD.....	13
Gambar 2.2 Difraktogram Ag/SiO ₂	14
Gambar 2.3 Skema TGA Modern	14
Gambar 2.4 Grafik TGA/DTA	16
Gambar 2.5 Spektrofotometer UV-Vis.....	17
Gambar 3.1 Preparasi ekstraksi sol silika sekam padi.....	20
Gambar 3.2 Preparasi nanopartikel perak.....	21
Gambar 3.3 Sintesis nanokomposit Ag/SiO ₂	22
Gambar 3.4 Difraktogram sampel Ag/SiO ₂	23
Gambar 3.5 Grafik TGA.....	25
Gambar 3.6 Grafik DTA.....	25
Gambar 3.7 Spektrum absorbansi Ag/SiO ₂ terhadap panjang gelombang.....	26
Gambar 3.8 (a) <i>direct band gap</i> nanomaterial Ag/SiO ₂ ; (b) <i>indirect band gap</i> nanomaterial Ag/SiO ₂	26
Gambar 3.9 Diagram alir prosedur percobaan.....	27
Gambar 4.1 (a) 50 gram sekam padi yang telah dipreparasi; (b) sekam padi ditambahkan larutan NaOH 5%; (c) sekam padi yang dipanaskan; (d) sol silika yang telah disaring	28
Gambar 4.2 (a) larutan perak yang dipanaskan dan diaduk; (b) larutan perak yang diinjeksikan trisodium sitrat; (c) nanopartikel perak	29
Gambar 4.3 (a) 50 ml sol silika; (b) 50 ml nanopartikel perak; (c) sol Ag/SiO ₂ ; (d) Gel Ag/SiO ₂	30

Gambar 4.4 (a) Gel Ag/SiO ₂ yang telah dicuci; (b) pengeringan komposit Ag/SiO ₂ ; (c) komposit Ag/SiO ₂ yang sintering suhu 850 °C	31
Gambar 4.5 Difraktogram sampel Ag/SiO ₂	32
Gambar 4.6 Hasil <i>refinement</i> data XRD nanomaterial Ag/SiO ₂	34
Gambar 4.7 Grafik TGA nanomaterial Ag/SiO ₂	36
Gambar 4.8 Grafik DTA nanomaterial Ag/SiO ₂	37
Gambar 4.9 Spektrum Absorbansi Nanomaterial Ag/SiO ₂	38
Gambar 4.10 (a) <i>direct band gap</i> Ag; (b) <i>direct band gap</i> SiO ₂ ; (c) <i>direct band gap</i> Ag/SiO ₂	40
Gambar 4.11 (a) <i>indirect band gap</i> Ag; (b) <i>indirect band gap</i> SiO ₂ ; (c) <i>indirect band gap</i> Ag/SiO ₂	41

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Komponen utama sekam padi	8
Tabel 3.1 Bahan-bahan yang digunakan	18
Tabel 3.2 Alat-alat yang digunakan dalam sintesis komposit Ag/SiO ₂	19
Tabel 3.3 Alat karakterisasi komposit Ag/SiO ₂	19
Tabel 3.4 Ukuran partikel.....	23
Tabel 3.5 Kesesuaian <i>refinement</i> XRD sampel Ag/SiO ₂	24
Tabel 3.6 Penyusutan massa pada sampel (TGA).....	24
Tabel 4.1 Ukuran partikel nanomaterial Ag/SiO ₂	33
Tabel 4.2 Persentase <i>refinement</i> data XRD nanomaterial Ag/SiO ₂	35
Tabel 4.3 Persentase berat nanomaterial Ag/SiO ₂ berdasarkan <i>output rietica</i>	35
Tabel 4.4 Persentase berat nanomaterial Ag/SiO ₂	35
Tabel 4.5 Parameter sel nanomaterial Ag/SiO ₂	36
Tabel 4.6 Persentase susut massa pada sampel nanomaterial Ag/SiO ₂	37
Tabel 4.7 Energi <i>band gap</i> berdasarkan referensi	42

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan nanomaterial saat ini sudah mendominasi hampir semua aspek kehidupan. Benda yang ada di sekitar sangat dipengaruhi oleh peran struktur nano. Hal ini yang membuat kajian nano dalam bidang ilmu fisika menjadi sangat menarik untuk digeluti. Secara umum, nanomaterial menjelaskan suatu bahan yang komponen strukturnya berukuran antara 1 sampai dengan 100 nm. Sifat dari nanomaterial mempunyai karakteristik katalisis, adsorpsi, dan reaktifitas yang tinggi. Oleh karena itu, nanomaterial diteliti dan dikembangkan dalam berbagai bidang.

Perak (Ag) telah menunjukkan potensi yang menjanjikan di berbagai bidang dan memberikan kontribusi signifikan terhadap kemajuan bidang nanomaterial. Menurut Tran *et al.* (2013) menyatakan bahwa nanopartikel perak mempunyai sifat yang unik, antara lain mempunyai sifat kimia yang stabil, katalis dan bahan antibakteri, serta bersifat netral didalam air. Aplikasi paling luas dari nanopartikel perak saat ini sebagai antibakteri (Zaman *et al.*, 2022) dan antivirus mengingat pandemi *Corona Virus Disease 2019* (COVID-19) (Jeremiah *et al.*, 2020). Nanopartikel perak juga dimanfaatkan dalam industri tekstil pada membran filtrasi sistem pemurnian air (Salem & Fouda, 2021), sensor (Imran *et al.*, 2020), dan katalis (Paul *et al.*, 2021).

Nanopartikel perak dapat diperoleh dengan metode reduksi. Metode ini dipilih karena metodenya yang mudah, murah, dan menggunakan temperatur rendah. Pada umumnya dalam metode ini, ion logam direduksi oleh agen pereduksi dengan penambahan agen penstabil. Stabilitas nanopartikel memegang peranan yang sangat penting terutama ketika nanopartikel diaplikasikan ke dalam sebuah

produk. Indikator terbentuknya nanopartikel perak adalah berubahnya warna larutan dari bening menjadi kuning terang (Junaidi, 2017). Menurut Mohd *et al.* (2019) nanopartikel perak terbentuk pada panjang gelombang 380-450 nm. Dalam pembuatan nanopartikel perak dibutuhkan sebuah agen pereduksi dan zat penstabil. Zat penstabil yang biasa digunakan adalah trisodium sitrat ($C_6H_5Na_3O_7$) (Khatoon *et al.*, 2017). Masalah yang biasa ditemui pada nanopartikel perak saat melakukan kontak langsung dengan bakteri yaitu mengalami agregasi. Agregasi ini dapat menyebabkan aktivitas antibakterinya menurun dan luas permukaan nanopartikel perak menurun. Untuk mencegah hal ini maka nanopartikel perak perlu diaplikasikan pada matriks seperti silika.

Silika (SiO_2) menjadi minat yang cukup besar dalam ilmu material karena dapat dijadikan bahan dasar komposit dan matriks. Sumber silika dapat ditemukan pada sekam padi. Silika dari sekam padi menarik untuk dikembangkan karena ketersediannya yang melimpah dan mengandung silika yang tinggi, yakni 16-20% berat dari sekam padi (Prabha *et al.*, 2021). Silika dari sekam padi diketahui memiliki fasa amorf yang menunjukkan bahwa silika sekam padi merupakan material berpori sehingga dapat dimanfaatkan sebagai adsorben (Shukla, 2020). Selain itu, silika amorf juga bersifat reaktif, memiliki luas permukaan yang besar, dan stabilitas termal yang tinggi.

Untuk memanfaatkan ketersediaan dan sifat unggul kedua material tersebut, dapat dibuat komposit Ag/SiO_2 . Metode yang dapat digunakan dalam pembuatan komposit Ag/SiO_2 adalah metode sol gel. Metode sol gel dipilih karena hasil yang diperoleh memiliki kemurnian yang tinggi. Penelitian mengenai Ag/SiO_2 telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Penelitian Pham *et al.* (2014) berhasil membuat serbuk nanomaterial perak silika (Ag/SiO_2) berbasis *tetraethyl orthosilicate* (TEOS) melalui metode sol gel dengan variasi suhu *sintering* 400-1.000 °C. Pada penelitian ini diungkapkan bahwa nanokristal perak telah muncul setelah pemanasan pada suhu 600 °C dan selesai pada suhu 1.000 °C. Nanopartikel perak dapat terdistribusi homogen diseluruh jaringan silika amorf pada suhu 800 °C. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Dudek *et al.* (2017) mengungkapkan bahwa struktur nanokomposit Ag/SiO_2 stabil hingga suhu 1.000 °C. Kandungan

perak menurun pada suhu 1040 °C dan diatas suhu 1100 °C perak tidak terdeteksi lagi pada sampel.

Penelitian terbaru mengenai Ag/SiO₂ juga dilakukan oleh Sembiring *et al.* (2022) telah berhasil membuat komposit Ag/SiO₂ berbasis silika dari sekam padi menggunakan metode sol gel. Dalam penelitian tersebut menggunakan variasi konsentrasi perak sebesar 0,3-0,8 M, dengan suhu sintering 850 °C. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi perak nitrat (AgNO₃) maka tingkat intensitas kemunculan struktur kristal perak bertambah. Serta dalam komposit Ag/SiO₂ struktur silika dan perak tidak saling bereaksi membentuk struktur baru. Hasil analisis TGA menunjukkan bahwa variasi konsentrasi AgNO₃ terhadap silika sekam padi tidak berpengaruh terhadap penyusutan massa. Serta nilai *band gap* yang dihasilkan semakin meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi AgNO₃ pada setiap sampel.

Berdasarkan penelitian tersebut, penelitian ini akan menyintesis nanopartikel perak ke dalam matriks silika berbasis sekam padi menggunakan metode sol gel. Silika dari sekam padi dalam bentuk sol memiliki kandungan dan kemurnian silika yang relatif tinggi, hal ini menunjukkan bahwa sekam padi memiliki potensi yang sangat besar. Selain itu sekam padi juga melimpah di alam. Penggunaan silika berbasis sekam padi inilah yang menjadi salah satu keunggulan dalam penelitian ini jika dibandingkan dengan silika lain seperti TEOS yang memiliki kelemahan yaitu dapat merusak kulit dan menyebabkan kebutaan. Dari segi ekonomi, harga TEOS relatif mahal sehingga tidak bernilai ekonomis. Metode yang digunakan dalam mensintesis nanopartikel perak adalah metode reduksi. Ion logam yang digunakan yaitu AgNO₃ dengan konsentrasi 8 mM, dan menggunakan trisodium sitrat sebagai agen pereduksi. Sampel selanjutnya disintering pada suhu 850 °C dan dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur fasa, *Thermal Gravimetric Analysis/Differential Thermal Analysis* (TGA/DTA) untuk mengetahui sifat termal, dan UV-Vis untuk mengetahui energi *band gap*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sintesis nanomaterial Ag/SiO₂ menggunakan metode sol gel pada suhu *sintering* 850 °C?.
2. Bagaimana analisis struktur fasa terhadap nanomaterial Ag/SiO₂ yang disintering pada suhu 850 °C?.
3. Bagaimana analisis sifat termal terhadap nanomaterial Ag/SiO₂ yang disintering pada suhu 850 °C?.
4. Bagaimana analisis energi *band gap* terhadap nanomaterial Ag/SiO₂ yang disintering pada suhu 850 °C?.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui sintesis nanomaterial Ag/SiO₂ menggunakan metode sol gel pada suhu *sintering* 850 °C.
2. Mengetahui analisis struktur fasa terhadap nanomaterial Ag/SiO₂ yang disintering pada suhu 850 °C.
3. Mengetahui analisis sifat termal terhadap nanomaterial Ag/SiO₂ yang disintering pada suhu 850 °C.
4. Mengetahui analisis energi *band gap* nanomaterial Ag/SiO₂ yang disintering pada suhu 850°C.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Konsentrasi larutan perak nitrat (AgNO₃) sebesar 8 mM.
2. Silika yang digunakan adalah silika berbasis sekam padi yang diekstraksi menggunakan proses sol gel dengan natrium hidroksida (NaOH) 5%.
3. Perbandingan sol silika sekam padi dan larutan nanopartikel perak sebesar 1:1.
4. Menggunakan asam nitrat (HNO₃) 10% sebagai pengatur pH Ag/SiO₂.
5. Komposit nanomaterial perak silika *disintering* pada suhu 850 °C.

