

**ANALISIS STRUKTUR FASA, SIFAT TERMAL, DAN ENERGI
BANDGAP NANOKOMPOSIT PERAK SILIKA (Ag/SiO₂) YANG
DISINTESIS MENGGUNAKAN METODE SOL GEL PADA SUHU
SINTERING 500 °C**

(Skripsi)

Oleh

FIRMANDA FARDONY



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

ABSTRAK

ANALISIS STRUKTUR FASA, SIFAT TERMAL, DAN ENERGI BANDGAP NANOKOMPOSIT PERAK SILIKA (Ag/SiO₂) YANG DISINTESIS MENGGUNAKAN METODE SOL GEL PADA SUHU *SINTERING* 500 °C

Oleh

FIRMANDA FARDONY

Pada penelitian ini dilakukan sintesis nanokomposit perak silika (Ag/SiO₂) menggunakan metode sol gel dengan silika berbasis sekam padi. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui proses sintesis nanokomposit dengan menggunakan metode sol gel, mengetahui struktur fasa, sifat termal, dan energi *bandgap* nanokomposit Ag/SiO₂. Nanopartikel perak disintesis menggunakan perak nitrat (AgNO₃) 8 mM dengan metode reduksi pada suhu 90 °C. Agen pereduksi dan penstabil yang digunakan adalah trisodium sitrat 64 mM. Nanokomposit Ag/SiO₂ dibuat dengan perbandingan sol silika dan nanopartikel perak sebesar 1:1. Hasil analisis XRD menunjukkan struktur silika yang terbentuk adalah amorf dan kristal perak berbentuk *cubic*. Hasil analisis TGA/DTA diperoleh nanokomposit Ag/SiO₂ mengalami susut massa sebesar 60%. Hasil analisis UV-Vis Ag/SiO₂ memiliki puncak serapan maksimum pada panjang gelombang 396 nm dengan energi *bandgap* sebesar 2,38 eV.

Kata kunci : Ag/SiO₂, sekam padi, perak nitrat, XRD, TGA/DTA, UV-Vis

ABSTRACT

ANALYSIS OF PHASE STRUCTURE, THERMAL PROPERTIES, AND BANDGAP ENERGY SILVER SILICA (Ag/SiO₂) NANOCOMPOSITE SYNTHESIZED USING SOL GEL METHOD AT SINTERING TEMPERATURE 500 °C

By

FIRMANDA FARDONY

In this research, nanocomposite silver silica (Ag/SiO₂) was synthesized using the sol gel method with rice husk-based silica. The purpose of this study is to determine the nanocomposite synthesis process using the sol gel method, to determine the phase structure, thermal properties, and bandgap energy of Ag/SiO₂ nanocomposites. 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 nanocomposite was made with a 1:1 ratio of silica sol and silver nanoparticles. The results of the XRD analysis show that the structure of the silica is amorphous and the silver crystals were cubic. The results of the TGA/DTA analysis obtained by the Ag/SiO₂ nanomaterial experienced a mass loss of 60%. The results of the UV-Vis Ag/SiO₂ analysis have a maximum absorption peak at a wavelength of 396 nm with a band gap energy of 2,38 eV.

Keywords : *Ag/SiO₂, rice husk, silver nitrate, XRD, TGA/DTA, UV-Vis*

**ANALISIS STRUKTUR FASA, SIFAT TERMAL, DAN ENERGI
BANDGAP NANOKOMPOSIT PERAK SILIKA (Ag/SiO₂) YANG
DISINTESIS MENGGUNAKAN METODE SOL GEL PADA SUHU
SINTERING 500 °C**

Oleh

FIRMANDA FARDONY

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 *BANDGAP* NANOKOMPOSIT PERAK SILIKA (Ag/SiO₂) YANG DISINTESIS MENGGUNAKAN METODE SOL GEL PADA SUHU *SINTERING* 500 °C**

Nama Mahasiswa

: **Firmanda Fardony**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **1817041056**

Jurusan

: **Fisika**

Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



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.**



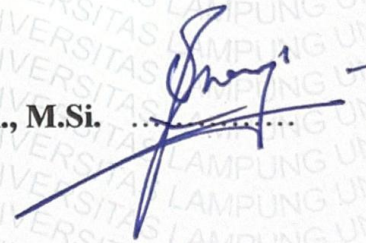
Sekretaris

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



Penguji

Bukan Pembimbing : **Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S. Si., M. T.