6. Analisis struktur fasa menggunakan XRD, sifat termal menggunakan TGA/DTA, dan energi *band gap* menggunakan UV-Vis.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Memberikan informasi tentang analisis komposit nanomaterial perak silika terhadap struktur fasa, sifat termal, dan energi *band gap*.
2. Hasil penelitian dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya dalam upaya pengembangan teknologi nanomaterial.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Silikon Dioksida (SiO₂)

Silikon dioksida merupakan senyawa kimia yang tersusun atas unsur silikon (Si) dan oksigen (O₂) dan memiliki rumus molekul SiO₂. Silika ada dua macam yaitu silika amorf dan kristalin. Silika amorf memiliki bentuk struktur yang tidak beraturan, sedangkan silika kristal merupakan hasil struktur amorf yang diberi perlakuan termal terus-menerus yang mengakibatkan simetri kristal menjadi teratur (Sugiyarto, 2013).

Sifat fisik silika diantaranya berbentuk padatan atau serbuk halus berwarna putih, serta memiliki titik didih 2.230 °C dan titik lebur 1.713 °C (Todkar *et al.*, 2016). Silika juga bersifat tidak larut dalam air, sebagai adsorben, dan daya tahan yg tinggi terhadap asam atau basa (Permatasari *et al.*, 2022). Silika dapat bereaksi dengan basa pekat jika menggunakan natrium hidroksida (NaOH) sebagai pelarut, dalam kondisi panas NaOH secara perlahan mengubah silika yang larut dalam air (Sun & Gong, 2001).

Silika memiliki luas permukaan yang besar, ketahanan panas yang baik, kekuatan mekanik tinggi, dan *inert* sehingga dapat dimanfaatkan sebagai katalis (Malahayati *et al.*, 2021), adsorben (Shukla, 2020), *filler* (Dina *et al.*, 2014), dan komposit (Susanti *et al.*, 2020).

2.2 Sumber Silika

Silika dapat diperoleh melimpah pada alam dalam bentuk mineral maupun nabati. Saat ini juga telah berkembang silika sintesis atau buatan.

2.2.1 Silika Mineral

Silika mineral dihasilkan dari mineral yang diperoleh melalui proses penambangan. Silika mineral banyak ditemui pada pasir pantai, granit, kuarsa, feldspar, dan batu apung. Trianasari *et al.* (2017) Penelitian tentang silika dari batu apung dilakukan dengan metode ekstraksi. Serbuk batu apung sebelum ekstraksi dikalsinasi pada suhu 450 °C selama 4 jam. Sedangkan serbuk hasil ekstraksi dikalsinasi pada suhu 800 °C selama 3 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan silika memiliki persentase tertinggi, yaitu 65,88% untuk sampel sebelum ekstraksi dan 78,95% untuk sampel setelah ekstraksi. Namun penggunaan silika mineral secara terus-menerus tidak dapat diperbaharui dan dapat menimbulkan masalah pada lingkungan, selain itu metode peleburan yang digunakan untuk memperoleh silika murni menggunakan suhu yang tinggi (Sembiring, 2017).

2.2.2 Silika Sintesis

Silika dapat diperoleh dari mineral sintesis yakni *tetraethyl orthosilicate* (TEOS, $(\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4)$) dan *tetramethyl orthosilicate* (TMOS, $(\text{Si}(\text{OCH}_3)_4)$). Penggunaan TEOS sangat banyak diantaranya dalam pembuatan keramik, lapisan tahan korosi, alat-alat semikonduktor, bahan dasar komposit (Rahim *et al.*, 2011), katalis (Fatimah *et al.*, 2008), dan adsorben (Suarya *et al.*, 2010) Keuntungan penggunaan TEOS sebagai sumber atau prekursor silika karena TEOS menghasilkan partikel silika yang sangat halus (Alhussein *et al.*, 2016). Akan tetapi TEOS memiliki kelemahan yaitu dapat merusak kulit dan uapnya dapat mengakibatkan kebutaan. Dari segi ekonomi, harga TEOS relatif mahal sehingga tidak bernilai ekonomis (Nasri *et al.*, 2017).

2.2.3 Silika Nabati

Silika nabati dapat ditemui melimpah di alam seperti pada daun bambu, jerami gandum, ampas tebu, dan sekam padi. Kemurnian silika yang terdapat pada ampas tebu sebesar 55,5%-70% (Alayande *et al.*, 2012), daun bambu sebesar 75% (Aminullah *et al.*, 2018), jerami gandum sebesar 80% (Sharma *et al.*, 2016). Kandungan silika yang lebih tinggi pada silika nabati terdapat pada sekam padi.

Sekam padi mengandung 87-97% silika (Kalapathy *et al.*, 2000). Dilihat dari kemurniannya silika sekam padi berpotensi untuk digunakan sebagai bahan material berbasis silika. Silika yang diperoleh juga diketahui fasa amorf (Riyanto *et al.*, 2017).

2.2.3.1 Silika Sekam Padi

Sekam padi merupakan produk samping dari industri penggilingan padi. Sekam padi adalah bagian terluar atau lapisan keras pembungkus butiran padi yang terdiri dari lemma dan palea. Sekam padi dapat ditemui dengan jumlah yang melimpah. Berdasarkan data produksi beras tahun 2018, terdapat 33.214.860 ton sekam yang dapat dimanfaatkan kembali. Sekam padi merupakan salah satu sumber penghasil silika dengan kadar yang cukup tinggi. Silika dari sekam padi dapat diperoleh dengan metode yang mudah dan biaya yang relatif murah. Dengan kelebihan tersebut, silika sekam padi berpotensi cukup besar untuk digunakan sebagai sumber silika yang dapat diaplikasikan ke berbagai bidang. Komposisi kimia sekam padi disajikan pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Komponen utama sekam padi (Daifullah *et al.*, 2004)

No	Komponen	Persentase (%)
1	Kadar air	9,0
2	Protein kasar	3,0
3	Lemak	1,1
4	Serat kasar	32,6
5	Abu	20,3
6	Karbohidrat kasar	13,7
7	Karbon	20,3

Untuk mendapatkan silika dari sekam padi dapat dilakukan dengan dua metode yaitu metode ekstraksi alkalis dan pengabuan. Metode ekstraksi didasarkan pada kelarutan silika amorf dalam larutan alkalis seperti kalium hidroksida (KOH) dan natrium hidroksida (NaOH), dan pengendapan silika yang terlarut dalam asam seperti, asam klorida (HCL), asam nitrat (HNO₃). Penelitian yang dilakukan oleh Sembiring & Karo-Karo (2007) dengan menggunakan metode ekstraksi memiliki keuntungan yaitu silika yang diperoleh bersifat amorf dan porous dengan tingkat kemurnian yang tinggi, yakni sekitar 95%. Karakteristik silika sekam padi yang diperoleh dengan metode ekstraksi mempunyai fasa amorf tanpa sintering. Pada

suhu 750 °C terjadi perubahan dari struktur fasa amorf ke kristal dan dengan meningkatnya suhu sintering 1050 °C mengakibatkan transformasi amorf membentuk fasa kristal kristobalit dan tridimit. Selain itu, karakteristik termal silika sekam padi menunjukkan peningkatan stabilitas termal, dan pembentukan fasa kristobalit, tridimit meningkat seiring dengan naiknya suhu sintering.

Metode pengabuan didasarkan pada perubahan tingkat pembentukan struktur silika akibat proses/perlakuan termal dengan suhu terkontrol. Simanjuntak & Sembiring (2015) menjelaskan bahwa dengan mengontrol suhu sintering berkisar 300-700 °C silika sekam padi terbentuk dalam fasa amorf, namun di atas suhu pembakaran 700 °C mengalami perubahan dan membentuk struktur dalam fasa kristobalit dan tridimit yang pembentukannya meningkat seiring dengan kenaikan suhu pembakaran. Kemurnian silika yang diperoleh dengan metode pengabuan sebesar 94,66%.

2.3 Proses Sol Gel

Proses sol gel merupakan proses pencampuran kimia seperti bahan anorganik yang dapat dilakukan pada temperatur rendah (Liu *et al.*, 2012). Proses sol gel memiliki banyak keuntungan diantaranya molekul yang bercampur lebih homogen, suhu proses yang digunakan rendah, mampu menghasilkan partikel berukuran, dan hasil kemurnian yang tinggi (Widodo, 2010). Proses sol gel pada umumnya terdiri dari empat tahapan proses yaitu hidrolisis, kondensasi, pematangan (*aging*), dan pengeringan (*drying*). Hidrolisis merupakan proses pencampuran koloid ke dalam pelarut seperti asam atau basa sehingga menghasilkan sol koloid (Budiharti & Supardi, 2015). Kondensasi disebut juga proses transisi sol menjadi gel atau proses partikel-partikel zat kecil bergabung menjadi partikel-partikel koloid. Pada proses pematangan, terjadi reaksi pembentukan jaringan gel yang lebih kaku, kuat, dan menyusut di dalam larutan. Pengeringan dilakukan untuk menghilangkan kadar air dari gel.

2.4 Nanopartikel Perak

Perak (Ag) merupakan unsur kimia golongan IB dengan nomor atom 47, termasuk ke dalam golongan logam transisi dan logam mulia. Perak bersifat tahan asam, berbasa lemah, dan netral jika dalam air. Perak mempunyai stabilitas yang baik terhadap cahaya dan panas. Titik lebur perak sebesar 960,8 °C.

Perak memiliki banyak bentuk senyawa diantaranya, perak nitrat (AgNO_3), perak sianida (AgCN), perak klorida (AgCl), perak bromida (AgBr), perak iodida (AgI), perak sulfida (Ag_2S), perak oksida (Ag_2O) (McGraw-Hill, 2002). Diantara bentuk senyawa perak tersebut, AgNO_3 banyak digunakan dalam proses sintesis karena memiliki kelarutan yang lebih cepat dibandingkan senyawa perak lainnya serta stabil dalam cahaya (Sutanti *et al.*, 2018). Perak nitrat digunakan sebagai bahan awal sintesis untuk membuat nanopartikel perak.

Sebagian besar pemanfaatan nanopartikel perak adalah agen antibakteri. Nanopartikel perak juga dapat diaplikasikan ke dalam berbagai bidang antara lain sebagai membran filtrasi sistem pemurnian air (Salem & Fouda, 2021), sensor (Imran *et al.*, 2020), katalis (Paul *et al.*, 2021). Kemampuan antibakteri nanopartikel perak dipengaruhi oleh karakteristik fisik nanomaterial seperti ukuran, bentuk, dan sifat permukaan. Keunggulan nanopartikel perak dari segi produksi adalah harganya yang cukup murah dan mudah diproduksi (Wahyudi *et al.*, 2011).

Metode reduksi kimia paling sering digunakan dalam proses pembuatan nanopartikel perak karena prosesnya mudah dan sederhana, serta dapat digunakan untuk skala kecil (Sirajudin & Rahmanisa, 2016). Metode reduksi bekerja dengan cara mereduksi ion logam Ag^+ oleh zat pereduksi menjadi Ag^0 (Haryono *et al.*, 2008). Dalam sintesis nanopartikel perak ditambahkan zat pereduksi untuk mencegah terjadinya agregasi nanopartikel perak (Apriandanu, 2013). Bahan-bahan yang biasa digunakan sebagai zat pereduksi antara lain trisodium sitrat ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7$), natrium tetraborohidrat (NaBH_4), benzena (C_6H_6) (Purnomo *et al.*, 2017). Kelebihan penggunaan trisodium sitrat dalam proses sintesis adalah dapat digunakan sebagai bahan penstabil dan dihasilkan nanopartikel yang memiliki distribusi partikel berukuran kecil dengan kisaran 16 hingga 150 nm

(Balasubramanian *et al.*, 2010). Nanopartikel perak yang telah terbentuk ditandai dengan larutan berubah warna menjadi kuning (Junaidi, 2017). Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi ukuran partikel dalam sintesis yaitu temperatur larutan, konsentrasi, agen pereduksi, dan waktu reaksi (Jannah & Amaria, 2020). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan (Lopez *et al.*, 2015) menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel perak, semakin besar kemampuannya sebagai antimikroba.

2.5 Perak Silika (Ag/SiO₂)

Ag/SiO₂ merupakan hasil sintesis partikel perak sebagai penguat dengan silika sebagai matriks. Ion Ag yang digunakan dapat diperoleh dari sintesis AgNO₃ menjadi nanopartikel perak. Silika yang digunakan dapat diperoleh dari TEOS, TMOS, dan sumber nabati seperti sekam padi.

Penelitian Pham *et al.* (2014) membuat serbuk nanomaterial Ag/SiO₂ berbasis TEOS melalui metode sol gel dengan variasi suhu *sintering* 400 °C hingga 1.000 °C. Nanopartikel perak dapat terdistribusi homogen diseluruh jaringan silika amorf pada suhu 800 °C dan kristalisasi perak terjadi pada suhu 1.000 °C.

Penelitian mengenai Ag/SiO₂ telah dilakukan, Qin *et al.* (2017) telah mensintesis Ag/SiO₂ dengan bahan AgNO₃ dan TEOS dengan menggunakan metode sol gel. Nanopartikel perak diperoleh dengan metode reduksi kimia dengan trisodium sitrat sebagai zat pereduksi pada suhu 95 °C. Hasil penelitian yaitu waktu optimum sintesis nanopartikel perak selama 20 menit dengan ukuran 13,5 nm. Puncak absorbansi nanopartikel perak muncul pada sekitar 450 nm. Penelitian Dudek *et al.* (2017) menjelaskan sebagian besar kandungan perak ditemukan menurun di atas suhu 1.060 °C, sedangkan perak di atas suhu 1.110 °C dalam sampel tidak lagi terdeteksi. Hasil analisis XRD menunjukkan terbentuknya fasa kristobalit dari amorf pada suhu 1.060 °C dan fasa tridimit pada suhu 1.080 °C. Data XRD mengungkapkan fasa silika yang terbentuk hanya dua yaitu kristobalit dan tridimit.

Penelitian Mohd *et al.* (2019) nanopartikel perak terbentuk pada panjang gelombang 380-450 nm. Penelitian Assis *et al.* (2021) menghasilkan Ag/SiO₂ komposit dengan rata-rata energi celah pita sekitar 3,26 eV, yang memiliki keuntungan potensial untuk aplikasi sebagai antibakteri agen degradasi.

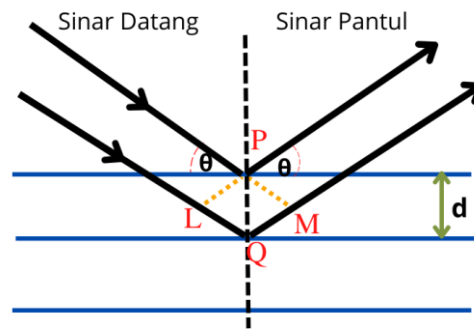
Hasil penelitian terbaru Ag/SiO₂ mengungkapkan bahwa semakin tinggi konsentrasi AgNO₃ maka tingkat intensitas kemunculan struktur kristal perak bertambah. Struktur silika dan perak tidak saling bereaksi membentuk struktur baru. Hasil analisis TGA menunjukkan bahwa variasi konsentrasi AgNO₃ terhadap silika sekam padi tidak berpengaruh terhadap penyusutan massa. Serta nilai *band gap* yang dihasilkan semakin meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi AgNO₃ pada setiap sampel (Sembiring *et al.*, 2022) .

2.6 Karakterisasi Sampel

2.6.1 Difraksi Sinar-X (*X-Ray Diffraction, XRD*)

Sinar-X terjadi ketika suatu bahan ditembakkan elektron dengan kecepatan dan tegangan tinggi dalam tabung vakum. Elektron-elektron berasal dari filamen (anoda) dipercepat menumbuk target (katoda) yang berada dalam tabung sinar-X, sehingga elektron-elektron mengalami perlambatan. Sebagian energi kinetik elektron pada filamen diserahkan pada elektron target, mengakibatkan ketidakstabilan elektron. Keadaan ketidakstabilan akan kembali pada kondisi normal dalam waktu 10^{-8} detik sambil melepaskan energi kinetik elektron sebagai radiasi gelombang elektromagnetik dalam bentuk sinar yang disebut sinar-X (Cullity, 1978).

Metode analisis sinar-X dikenal dengan XRD. XRD digunakan untuk mengetahui fasa-fasa kristalin meliputi struktur fasa, ukuran partikel pada bahan. Prinsip analisis XRD didasarkan pada atom-atom dalam suatu bahan yang didifraksikan pada panjang gelombang (λ) dan sudut (2θ). Sistem analisis XRD didasarkan pada hukum Bragg yang terdiri dari pola, intensitas, dan sudut difraksi (2θ).



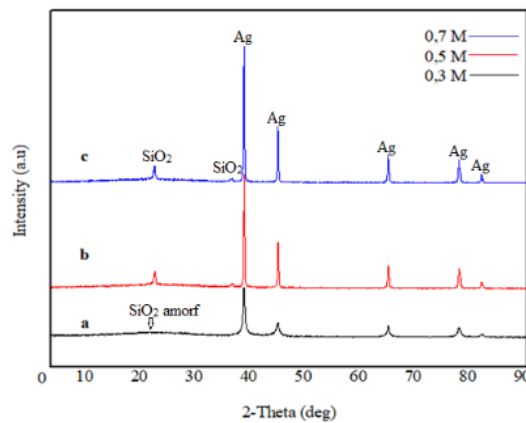
Gambar 2.1 Prinsip XRD (Azharman *et al.*, 2015).

Hukum Bragg dapat diperoleh dengan meninjau bidang-bidang atomik yang paralel memiliki jarak antar bidang (d) serta indeks Miller (hkl) seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.1**. Dua buah berkas sinar-X datang pada bidang kristal, berkas sinar-x tersebut mengenai dua bidang pertama dan terpantulkan dengan sudut yang sama besar (θ). Difraksi merupakan konsekuensi interferensi konstruktif dari sinar yang direfleksikan. Misalkan PL dan PM tegak lurus terhadap sinar 2 (sinar datang dan sinar yang direfleksikan). Selisih lintasan sinar 1 dan sinar 2 ialah sebesar $LQ + QM$. Karena $LQ = QM = d \sin\theta$ maka $LQ + QM = 2d \sin\theta$. Untuk interferensi konstruktif sinar 1 dan 2, selisih lintasan sinar 1 dan 2 harus kelipatan bilangan bulat dari panjang gelombang sinar-X (λ), sehingga diperoleh hubungan matematis seperti tertulis pada **Persaman 2.1**.

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin\theta \quad (2.1)$$

λ adalah satuan panjang gelombang sinar-X, d_{hkl} merupakan jarak antar bidang, dan θ adalah satuan sudut antara sinar datang dengan bidang kristal (Omar, 1975).

Berikut adalah contoh difraktogram XRD Ag/SiO₂ yang ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.

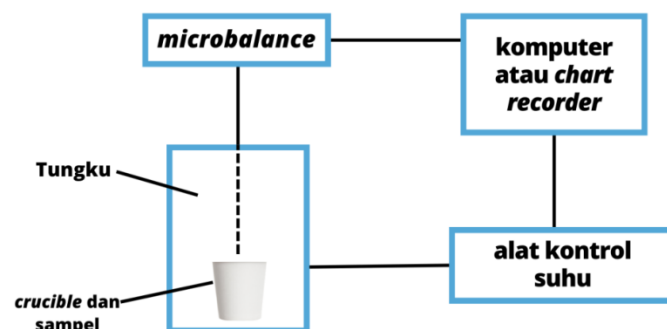


Gambar 2.2 Difraktogram Ag/SiO₂ (Janariah *et al.*, 2022).

Pada **Gambar 2.2** hasil analisis XRD Ag/SiO₂ pada konsentrasi 0,3 M menunjukkan bahwa silika yang terbentuk berstruktur amorf atau belum terbentuknya struktur kristal ditandai dengan pola difraksi seperti bukit dengan 2θ yang melebar pada rentang $2\theta = 19-24^\circ$. Pada konsentrasi 0,5 dan 0,7 M terjadi perubahan struktur silika amorf menjadi silika kristalin dengan sudut $2\theta = 21,943^\circ$ dan $36,100^\circ$ serta pada konsentrasi 0,7 M sudut $2\theta = 21,924^\circ$ dan $36,04^\circ$.