NIP. 197407052000031001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **08 Februari 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. Selanjutnya saya juga berkenan jika data dalam skripsi ini digunakan untuk kepentingan publikasi sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

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

Bandar Lampung, 08 Februari 2023



Firmanda Fardony
NPM. 1817041056

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Firmanda Fardony, dilahirkan di Rajabasa Baru pada tanggal 14 Mei 2000. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Akhsanu Taqwim dan Ibu Marfuah. Penulis menyelesaikan Pendidikan di Raudhatul Athfal Darul Huda Teluk Dalem pada tahun 2006, dilanjutkan Sekolah Dasar Negeri (SDN) 4 Teluk Dalem pada tahun 2012, Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 2 Way Jepara pada tahun 2015 dan Sekolah Menengah Atas Swasta (SMAS) Teladan Way Jepara pada tahun 2018. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN tahun 2018.

Penulis aktif mengikuti organisasi, Pada tahun 2019 penulis menjadi anggota Bidang Sains dan Teknologi Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi). Pada tahun 2020 penulis menjadi Kepala Bidang Saintek Himafi. Penulis melaksanakan pengabdian masyarakat melalui acara karya wisata ilmiah di Desa Tanjung Tirto, Way Bungur, Kab. Lampung Timur pada tahun 2018 dan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung di Desa Sadar Sriwijaya, Bandar Sribhawono, Kab. Lampung Timur tahun 2021. Penulis juga melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Fisika material FMIPA Unila dengan judul “Analisis Gugus Fungsi Pada Komposit Aspal-Karbosil Menggunakan Spektroskopi FTIR”.

MOTTO

“Pengetahuan yang baik adalah yang memberikan manfaat, bukan hanya diingat”

-Imam Syafi'i-

“Tindakan tanpa keraguan itulah yang disebut kekuatan”

-Sivers Rayleigh-

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap *alhamdulillah* rabbi 'alamiin, saya persembahkan karya ini kepada:

Kedua Orang Tua

Bapak Akhsanu Taqwim dan Ibu Marfuah

Sumber kekuatan bagi saya. Terima kasih yang sebesar-besarnya telah memberikan dukungan serta doa terbaik untuk anaknya, sehingga saya dapat menyelesaikan pendidikan S1 ini.

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Struktur Fasa, Sifat Termal, dan Energi *Bandgap* Nanokomposit Perak Silika (Ag/SiO₂) yang Disintesis Menggunakan Metode Sol Gel pada Suhu *Sintering* 500 °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, 08 Februari 2023
Penulis

Firmanda Fardony

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan atas karunia yang telah dilimpahkan oleh Allah Subhanahu wata'ala sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Analisis Struktur Fasa, Sifat Termal, dan Energi *Bandgap* Nanokomposit Perak Silika (Ag/SiO₂) yang Disintesis Menggunakan Metode Sol Gel pada Suhu *Sintering* 500 °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 Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si. selaku Penguji yang senantiasa memberikan kritik dan saran dalam penyelesaian penulisan skripsi.
4. Mendiang Prof. Simon Sembiring, Ph.D. yang telah memberikan ilmunya dan memotivasi untuk tidak boleh menyerah dalam belajar.

5. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D. 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 tuaku, Adikku Ilyasa Rahman, serta seluruh keluarga besar yang selalu memberi motivasi dan dorongan kepada penulis.
9. Yessi Efridahniar selaku saudara, teman dan pasangan yang selalu memberi bantuan secara lahir maupun batin.
10. Tim penelitian Ag/SiO₂, Yessi Efridahniar, Wiwin Sulistiani, Syafiq Rafi Hariputra dan Nur Fikarimah yang saling memberi semangat, bantuan, dan kebersamaannya selama ini.
11. Teman-teman seperjuangan Fisika 2018, dan keluarga besar Himafi yang telah memberi motivasi dan banyak pengalaman 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, 08 Februari 2023
Penulis,

Firmanda Fardony

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. LATAR BELAKANG	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terkait	7
2.2 Sekam Padi.....	10
2.3 Silikon Dioksida (SiO ₂)	11
2.4 Silika Sekam Padi	12

2.5 Nanopartikel Perak.....	15
2.6 Komposit Ag/SiO ₂	16
2.7 Sol-gel	17
2.8 XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	18
2.9 UV-Vis.....	20
2.10 TGA/DTA (<i>Thermal Gravimetric Analysis/Differential Thermal Analysis</i>).....	22
III. METODE PENELITIAN	25
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	25
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	25
3.3 Prosedur Penelitian	26
A. Preparasi Silika dari Sekam Padi.....	26
B. Preparasi Sol Nanopartikel Perak	27
C. Pembuatan Nanokomposit Ag/SiO ₂	28
D. Karakterisasi Sampel	29
3.4 Diagram Alir	30
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Hasil Sintesis Nanokomposit Ag/SiO ₂	32
4.1.1 Hasil Preparasi Sol Silika dari Sekam Padi	32
4.1.2 Hasil Preparasi Sol Nanopartikel Perak.....	33
4.1.3 Hasil Sintesis Nanokomposit Ag/SiO ₂	34
4.2 Hasil Karakterisasi	35
4.2.1 Hasil Karakterisasi XRD	35
4.2.2 Hasil Karakterisasi TGA/DTA	39
4.2.3 Hasil Karakterisasi UV-Vis	41
V. KESIMPULAN	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	53

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Pola XRD Ag/SiO ₂ 500 °C.	7
Gambar 2. 2 Pola XRD Ag/SiO ₂	8
Gambar 2. 3 Pola XRD komposit Ag/SiO ₂ 0,3 M; 0,5 M; 0,8 M	9
Gambar 2. 4 Struktur silika.....	11
Gambar 2. 5 XRD silika sekam padi tanpa <i>sintering</i>	13
Gambar 2. 6 XRD silika sekam padi	14
Gambar 2. 7 Proses sol gel	18
Gambar 2. 8 Ilustrasi difraksi sinar-X	19
Gambar 2. 9 Perangkat difraksi sinar-X	20
Gambar 2. 10 Instrumentasi UV-Vis	21
Gambar 2. 11 Gambaran skematis peralatan TGA.....	23
Gambar 3. 1 Preparasi silika dari sekam padi.	26
Gambar 3. 2 Preparasi sol nanopartikel perak.....	27
Gambar 3. 3 Proses pembuatan nanokomposit Ag/SiO ₂	28
Gambar 3. 4 Diagram alir penelitian.	31
Gambar 4. 1 (a) 50 gram sekam padi; (b) sekam padi ditambahkan NaOH 5%; (c) sekam padi dipanaskan; (d) sol silika	32
Gambar 4. 2 (a) larutan AgNO ₃ ; (b) larutan perak diinjeksikan trisodium sitrat; (c) nanopartikel perak.....	33
Gambar 4. 3 (a) 50 ml sol silika; (b) 50 ml nanopartikel perak; (c) sol Ag/SiO ₂ ; (d) gel Ag/SiO ₂ ; (e) gel yang telah dicuci dengan akuades; (f) serbuk nanokomposit Ag/SiO ₂ ; (g) sampel nanokomposit Ag/SiO ₂ setelah <i>disintering</i> suhu 500 °C.....	34
Gambar 4. 4 Difraktogram nanokomposit Ag/SiO ₂	36
Gambar 4. 5 Pola XRD hasil <i>refinement</i> pada nanokomposit Ag/SiO ₂	38