2.6.2 *Thermo Gravimetical Analysis/Differential Thermal Analysis (TGA/DTA)*

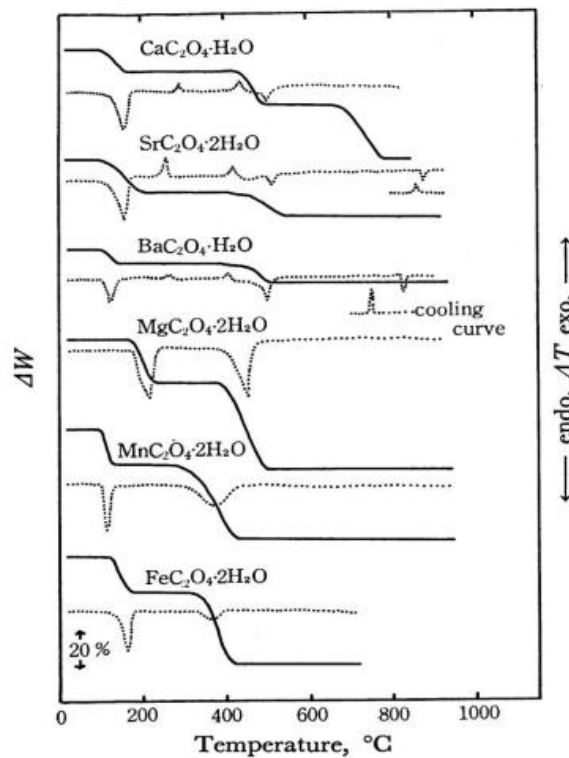
TGA merupakan teknik analisis termal yang digunakan untuk menunjukkan penyusutan massa pada suatu sampel akibat penguapan, dekomposisi, dan reaksi terhadap suhu. Komponen utama pada TGA adalah *micro balance*, dan sensor suhu. Kelengkapan lain di dalam peralatan TGA adalah wadah sampel, pengatur program temperatur, dan tungku pemanas (Setiabudi *et al.*, 2012).



Gambar 2.3 Skema TGA modern (Sani, 2019).

Pada **Gambar 2.3**, neraca (*microbalance*) pengontrol suhu dihubungkan dengan komputer (*chart recorder*), sehingga kurva TGA dapat ditampilkan secara langsung. Kemudian sampel dimasukkan kedalam wadah sampel (*crucible*). Alat ukur massa dihubungkan dengan komputer atau alat pencatat. Sensor suhu dihubungkan dengan alat pencatat dan pengontrol suhu. Alat pengontrol suhu berfungsi untuk mengatur suhu *furnace*. Massa sampel dalam wadah akan berkurang jika terjadi proses dekomposisi, evaporasi, adsorpsi, atau reaksi dengan atmosfer (gas). Wadah tersebut dihubungkan dengan *microbalance* untuk memantau perubahan massa sampel selama proses perubahan temperatur. Grafik perubahan massa terhadap temperatur disebut termogram (Sani, 2019).

DTA digunakan untuk menganalisis perubahan sifat kimia dan fisika akibat perubahan suhu dari suatu material dan referensi (Harsanti, 2010; Noer & Dayana, 2021). Pengukuran dengan teknik analisis DTA menggunakan sampel dan referensi (acuan) secara bersamaan. Sampel dipanaskan dengan laju konstan dan suhunya dimonitor secara kontinu. Pada umumnya, sensor suhu yang digunakan adalah termokopel. Termokopel adalah alat yang dapat menghasilkan beda tegangan yang bervariasi jika suhunya divariasikan, sehingga dapat digunakan sebagai sensor suhu. Termokopel dihubungkan pada sampel dan wadah. Jika terjadi peristiwa termal pada sampel, maka akan muncul perbedaan suhu (ΔT) antara kedua wadah, yang kemudian dideteksi sebagai perubahan tegangan pada ujung-ujung kedua kawat termokopel. Dari data termokopel tersebut digunakan untuk menunjukkan plot ΔT versus suhu (Sani, 2019). Berikut contoh grafik TGA/DTA yang ditunjukkan **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Grafik TGA/DTA (Setiabudi *et al.*, 2012).

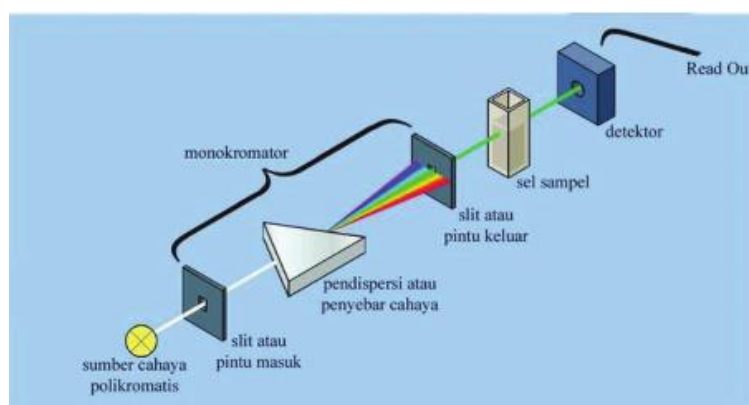
Pada **Gambar 2.4** grafik putus-putus adalah grafik DTA. Pada DTA menampilkan termogram yang menunjukkan puncak endotermik dan eksotermik. Eksotermik terjadi apabila suhu sampel lebih tinggi dari pada suhu referensi. Endotermik terjadi bila suhu sampel lebih rendah dari pada suhu referensi. Grafik perbedaan suhu sampel dan referensi akan berupa garis lurus jika tidak ada peristiwa eksotermik dan endotermik (Klancnik *et al.*, 2010).

2.6.3 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer merupakan gabungan dari dua alat yaitu spektrometer dan fotometer. Spektrometer merupakan alat yang berfungsi untuk menghasilkan sinar dari spektrum dengan nilai panjang gelombang yang telah ditentukan. Fotometer merupakan alat ukur intensitas atau kekuatan cahaya yang ditransmisikan (Suhanda, 2022). Spektrofotometri UV-Vis merupakan salah satu teknik analisis spektroskopi yang memakai sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat dan sinar tampak dengan memakai instrumen spektrofotometer (Noviyanto, 2020).

Sinar ultraviolet (UV) mempunyai panjang gelombang antara 200 nm-400 nm dan sinar tampak (*visible*) mempunyai panjang gelombang antara 400 nm-800 nm.

Hasil dari menggunakan karakterisasi UV-Vis berupa grafik hubungan antara absorbansi dan panjang gelombang. Diagram alat spektrofotometer UV-Vis dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Spektrofotometer UV-Vis (Suhartati, 2017).

Sumber sinar polikromatis berfungsi sebagai sumber sinar dengan berbagai macam rentang panjang gelombang. Sumber sinar polikromatis, untuk sinar UV adalah lampu deuterium, sedangkan sinar visibel atau sinar tampak adalah lampu wolfram. Monokromator berfungsi untuk mengubah cahaya yang berasal dari sinar polikromatis menjadi monokromatis. Sel sampel berupa kuvet yang terbuat dari kuarsa atau gelas dengan lebar yang bervariasi dan digunakan untuk meletakkan sampel. Detektor berupa detektor foto atau detektor panas atau detektor dioda foto, berfungsi menangkap cahaya yang diteruskan dari sampel dan mengubahnya menjadi arus listrik. Data terbaca (*read out*) merupakan suatu sistem baca yang menangkap besarnya isyarat listrik yang berasal dari detektor. Hasil yang terbaca pada detektor berupa data absorbansi cahaya yang diserap oleh sampel pada panjang gelombang tertentu (Suhartati, 2017).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada September 2022 sampai Oktober 2022 di Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Karakterisasi XRD dilakukan di Greenlabs PT. Inovasi Hijau Indonesia, Bandung. Karakterisasi TGA/DTA dan UV-Vis dilakukan di Laboratorium Kimia, Universitas Negeri Padang.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Bahan-bahan yang digunakan

No	Nama Bahan	Fungsi
1.	Sekam padi	Sumber silika
2.	Perak Nitrat (AgNO_3) Merck 99%	Prekursor sintesis partikel perak
3.	Natrium Hidroksida (NaOH) <i>chemical product 90%</i>	Melarutkan silika pada sekam padi
4.	Trisodium Sitrat ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$)	Agen pereduksi partikel perak
5.	Asam Nitrat (HNO_3) <i>chemical product 68%</i>	Mengubah pH sol Ag/SiO ₂
6.	Akuades	Melarutkan precursor

Alat-alat yang digunakan dalam sintesis komposit Ag/SiO₂ dapat dilihat pada **Tabel 3.2** dan alat-alat untuk karakterisasi dapat dilihat pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3.2 Alat-alat yang digunakan dalam sintesis komposit Ag/SiO

No	Nama Alat	Fungsi
1.	Timbangan digital	Menimbang massa bahan
2.	Gelas beker	Menampung larutan
3.	Spatula	Mengaduk campuran prekursor dengan larutan
4.	Kompur listrik	Memasak NaOH dan sekam padi
5.	Gelas ukur	Mengukur jumlah volume larutan
6.	Labu Erlenmeyer	Mengencerkan NaOH
7.	Corong kaca	Membantu masuknya larutan ke dalam erlenmeyer
8.	Kertas saring	Menyaring gel komposit perak silika
9.	Aluminium foil	Alas untuk mengeringkan gel
10.	Plastik wrap	Menutupi larutan agar tidak terkontaminasi kotoran
11.	Tisu	Membersihkan sisa-sisa larutan yang menempel
12.	Pipet tetes	Menetesi larutan dengan volume kecil
13.	pH meter	Mengukur pH larutan
14.	Oven	Mengeringkan gel
15.	Mortar dan alu	Menghaluskan gel yang sudah kering
16.	<i>Hot plate magnetic stirrer</i>	Memanaskan prekursor perak dan mengaduk larutan agar homogen
17.	Ayakan 200 mesh	Menyaring serbuk komposit perak silika
18.	Cawan	Menimbang sampel

Tabel 3.3 Alat karakterisasi komposit Ag/SiO₂

No	Nama Alat	Fungsi
1.	XRD X'pert <i>powder</i> PW 30/40	Analisis struktur fasa
2.	TGA/DTA Shimadzu DTG-60	Analisis sifat termal
3.	UV-Vis T70 <i>spectrophotometer</i>	Analisis energi <i>band gap</i>

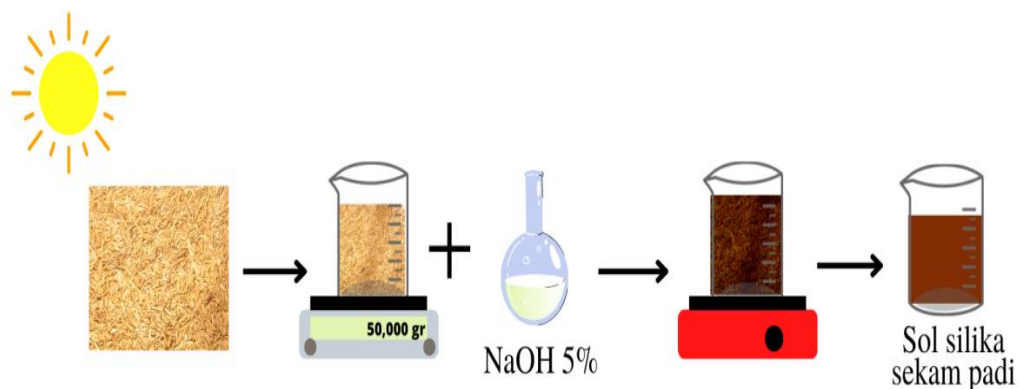
3.3 Prosedur Percobaan

Langkah-langkah dalam melakukan sintesis komposit Ag/SiO₂ dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

3.3.1 Preparasi Ekstraksi Sol Silika Sekam Padi

Langkah dalam preparasi ekstraksi silika sekam padi dapat dilihat pada **Gambar**

3.1.