Gambar 4. 6 Grafik TGA nanokomposit Ag/SiO ₂	39
Gambar 4. 7 Grafik DTA nanokomposit Ag/SiO ₂	40
Gambar 4. 8 Spektra absorbansi nanokomposit Ag/SiO ₂	41
Gambar 4. 9 (a) <i>direct bandgap</i> Ag/SiO ₂ ; (b) <i>indirect bandgap</i> Ag/SiO ₂	43

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Komposisi kimia sekam padi	10
Tabel 3. 1 Bahan-bahan penelitian	25
Tabel 3. 2 Alat-alat penelitian	25
Tabel 4. 1 Data <i>refinement</i> XRD nanokomposit Ag/SiO ₂	38
Tabel 4. 2 Parameter sel nanokomposit Ag/SiO ₂	38

I. LATAR BELAKANG

1.1 Latar Belakang

Teknologi berbasis nano saat ini sedang berkembang pesat dan terus dilakukan inovasi. Perkembangan teknologi nano banyak berkontribusi pada pengembangan material baru yang lebih kecil dan lebih detail. Material nano merupakan bahan yang memiliki ukuran antara 1-100 nm. Dalam beberapa tahun terakhir material berbasis nano telah dikembangkan, seperti nanopartikel titanium dioksida/silika ($\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$) sebagai fotokatalis penjernih air (Wulandari *et al.*, 2018), nanopartikel seng oksida (ZnO) sebagai fotodegradasi metilen biru (Raganata *et al.*, 2020), nanopartikel besi oksida *magnetite* (Fe_3O_4) sebagai absorben logam berat timbal (Pb) (Sartika *et al.*, 2020), nanopartikel kitosan sebagai antibakteri (Magani *et al.*, 2020) dan nanopartikel perak (Ag) sebagai agen antibakteri (Nalawati *et al.*, 2021), serta masih banyak lagi. Dalam pengembangannya, perak mempunyai potensi untuk terus dikembangkan agar pemanfaatannya lebih meluas, karena mempunyai sifat yang unik seperti sifat optik (Maharani *et al.*, 2019), listrik (Sabekti *et al.*, 2018), katalis (Alfanaar & Afthoni, 2021) dan antimikroba (Abdillah *et al.*, 2022).

Perak adalah logam transisi dalam satu set dengan tembaga (Cu) dan emas (Au) yang merupakan elemen lembut, putih, serta berkilau memiliki konduktivitas listrik dan termal yang tinggi (Beyene *et al.*, 2017). Logam perak sering digunakan karena memiliki sifat yang stabil terhadap panas dan cahaya. Bentuk dan ukuran perak sangat penting dalam penentuan sifat optik, listrik, katalitik dan antimikrobanya. Metode yang biasa digunakan dalam sintesis nanopartikel perak adalah reduksi kimia karena metode ini relatif mudah, murah, serta menggunakan suhu rendah. Dalam pembuatan nanopartikel perak dibutuhkan sebuah agen pereduksi agar perak tidak mengalami penggumpalan antar partikel. Nanopartikel perak stabil yang dihasilkan ditandai dengan terbentuknya koloid perak berwarna kuning (Gusrizal *et al.*, 2016). Masalah yang biasa ditemui pada nanopartikel perak adalah terjadinya agregasi, untuk mencegah hal ini perlu menyisipkan nanopartikel ke dalam sebuah matriks. Salah satu material yang dapat digunakan sebagai matriks yaitu silika, karena silika memiliki sifat *porous*.

Silika memiliki potensi sebagai bahan katalis, bahan penyerap air serta bahan dasar komposit dan bertindak sebagai matriks. Sumber silika dapat diperoleh dari limbah pertanian seperti sekam padi. Penggunaan silika dari sekam padi sebagai matriks mempunyai alasan yaitu, karena sekam padi sangat melimpah, dan *recovery* silika dapat dilakukan dengan cara yang sederhana yaitu ekstraksi basa (Tuan *et al.*, 2017) dengan kandungan silika yang tinggi, yaitu 16-20% dari berat sekam padi. Silika sekam padi yang diperoleh juga diketahui memiliki fasa amorf (Khopthong & Cherdhirunkorn, 2020) dan memiliki struktur ortosilikat yang hampir sama dengan yang terdapat pada silikon alkoksida, seperti *tetraethylorthosilicate* (TEOS) dan *tetramethylorthosilicate* (TMOS) sehingga

silika dari sekam padi mempunyai potensi sebagai pengganti TEOS dan TMOS. Oleh karena itu silika dapat digunakan sebagai bahan dasar nanokomposit yang penggunaannya jauh lebih luas.

Nanokomposit merupakan material yang dibuat dengan menambahkan nanopartikel sebagai *filler* dalam sebuah matriks. Dalam pembuatan nanokomposit perak silika (Ag/SiO₂) ada beberapa metode yang telah diupayakan sejauh ini. Metode yang telah dilakukan oleh peneliti dalam sintesis komposit Ag/SiO₂ seperti menggunakan metode *flame spray pyrolysis* dengan melibatkan pembakaran pelarut mudah terbakar yang mengandung senyawa terlarut secara homogen sebagai sumber komponen untuk sintesis bahan (Winardi *et al.*, 2022). Penelitian oleh Selim *et al.* (2018) digunakan metode solvotermal, dengan menggunakan pemanasan pelarut, berupa alkohol. Namun kekurangan metode ini ada pada waktu sintesis yang lama yakni beberapa hari dan kurang cocok untuk material yang sensitif terhadap panas. Pada penelitian yang dilakukan oleh Dutov *et al.* (2016) menggunakan metode impregnasi pada pembuatan Ag/SiO₂ sebagai katalis, yang relatif lebih sederhana. Kekurangan dari metode impregnasi ini yaitu sulitnya memperoleh homogenitas dari dopan. Metode lain yang dapat digunakan adalah metode sol gel (Sembiring *et al.*, 2022). Metode sol gel adalah metode yang efektif dalam pembuatan nanokomposit Ag/SiO₂. Beberapa keuntungan dari metode sol gel yaitu, proses yang relatif mudah, dilakukan pada suhu rendah dan terkontrol, serta material yang dihasilkan mempunyai kemurnian yang tinggi.

Penelitian mengenai nanokomposit perak silika telah dilakukan oleh Anand *et al.* 2012 dengan konsentrasi perak 0,02 M, 0,04 M, dan 0,06 M. Perlakuan *sintering*

dilakukan pada suhu 500 °C, hasilnya didominasi oleh silika tanpa kehadiran perak. Keberadaan perak terdeteksi pada peningkatan konsentrasi di atas 0,06 M. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Dudek *et al.* (2017) mengungkapkan bahwa struktur nanokomposit Ag/SiO₂ stabil hingga 1.000 °C tanpa adanya penguapan perak yang terlihat jelas dari material. Spektroskopi *Infra Red* (IR) menunjukkan kehadiran dominan fase amorf dalam komposit dan keberadaan perak tertanam ke dalam matriks silika. *X-Ray Diffraction* (XRD) mengungkapkan inisiasi kristalisasi kristobalit dari fase amorf pada 1.060 °C dan tridimit pada 1.080 °C. Penelitian terbaru dilakukan oleh Sembiring *et al.* 2022 dengan perlakuan suhu sebesar 850 °C. Hasilnya dengan meningkatnya konsentrasi perak yang dipakai mempengaruhi peningkatan fase kristal pada komposit Ag/SiO₂.