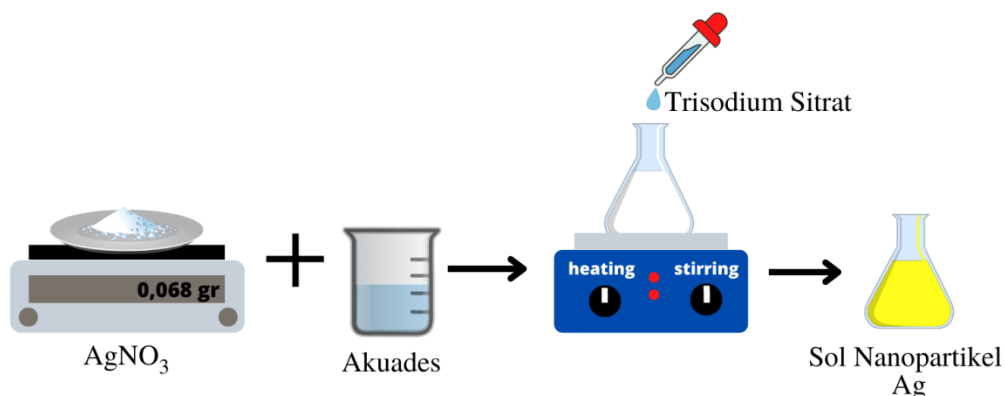


Gambar 3.1 Preparasi ekstraksi sol silika sekam padi.

Langkah pertama yang dilakukan untuk memperoleh sol silika berbasis sekam padi yaitu mencuci sekam padi dengan air bersih selama 1 jam. Sekam padi yang mengapung dibuang dan yang tenggelam diambil untuk digunakan pada preparasi selanjutnya. Sekam padi direndam kembali dengan air panas selama 6 jam. Hal ini bertujuan agar kotoran-kotoran yang larut dalam air seperti batang padi, tanah, debu, dan zat-zat pengotor lainnya dapat lepas dari sekam padi. Setelah itu, sekam padi ditiriskan dan dikeringkan di bawah sinar matahari. Sekam padi yang telah kering ditimbang sebanyak 50 gram dan dilarutkan ke dalam larutan 500 ml NaOH 5%. Sekam padi yang telah terendam larutan NaOH dipanaskan dengan menggunakan kompor listrik selama ± 30 menit sambil diaduk hingga mendidih ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$) dan berwarna coklat pekat. Sol silika yang telah diperoleh didinginkan dengan ditutup menggunakan plastik *wrap*. Kemudian sol silika didiamkan selama 24 jam. Sol silika disaring untuk memperoleh ekstrak sekam padi yang digunakan untuk membuat komposit Ag/SiO₂.

3.3.2 Preparasi Nanopartikel Perak

Langkah dalam preparasi sol perak dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Preparasi nanopartikel perak.

Nanopartikel perak dibuat menggunakan AgNO_3 sebagai prekursor perak dan trisodium sitrat sebagai agen pereduksi sekaligus penstabil. Konsentrasi AgNO_3 yang digunakan sebesar 8 mM dan konsentrasi trisodium sitrat sebesar 64 mM. Massa yang dibutuhkan dapat dihitung melalui **Persamaan (3.1)**.

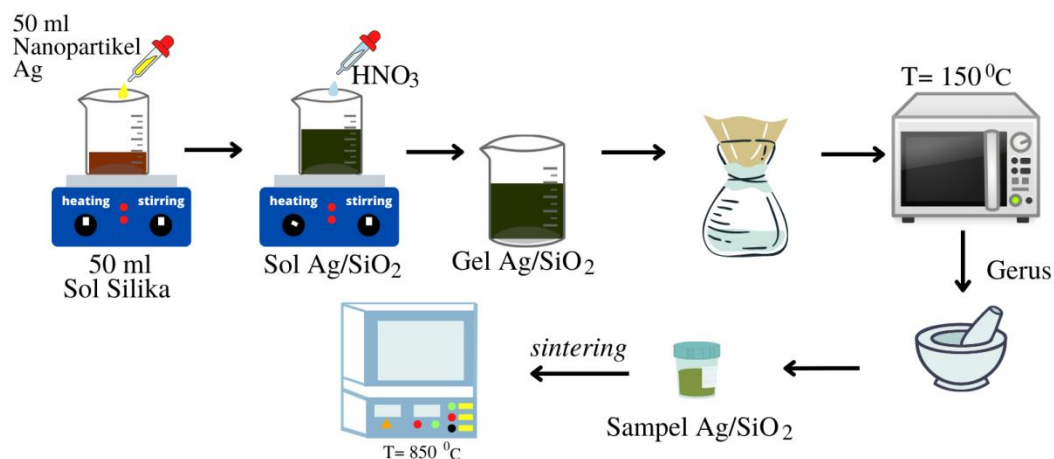
$$M = \frac{m}{M_r} \times \frac{1000}{V} \quad (3.1)$$

dengan M merupakan konsentrasi molaritas (M), m adalah massa zat terlarut (gram), M_r adalah massa atom relatif, V merupakan volume pelarut (ml). Sehingga massa yang dibutuhkan AgNO_3 sebanyak 0,068 gram yang dilarutkan pada 50 ml akuades dan trisodium sitrat 0,0825 gram dilarutkan dalam 5 ml akuades.

AgNO_3 dipanaskan pada suhu 90°C sambil diaduk dengan kecepatan 500 rpm. Larutan trisodium sitrat diinjeksikan kedalam larutan AgNO_3 selama 2 menit. Kemudian diaduk kembali selama 15 menit hingga diperoleh larutan nanopartikel perak.

3.3.3 Sintesis Nanokomposit Ag/SiO₂

Preparasi sintesis nanokomposit Ag/SiO₂ dapat dilihat pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 Sintesis nanokomposit Ag/SiO₂.

Komposit Ag/SiO₂ dibuat dengan perbandingan 1:1. Sebanyak 50 ml sol silika diaduk selama 3 jam sambil diinjeksi 50 ml larutan nanopartikel perak setetes demi setetes. Kemudian ditambahkan larutan HNO₃ 10 % setetes demi setetes sampai pH 7 dan terbentuk gel. Gel yang telah terbentuk dimatangkan selama 24 jam. Kemudian gel dicuci dengan akuades yang telah dipanaskan pada suhu 90-100 °C dan disaring menggunakan kertas saring sampai air cucian bersih (berwarna bening). Gel yang telah dicuci kemudian dikeringkan dengan suhu 150 °C selama 3 jam. Selanjutnya padatan yang telah terbentuk dihaluskan dan saring menggunakan mesh ukuran 200. Serbuk komposit Ag/SiO₂ disintering pada suhu 850 °C.

3.3.4 Karakterisasi dan Data Uji Sampel

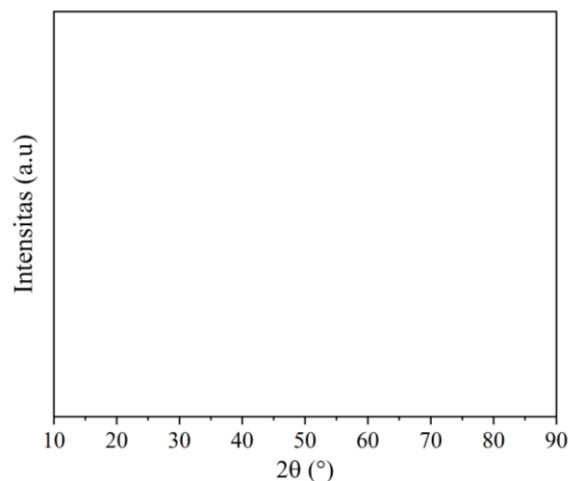
Karakterisasi sampel dilakukan dengan menggunakan XRD, TGA/DTA, dan UV-Vis.

3.3.4.1 XRD

Struktur fasa pada sampel komposit perak silika dikarakterisasi menggunakan XRD X'Pert Powder PW 30/40 dengan target Cu K α ($\lambda=1,542 \text{ \AA}$) dengan sudut

2θ rentang 10° sampai 90° . Analisis kualitatif struktur fasa menggunakan metode *search and match* melalui aplikasi *Match!*.

Grafik difraktogram sampel Ag/SiO₂ dapat dilihat pada **Gambar 3.4**



Gambar 3.4 Difraktogram sampel Ag/SiO₂.

Data difraktogram XRD juga dapat menentukan ukuran partikel yang dihitung menggunakan Persamaan *Scherer* pada **Persamaan (3.2)**.

$$L = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (3.2)$$

Dengan L adalah ukuran partikel (nm), k adalah konstanta *scherrer* (0,94 nm), λ adalah panjang gelombang sinar-X (Å), β adalah lebar puncak setengah maksimum (rad), θ adalah sudut pusat puncak ($^\circ$).

Ukuran partikel yang diperoleh disajikan pada **Tabel 3.4**.

Tabel 3.4 Ukuran Partikel

Unsur	k (nm)	λ (nm)	θ ($^\circ$)	$\cos \theta$	B (rad)	L (nm)
SiO ₂						
Ag						

Analisis kuantitatif data menggunakan *software rietica* dengan melakukan *refinement* dan memasukkan parameter-parameter fasa yang terbentuk hasil analisis kualitatif. Data kesesuaian *refinement* XRD sampel Ag/SiO₂ dapat dilihat pada **Tabel 3.5**.

Tabel 3.5 Kesesuaian *refinement* XRD sampel Ag/SiO₂

Sampel	R_{wp} (%)	R_p (%)	R_{exp} (%)	GoF (%)
Ag/SiO ₂				

Keterangan: $R_{wp}=R_{Weight}$; $R_p=R_{profile}$; $R_{exp}=R_{expected}$; $GoF=Good\ of\ Fitting$

R_{weight} merupakan indeks terkait bobot penjumlahan residu kuadrat. $R_{profile}$ merupakan keseluruhan hasil fitting. $R_{expected}$ diperoleh berdasarkan asumsi pembilang membawa nilai yang diharapkan. GoF adalah suatu ukuran yang biasa digunakan dalam statistik untuk menggambarkan seberapa baik hasil *fitting* terhadap hasil pengamatan, tentu saja dalam hal ini terhadap hasil data difraksi sinar-X. GoF juga biasa digunakan dalam pengujian suatu hipotesis statistik sehingga dari nilai GoF kita bisa melihat kualitas hasil refinement.

Untuk mengetahui persentase berat pada sampel dihitung menggunakan **Persamaan (3.3)**.

$$\%wt = \left(\frac{m_t}{m_t + m_p} \right) \times 100\% \quad (3.3)$$

Dengan $\%wt$ merupakan persen berat, m_t merupakan massa terlarut suatu senyawa tertentu, m_p merupakan massa zat pelarut.