Berdasarkan penelitian tersebut, penelitian ini akan menyintesis nanopartikel perak yang distabilkan ke dalam matriks silika berbasis sekam padi. Metode sintesis menggunakan metode sol gel karena cukup sederhana serta sintesis dilakukan pada suhu rendah dan dapat menghasilkan material dengan kemurnian tinggi. Pada penelitian ini pembuatan sol nanopartikel perak nitrat (AgNO₃) menggunakan metode reduksi, serta trisodium sitrat (Na₃C₆H₅O₇) sebagai agen pereduksi. Modifikasi sol nanopartikel perak ke dalam sol silika sekam padi menggunakan perbandingan perak silika 1:1 dalam pembentukan gel komposit dan disintering pada suhu 500 °C. Sampel selanjutnya dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur fasa, *Thermal Gravimetric Analysis/Differential Thermal Analysis* (TGA/DTA) untuk

mengetahui sifat termal, serta spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui energi *bandgap* pada sampel nanokomposit Ag/SiO₂.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sintesis nanokomposit Ag/SiO₂ menggunakan metode sol gel pada suhu *sintering* 500 °C?.
2. Bagaimana analisa struktur fasa, sifat termal dan energi *bandgap* terhadap nanokomposit Ag/SiO₂ yang *disintering* pada suhu 500 °C?.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui sintesis nanokomposit Ag/SiO₂ menggunakan metode sol gel pada suhu *sintering* 500 °C.
2. Mengetahui analisa struktur fasa, sifat termal dan energi *bandgap* terhadap nanokomposit Ag/SiO₂ yang *disintering* pada suhu 500 °C.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Konsentrasi koloid 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 koloid perak nitrat sebesar 1:1.
4. Menggunakan asam nitrat (HNO₃) 10% sebagai pengatur pH Ag/SiO₂.

5. Nanokomposit perak silika *disintering* pada suhu 500 °C.
6. Analisis struktur fasa menggunakan XRD, sifat termal menggunakan TGA/DTA, dan energi *bandgap* menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

1.5 Manfaat Penelitian

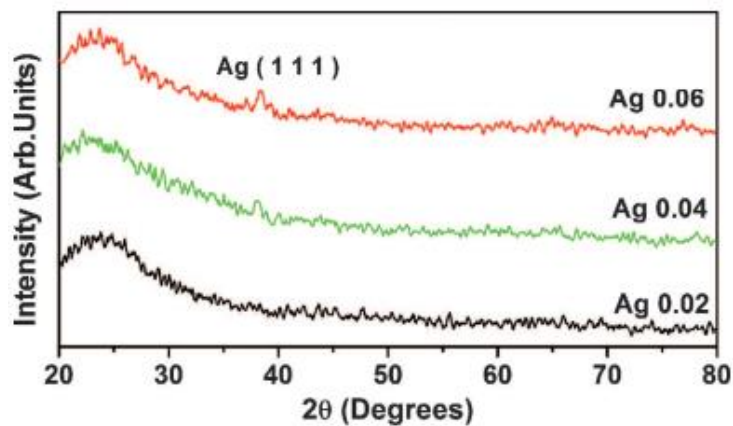
Manfaat dalam penelitian ini sebagai berikut:

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

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian tentang pembuatan nanokomposit Ag/SiO₂ telah dilakukan oleh Anand *et al.* (2012) dengan proses sol-gel silikon alkoksida menggunakan TEOS, konsentrasi perak yang dipakai sebesar 0,02 M, 0,04 M dan 0,06 M. Pada perlakuan suhu 500 °C, diperoleh hasil analisis XRD seperti pada **Gambar 2.1**.

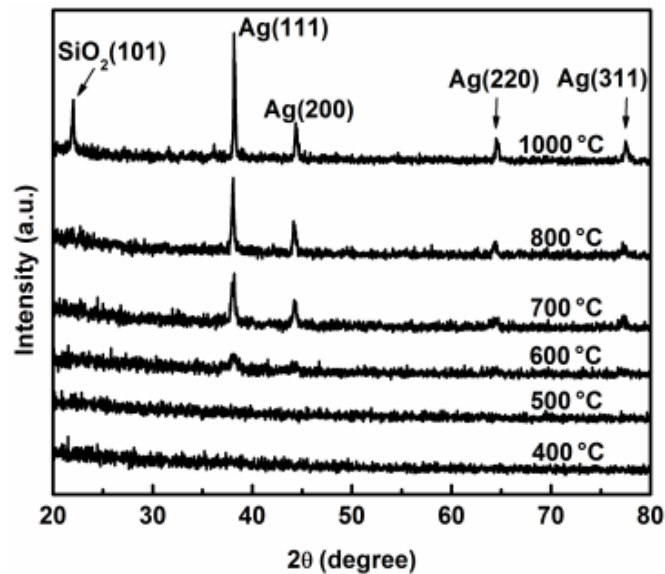


Gambar 2. 1 Pola XRD Ag/SiO₂ 500 °C (Anand *et al.*, 2012).

Hasil dari analisa XRD tersebut pada konsentrasi perak sebesar 0,02 dan 0,04 M didominasi oleh silika tanpa kehadiran perak. Keberadaan perak terdeteksi pada peningkatan konsentrasi di atas 0,06 M.

Pham *et al.* (2014), pada penelitian ini perak yang digunakan adalah perak nitrat (AgNO₃), TEOS sebagai sumber silika, serta menggunakan metode sol

gel dalam pembuatan nanokomposit Ag/SiO₂. Dari penelitian ini menghasilkan data *Transmission Electron Microscope* (TEM) yang memperlihatkan distribusi nanopartikel perak yang relatif homogen di seluruh jaringan silika amorf dan ukurannya berkisar antara 20 dan 40 nm setelah perlakuan panas pada 800 °C. Pada analisis XRD ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



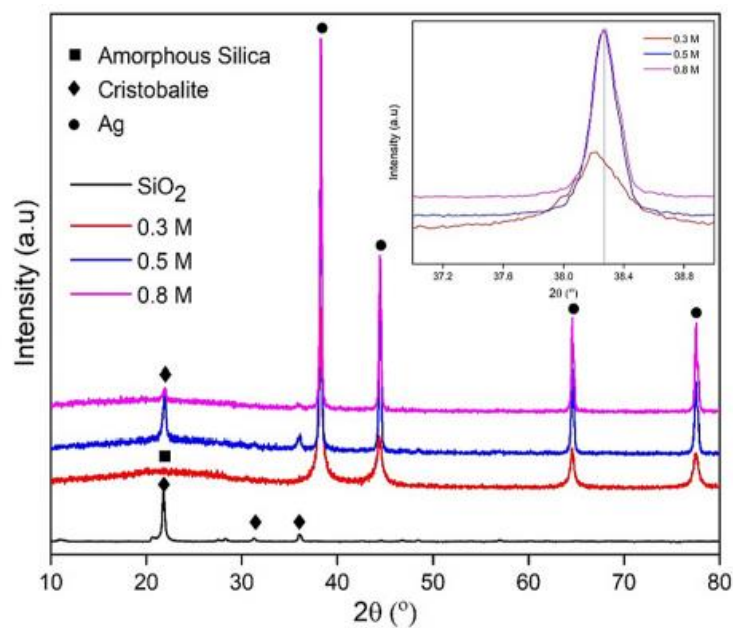
Gambar 2. 2 Pola XRD Ag/SiO₂ (Pham *et al.*, 2014).

Gambar 2.2 menunjukkan bahwa nanokristal perak telah muncul setelah pemanasan pada suhu 600 °C. Selain itu, pertumbuhan partikel perak dengan suhu anil tidak berpengaruh pada densifikasi silika dan menyebabkan penurunan luas permukaan spesifik.