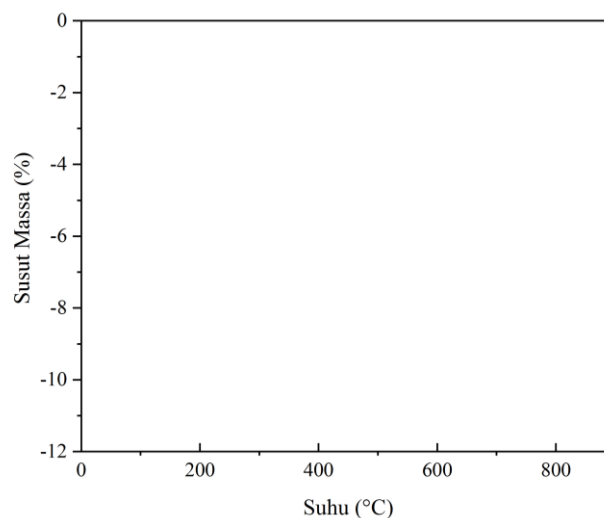
3.3.4.2 TGA/DTA

Karakterisasi menggunakan TGA/DTA bertujuan untuk mengetahui sifat termal Ag/SiO₂. Sampel Ag/SiO₂ dikarakterisasi menggunakan TGA/DTA Shimadzu DTG-60. Pengujian dilakukan dari keadaan suhu 50-850 °C dengan kenaikan suhu 10 °C/menit. Data uji hasil karakterisasi TGA/DTA dapat dilihat pada **Tabel 3.7**.

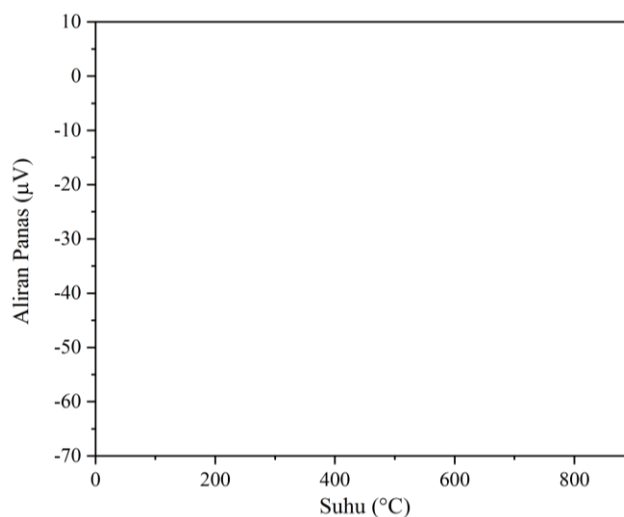
Tabel 3.7 Penyusutan massa pada sampel (TGA)

Kehilangan Massa (%) pada <i>Range</i> Suhu (°C)			Total Kehilangan Massa (%)
0-300	300-600	600-900	

Grafik TGA/DTA dapat dilihat pada **Gambar 3.5 dan 3.6**.



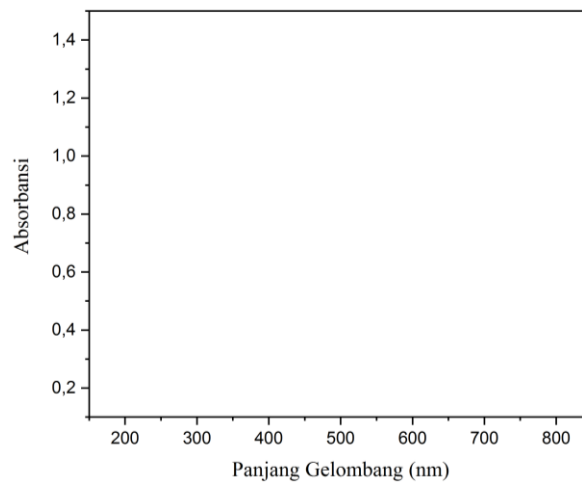
Gambar 3.5 Grafik TGA.



Gambar 3.6 Grafik DTA.

3.3.4.3 UV-Vis

Karakterisasi menggunakan UV-Vis bertujuan untuk mengetahui energi *band gap* Ag/SiO₂. Sampel Ag/SiO₂ dikarakterisasi menggunakan Uv-Vis T70 *spectrophotometer*. Sampel diambil sebanyak 2,5 mL kemudian dimasukkan pada kuvet. Sampel dimasukkan kedalam spektrofotometer UV-Vis dan dilanjutkan pengujian serapan optik sampel pada rentang panjang gelombang 200-800 nm.. Hasil analisis UV-Vis Ag/SiO₂ ditunjukkan pada **Gambar 3.7**.

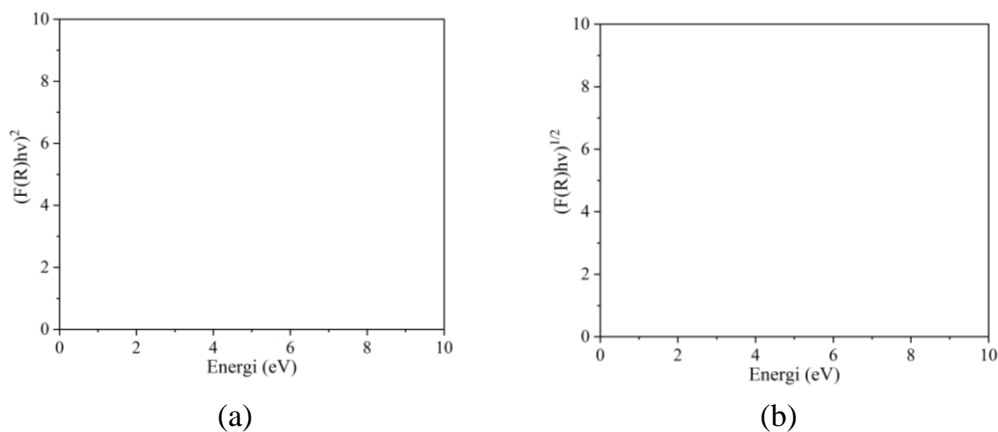


Gambar 3.7 Spektrum absorbansi Ag/SiO₂ terhadap panjang gelombang.

Hasil karakterisasi spektrofotometer Uv-vis untuk mendapatkan energi celah pita (*band gap*) diperoleh dengan mengubah besaran %*R* ke dalam faktor Kubelka Munk ($F(R)$), sesuai dengan **Persamaan (3.4)**.

$$(F(R)) = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (3.4)$$

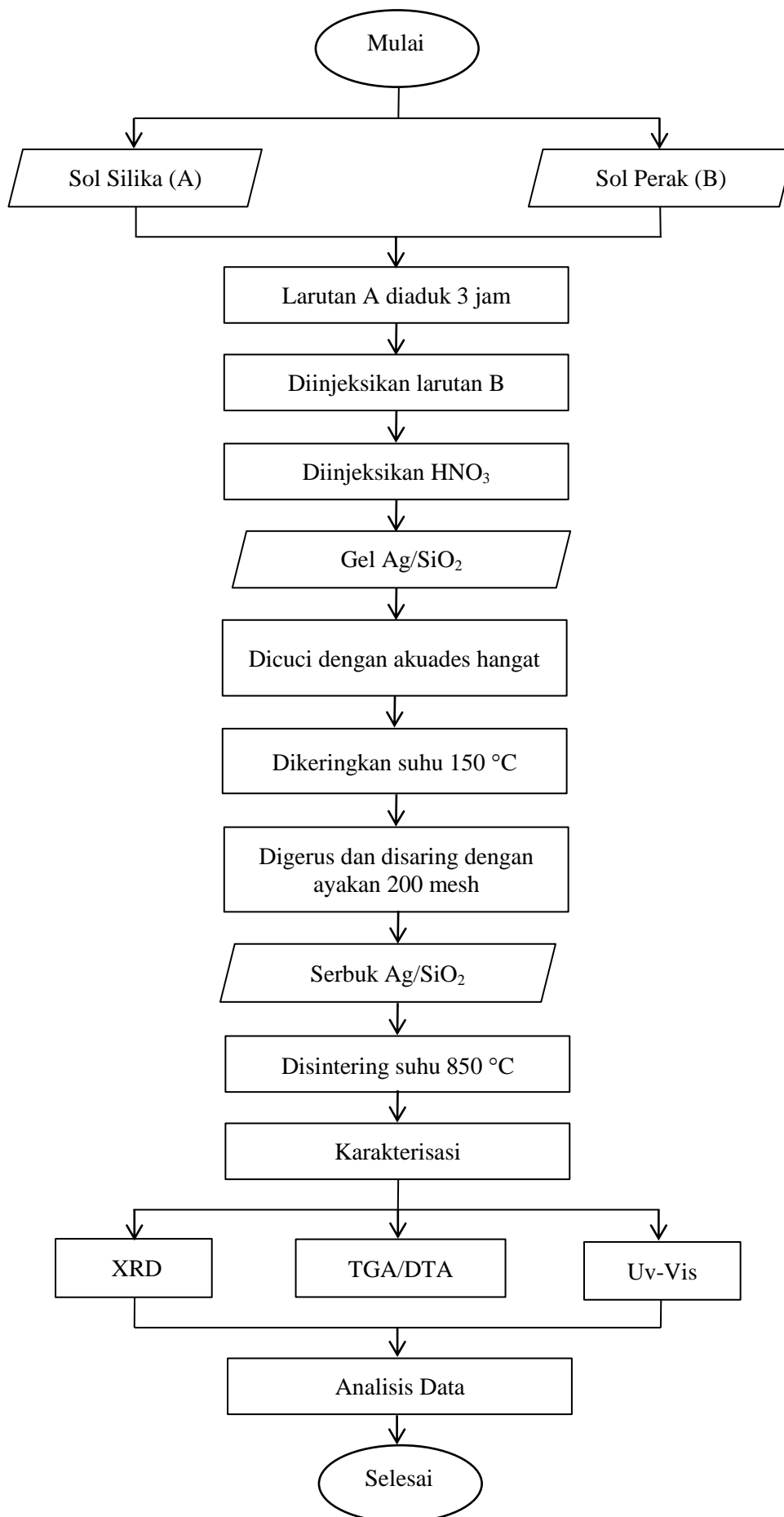
Dengan, $F(R)$ adalah faktor Kubelka Munk dan R merupakan nilai reflektansi. Energi celah pita diperoleh dari grafik hubungan antara E_g dan $(F(R)hv)^2$ untuk nilai *direct band gap* dan E_g dan $(F(R)hv)^{1/2}$ untuk nilai *indirect band gap*. Nilai energi *band gap* dapat dilihat pada **Gambar 3.8**.



Gambar 3.8 (a) *direct band gap* nanomaterial Ag/SiO₂; (b) *indirect band gap* nanomaterial Ag/SiO₂.

3.4 Diagram Alir

Diagram alir pada penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.9**.



Gambar 3.9 Diagram alir prosedur percobaan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Nanomaterial Ag/SiO₂ yang disintesis melalui tahapan ekstraksi sol silika berbasis sekam padi, preparasi nanopartikel perak, dan sintesis nanomaterial Ag/SiO₂ dengan perbandingan 1:1 menghasilkan serbuk 1,5-1,6 gram berwarna putih.
2. Hasil analisis XRD secara kualitatif menunjukkan struktur silika yang terbentuk pada Ag/SiO₂ adalah fasa kristal kristobalit dengan ukuran partikel 27,5 nm dan ukuran partikel perak 46,5 nm. Hasil analisis XRD secara kuantitatif menunjukkan persentase berat pada silika sebesar 99,89% dan perak sebesar 0,11%.
3. Hasil analisis TGA nanomaterial Ag/SiO₂ mengalami susut massa sebesar 12% dan menunjukkan bahwa konsentrasi AgNO₃ terhadap silika sekam padi berpengaruh terhadap penyusutan massa.
4. Hasil analisis UV-Vis menunjukkan puncak absorbansi pada 412 nm. Serta diperoleh *band gap* sebesar 2,25 eV.

5.2 Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk pengaplikasian langsung nanomaterial Ag/SiO₂ sebagai material antibakteri. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar dampak material Ag/SiO₂ saat diaplikasikan langsung ke bidangnya.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Alayande, S., Dare, E., Ayinde, W., Bamigbose, B., Janet, Ayedun, P., Osinkolu, G., & Ayodeji. (2012). Development of Ordered and Disordered Macroporous Silica from Bagasse Ash. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 6(1), 10–14.
- Alhussein, O., Elgorashi, E., & Bayahia, H. (2016). A Novel Method for Synthesis of Ethylsilicates and Its Applications. *Asian Journal Chemical*, 28(12), 2741–2744.
- Aminullah, Rohaeti, E., Yuliarto, B., & Irzaman. (2018). Reduction of Silicon Dioxide from Bamboo Leaves and Its Analysis Using Energy Dispersive X-Ray and Fourier Transform-Infrared. *Earth Environmental Science*, 209(1), 1–8.
- Assis, M., Simoes, L. G., Tremiliosi, G. C., Coelho, D., Minozzi, D. T., Santos, R. I., Vilela, D. B., Do Santos, J. R., Ribeiro, L. K., Rosa, I. L., Mascaro, L. H., Andres, J., & Longo, E. (2021). SiO₂-Ag Composite as a Highly Virucidal Material: A Roadmap that Rapidly Eliminates SARS-CoV-2. *Nano Material*, 11(638), 1–19.
- Azharman, Z., Arief, S., Sari, T. P., Asril, A., & Elfina., S. (2015). Effect of Temperature on Synthesis of Hydroxyapatite from Limestone Novesar Jamarun. *Rasayan Journal Chemistry*, 8(1), 133–137.
- Aziz, A., Khalid, M., Akhtar, M. S., Nadeem, M., Gilani, Z. A., Ul Huda Khan Asghar, H. M. N., Rehman, J., Ullah, Z., & Saleem, M. (2018). Structural, Morphological and Optical Investigations of Silver Nanoparticles Synthesized By Sol-Gel Auto-Combustion Method. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 13(3), 679–683.
- Azmi, M. A., Ismail, N. A., Rizamarhaiza, M., Hasif, W. M., & Taib, H. (2016). Characterisation of Silica Derived from Rice Husk (Muar, Johor, Malaysia) Decomposition at Different Temperatures. *AIP Conference Proceedings*, 1756, 1–7.
- Balasubramanian, S. K., Yang, L., Yung, Y. L., Ong, C. N., Ong, W. Y., & Yu,

- L. E. (2010). Characterization, Purification, and Stability of Gold Nanoparticles. *Biomaterials*, 31(34), 9023–9030.
- Budiharti, G., & Supardi, A. I. Z. (2015). Sintesis Nanopartikel Silika Menggunakan Metode Sol-Gel. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 04, 22–25.
- Cullity, B. (1978). Elements of X-Ray Diffraction. USA: Addison-Wesley Publishing Company.
- Daifullah, A. A., Awwad, N., & El-Reefy. (2004). Purification of Phosphoric Acid from Ferric Ion Using Modified Rice Husk. *Chemical Engineering Proccess*, 43(2), 193–201.
- Daifullah, A. A., Girgis, B. S., & Gad, H. M., (2003). Utilization of Agro-Residues (Rice Husk) in Small Waste Water Treatment Plans. *Materials Letters*, 57(11), 1723–1731.
- David, I. O., Dare, E. O., & Olaniyan, O. J. (2022). Synthesis and Optical Properties of Silica-Silver Nanocomposite. *Nano Hybrids and Composites*, 35, 33–40.
- Dina, A. F., Zaleha, S. S., Najmi, B. N., & Azowa, I. N. (2014). The Influence of Alkaline Treatment on Mechanical Properties and Morphology of Rice Husk Fiber Reinforced Polylactic Acid. *Advanced Materials Research*, 911, 13–17.
- Dudek, K., Podworny, J., Dulski, M., Nowak, A., & Peszke, J. (2017). X-ray Investigations Into Silica/Silver Nanocomposite. *Powder Diffraction*, 32, 82–86.
- El-Sheshtawy, H. S., Ghubish, Z., Shoueir, K. R., & El-Kemary, M. (2020). Activated H₂O₂ on Ag/SiO₂–SrWO₄ Surface for Enhanced Dark and Visible-Light Removal of Methylene Blue and P-Nitrophenol. *Journal of Alloys and Compounds*, 842, 1–12.
- Fatimah, I., Rubiyanto, D., & Huda, T. (2008). Peranan Katalis TiO₂/SiO₂ Montmorillonit Pada Reaksi Konversi Sitronelal Menjadi Isopulegol. *Reaktor*, 12(2), 83–89.
- Ghareeb, R. Y., El-Din, N. E., Maghraby, D. M. E., Ibrahim, D. S. S., Abdel-Megeed, A., & Abdelsalam, N. R. (2022). Nematicidal Activity of Seaweed-Synthesized Silver Nanoparticles and Extracts Against Meloidogyne Incognita on Tomato Plants. *Scientific Reports*, 12(1), 1–16.
- Ghiuta, I., Cristea, D., Croitoru, C., Kost, J., Wenkert, R., Vyrides, I., Anayiotos, A., & Munteanu, D. (2018). Characterization and Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles, Biosynthesized Using Bacillus Species. *Applied Surface Science*, 438, 66–73.
- Harsanti, D. (2010). Sintesis dan Karakteristik Boron Karbida dari Asam Borat, Asam Sitrat dan Karbon Aktif. *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca*, 11(1), 229–240.

- Haryono, A., Sondari, D., Harmami, S. B., & Randy, M. (2008). Sintesa Nanopartikel Perak dan Potensi Aplikasinya. *Jurnal Riset Industri*, 2(3), 156–163.
- Imoisili, P. E., Nwanna, E. C., & Jen, T. (2022). Facile Preparation and Characterization of Silica Nanoparticles from South Africa Fly Ash Using a Sol – Gel Hydrothermal Method. *Processes*, 10(2440), 1–13.
- Imran, M., Ehrhardt, C. J., Bertino, M. F., Shah, M. R., & Yadavalli, V. K. (2020). Chitosan Stabilized Silver Nanoparticles for The Electrochemical Detection of Lipopolysaccharide: A Facile Biosensing Approach For Gram-Negative Bacteria. *Micromachines*, 11(4), 413–417.
- Jafarzadeh, M., Rahman, I. A., & Sipaut, C. S. (2010). Optical Properties of Amorphous Organo-Modified Silica Nanoparticles Produced Via Co-Condensation Method. *Ceramic International*, 36, 333–338.
- Janariah. (2022). Pengaruh Konsentrasi Perak Nitrat (0,3; 0,5; 0,7 M) Terhadap Fungsionalitas, Struktur, dan Densitas Komposit Perak Silika Ag/SiO₂. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Janariah, J., Sari, J. O., Sembiring, S., & Junaidi, J. (2022). Studi Pendahuluan Pembentukan Struktur Komposit Perak Silika (Ag/SiO₂) Berbasis Sekam Padi. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 10(1), 25–30.
- Jannah, R., & Amaria, A. (2020). Artikel Review : Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Pereduksi Asam Amino Sebagai Deteksi Ion Logam Berat. *Prosiding Seminar Nasional Kimia (SNK)*. Universitas Negeri Surabaya, 3750, 185–202.
- Jeremiah, S. S., Miyakawa, K., Morita, T., Yamaoka, Y., & Ryo, A. (2020). Potent Antiviral Effect of Silver Nanoparticles on SARS CoV-2. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 533(1), 195–200.
- Junaidi. (2017). Spektrofotometer UV-Vis untuk Estimasi Ukuran Nanopartikel Perak. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 5(1), 97–102.
- Jyoti, A., Singh, R. K., Kumar, N., Aman, A. K., & Kar, M. (2021). Synthesis and Properties of Amorphous Nanosilica from Rice Husk and Its Composites. *Materials Science and Engineering*, 263, 1–7.
- Kalpathy, C., Proctor., A., & Shultz, J. (2000). A Simple Method for Production of Pure Silica from Rice Husk Ash. *Journal Biosource Thechnology*, 73, 257–268.
- Khatoon, U., Nageswara, G., Mohan, K., Ramanaviciene, A., & Ramanavicus, A. (2017). Antibacterial and Antifungal Activity of Silver Nanospheres Synthesized by Tri-sodium Citrate Assisted Chemical Approach. *Journal Vacuum*, 146, 259–265.
- Khedkar, M. V., Somvanshi, S. B., Humbe, A. V., & Jadhav, K. M. (2019).

Surface Modified Sodium Silicate Based Superhydrophobic Silica Aerogels Prepared Via Ambient Pressure Drying Process. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 511, 140–146.

- Kisi, E. (1994). Rietveld Analysis of Powder Diffraction Patterns. *Material Forum*, 18, 135–153.
- Klancnik, G., Medved, J., & Mrvar, P. (2010). Differential Thermal Analysis and Differential Scanning Calorimetry as A Method of Material Investigation. *Materials and Geoenvironment*, 57(1), 127–142.
- Li, H., Wang, M., Li, Y., Mo, F., Zhu, L., Li, Z., Xu, J., Kong, Y., Deng, N., & Chai, R. (2021). Adsorption Characteristics of Silver Atoms and Silver Ions on Silica Surface in Silver Nanoparticle Hydrosol System. *Applied Surface Science*, 562, 1–8.
- Liu, L. H., Yang, J. H., Hua, Z., Zhang, Y. J., Liu, Y., Cao, J., Fei, L. H., Chengliu, X., & Hui, L. (2012). Effects of Different Sintering Atmosphere on The Structure and Properties of Cu Doped ZnO Powders Prepared by Sol-Gel Method. *Journal of Materials Science*, 23, 832–836.
- Lopez, M. I., Nohales, J. F., Garrote, C. N., Aran-Ais, F., Shancez M.A., Barcelo, O. C., & Bertazzo, M. M. (2015). Antimicrobial Effect of Coated Leather Based on Silver Nanoparticles and Nanocomposites: Synthesis, Characterisation and Microbiological Evaluation. *Journal of Biotechnology & Biomaterials*, 5(1), 1–10.
- Malahayati, Yufita, E., Ismail, I., Mursal, M., Idroes, R., & Jalil, Z. (2021). The Effect of Natural Silica from Rice Husk Ash and Nickel as a Catalyst on the Hydrogen Storage Properties of MgH₂. *Journal of Ecological Engineering*, 22(11), 79–85.
- Manurung, P. (2018). *Nanomaterial Tinjauan Ilmu Masa Kini*. Yogyakarta: ANDI.
- McGraw-Hill. (2002). *Encyclopedia of Science and Technology*. New York: M.H Companies
- Mohd, N. K., Khalik, W. M., Afiq, W. M., & Azmi, A. A. (2019). Synthesis and Characterization of Silica-Silver Core-Shell Nanoparticles. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 23(2), 290–299.
- Nasri, N., Subagyono, R., & Gunawan, R. (2017). Sintesis Silika Mesopori SBA-15 Dari Abu Daun Jagung (Zea Mays L). *Jurnal Kimia Mulawarman*, 15(1), 60–64.
- Ndazi, B. S., Karlsson, S., Teshaa, J. V., & Nyahumwa, C.W. (2007). Chemical and Physical Modifications of Rice Husks for Use as Composite Panels. *Applied Science and Manufacturing*, 38(3), 925–935.
- Nekrashevich, S. S., & Gritsenko, V. A. (2014). Electronic Structure of Silicon

- Dioxide (A Review). *Physics of the Solid State*, 56(2), 207–222.
- Noer, Z., & Dayana, I. (2021). *Karakterisasi Material*. Medan: Guepedia.
- Noviyanto, F. (2020). *Penetapan Kadar Ketoprofen dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis*. Bandung: CV Media Sains Indonesia.
- Omar, M. A. (1975). *Elementary Solid State Physics Principles and Application*. USA: Addison-Wesley Publishing Company.
- Pahlepi, R., Sembiring, S., & Pandiangan, K. D. (2013). Pengaruh Penambahan MgO Pada SiO₂ Berbasis Silika Sekam Padi Terhadap Karakteristik Komposit MgO-SiO₂ dan Kesesuaiannya Sebagai Bahan Pendukung Katalis. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 1(2), 161–169.
- Paul, D., Sachan, D., & Das, G. (2021). Silver Nanoparticles Embedded on In-Vitro Biomineralized Vaterite: A Highly Efficient Catalyst with Enhanced Catalytic Activity Towards 4-Nitrophenol Reduction. *Molecular Catalysis*, 504, 1–9.
- Permatasari, L., Sembiring, S., & Manurung, P. (2022). Karakteristik Fungsionalitas dan Mikrostruktur Komposit Aspal-Silika-Karbosil. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 10(1), 61–70.
- Pham, D. P., Huynh, K. K., Tran, C. V., Vu, V. Q., & Tran, T. T. (2014). Preparation and Structural Characterization of Sol-Gel-Derived Silver Silica Nanocomposite Powders. *International Journal of Materials Science and Applications*, 3(5), 147–151.
- Phrabhu, S., & Poulose, E. K. (2012). Silver Nanoparticles: Mechanism of Antimicrobial Action, Synthesis, Medical Applications, and Toxicity Effects. *International Nano Letters*, 2(32), 1–10.
- Prabha, S., Durgalakshmi, D., Rajendran, S., & Lichtfouse, E. (2021). Plant-Derived Silica Nanoparticles and Composites for Biosensors, Bioimaging, Drug Delivery and Supercapacitors: A Review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 1667–1691.
- Prasetiowati, A. L., Prasetya, A. T., & Wardani, S. (2018). Sintesis Nanopartikel Perak dengan Bioreduktor Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa Bilimbi* L.) Uji Aktivitasnya Sebagai Antibakteri. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2), 160–166.
- Purnomo, N. N., Rupiasih, & Sumadiyasa, M. (2017). Studi Sintesis Nanopartikel Perak dengan Metode Biologi Menggunakan Tanaman Sambiloto (*Andrographis Paniculata* Ness). *Buletin Fisika*, 18(1), 6-11.
- Qin, R., Li, G., Pan, L., Han, Q., Sun, Y., & He, Q. (2017). Preparation of SiO₂@Ag Composite Nanoparticles and Their Antimicrobial Activity. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 17(4), 2305–2311.
- Rahim, T. A., Mohamad, D., Ismail, R. A., & Akil, M. H. (2011). Synthesis of

- Nanosilica Fillers for Experimental Dental Nanocomposites and Their Characterizations. *Journal Physical Sciences*, 22, 93–105.
- Rahman, U. A., Geng, J., Rehman, S., Jin, R., Liang, X., & Zhu, W. (2018). On Semi Classical Optical Reponse of Metallic Silver and Silver Coated Silica Nanoparticles. *Sixth Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation*, 1, 1–3.
- Riyanto, A., Simanjuntak, W., Situmeang, R., & Sembiring, S. (2017). Effect of MgO-SiO₂ Ratio on the Forsterite (Mg₂SiO₄) Precursors Characteristics Derived from Amorphous Rice Husk Silica. *Oriental Journal of Chemistry*, 33 (4), 1828–1836.
- Sahar, M. R., & Yusoff, N. M. (2015). The Influence of Silver Nanoparticles on Optical Properties of Samarium Doped Magnesium Tellurite Glasses. *International Conference on Solid State Physics*, 2(10), 5117-5121.
- Salem, & Fouda, S. (2021). A Green Synthesis of Metallic Nanoparticles and Their Prospective Biotechnological Applications. *Biological Trace Element Research*, 199, 344–370.
- Sani, R. A. (2019). *Karakterisasi Material*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Sari, J. O. (2022). Pengaruh Konsentrasi Perak Nitrat (0,3; 0,5; 0,7 M) Terhadap Struktur Mikro, Karakteristik Termal dan Porositas Komposit Perak Silika Ag/SiO₂. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Sembiring, S. (2017). *Potensi Silika Sekam Padi Sebagai Bahan Keramik Refraktori Tahan pada Suhu Tinggi*. Lampung: Teknosain.
- Sembiring, S., & Karo-Karo, P. (2007). Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Karakteristik Termal Dan Mikrostruktur Silika Sekam Padi. *Jurnal Sains MIPA*, 13(3), 233–239.
- Sembiring, S., Riyanto, A., Firdaus, I., Junaidi, J., & Situmeang, R. (2022). Structure And Properties Of Silver-Silica Composite Prepared from Rice Husk Silica And Silver Nitrate. *Ceramics-Silikaty*, 66(2), 185–195.
- Setiabudi, A., Hardian, R., & Muzakir, A. (2012). *Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. Bandung: UPI Press.
- Sharma, S. K., Sankar, S., Kaur, N., Lee, B., Kim, D. Y., Lee, S., & Jung, H. (2016). Biogenerated Silica Nanoparticles Synthesized from Sticky, Red, and Brown Rice Husk Ashes by Chemical Method. *Ceramic International*, 42, 4875–4885.
- Shinohara, Y., & Kohyama, N. (2004). Quantitative Analysis of Tridymite and Cristobalite Crystallized in Rice Husk Ash by Heating. *Industrial Health*, 42(2), 277–285.
- Shukla, S. K. (2020). *Rice Husk Derived Adsorbents for Water Purification*. Switzerland: Springer Nature Switzerland.

- Simanjuntak, W., & Sembiring, S. (2015). *Silika Sekam Padi Potensinya Sebagai Bahan Baku Keramik Industri*. Yogyakarta: Plantaxia.
- Sirajudin, A., & Rahmanisa, S. (2016). Nanopartikel Perak Sebagai Penatalaksanaan Penyakit Infeksi Saluran Kemih. *Majority*, 5, 1–5.
- Suarya, P., Putra, A. A. B., & Wisudawan, D. (2010). Interkalasi Tetraetil Ortosilikat (TEOS) Pada Lempung Teraktifasi Asam Sulfat dan Pemanfaatannya Sebagai Adsorben Warna Limbah Garmen. *Jurnal Kimia*, 4(1), 43–48.
- Sugiyarto. (2013). *Kimia Anorganik Dasar*. Yogyakarta: UGM Press.
- Suhanda, H. (2022). *Troubleshooting dalam Analisis Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis*. Tasikmalaya: Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia. <https://labmaniaindonesia.id/buku-troubleshooting-pada-analisa-spektrofotometri/>.
- Suhartati, T. (2017). *Dasar-Dasar Spektrofotometri Uv-Vis dan Spektrometri Massa Untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Lampung: AURA.
- Sun, L., & Gong, K. (2001). Silicon-Based Materials from Rice Husks and Their Applications. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 40(58), 61–77.
- Susanti, N., Simbolon, J. B., Sembiring, S., & Manurung, P. (2020). Pengaruh Perlakuan Termal Terhadap Karakteristik Aspal Komposit Berbasis Silika Sekam Padi. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 8(1), 119–126.
- Sutanti, F., Sivila, D., Putri, M. A., & Fabiani, V. A. (2018). Pengaruh Konsentrasi AgNO₃ Pada Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Pucuk Idat (*Cratoxylum Glaucum* KORTH). *Prosiding Seminar Nasional dan Pengabdian Pada Masyarakat*, 1(1), 175–178.
- Todkar, B. S., Deorukhkar, O. A., & Deshmukh, S. M. (2016). Extraction of Silica from Rice Husk Bajirao. *Engineering Research and Development*, 12(3), 69–74.
- Tran, Q. H., Nguyen, V. Q., & Le, A. T. (2013). Silver Nanoparticles: Synthesis, Properties, Toxicology, Applications and Perspectives. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 4, 1–20.
- Trianasari, Manurung, P., & Karo-Karo, P. (2017). Analisis dan Karakterisasi Kandungan Silika (SiO₂) Sebagai Hasil Ekstraksi Batu Apung (Pumice). *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 5(2), 179–186.
- Vijayan, S. R., Santhiyagu, P., Singamuthu, M., Ahila, K. N., Jayaraman, R., & Ethiraj, K. (2014). Synthesis and Characterization of Silver and Gold Nanoparticles Using Aqueous Extract of Seaweed, *Turbinaria Conoides*, and Their Antimicrofouling Activity. *The Scientific World Journal*, 2, 1–10.
- Wahyudi, T., Doni, S., & Qomarudin, H. (2011). Sintesis Nanopartikel Perak dan

Uji Aktivitasnya Terhadap Bakteri E. Coli dan S. Aureus. *Arena Tekstil*, 26(1), 55-60.

Widodo, S. (2010). Teknologi Sol Gel Pada Pembuatan Nano Kristalin Metal Oksida untuk Aplikasi Sensor Gas. *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses 2010*, 20(2), 201–208.

Wysocka, K., Janus, O. S., Plesch, G., Plecenik, A., Podbielska, H., & Bauer, J. (2018). Nano Silver Modified Silica Particles in Antibacterial Photodynamic Therapy. *Applied Surface Science*, 461, 260–268.

Zaman, Y., Ishaque, M. Z., Sattar, R., Rehman, M. M., Saba, I., Kanwal, S., Akram, M., Shahzad, M., Kanwal, H., Qadir, R., & Siddique, A. B. (2022). Antibacterial Potential of Silver Nanoparticles Synthesized Using Tri-Sodium Citrate Via Controlled Exploitation of Temperature. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 17(3), 979–987.