Beberapa tahun selanjutnya penelitian lain terkait nanokomposit Ag/SiO₂ dilakukan oleh Dudek *et al.* (2017). Berbeda dengan Pham, dalam penelitian ini Dudek menggunakan metode reaksi kimia untuk pembuatan nanokomposit Ag/SiO₂. Hasil dari penelitian ini XRD menunjukkan bahwa struktur nanokomposit Ag/SiO₂ stabil hingga 1.000 °C tanpa penguapan perak dari material. Spektroskopi IR mengkonfirmasi adanya fase amorf dalam komposit dan

keberadaan perak tertanam dalam matriks silika. Pengukuran *High-Temperature X-Ray Diffraction* (HT-XRD) mengungkapkan inisiasi kristalisasi kristobalit dari fase amorf pada 1.060 °C dan tridimit pada 1.080 °C. Selain itu, kandungan perak menurun di atas suhu 1.060 °C, sedangkan di atas suhu 1.110 °C perak dalam sampel tidak lagi terdeteksi dalam sampel.

Penelitian terbaru 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 M, 0,5 M dan 0,8 M, serta dilakukan pemanasan dengan suhu 850 °C. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan analisis XRD seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2. 3 Pola XRD komposit Ag/SiO₂ 0,3 M; 0,5 M; 0,8 M (Sembiring *et al.*, 2022).

Pada konsentrasi 0,3 M menunjukkan bahwa silika yang terbentuk berstruktur amorf atau belum terbentuknya struktur kristal ditandai dengan pola difraksi

seperti bukit. Pada konsentrasi 0,5 dan 0,8 M perubahan struktur silika amorf menjadi silika kristalin. Komposit perak silika (Ag/SiO₂) dengan variasi 0,3; 0,5; dan 0,8 M menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi AgNO₃ maka tingkat intensitas kemunculan struktur kristal perak bertambah dan kemampuan perak ketika menempel pada silika mampu menaikkan intensitas kemunculan kristal silika.

2.2 Sekam Padi

Sekam padi merupakan limbah dan produk samping dari padi. Dalam bukunya Ismunadji (1988) menuturkan bahwa industri penggilingan padi dapat menghasilkan beras sebanyak 65% dan 20% sekam padi. Total potensi sekam padi di Indonesia sendiri mencapai 13 juta ton per tahun (Tarsito *et al.*, 2013). Jika sekam padi tersebut tidak dikelola dan dimanfaatkan dengan baik maka mengakibatkan pencemaran lingkungan. Sekam padi merupakan bahan berligno-selulosa seperti biomassa, kandungan dari sekam padi dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2. 1 Komposisi kimia sekam padi (Kumar, 2010).

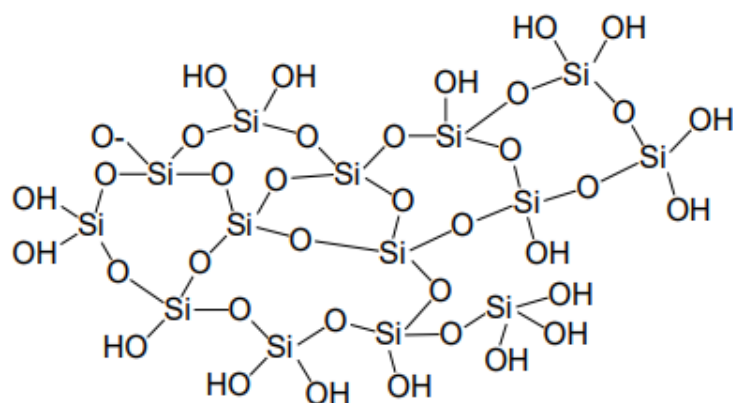
Komposisi	Persentase (%)
Hemiselulosa	22,40
Selulosa	32,13
Lignin	22,34
Karbon	1,33
Silika	16,98

Dengan beberapa karakteristik menarik dari sekam padi yaitu memiliki kerapatan jenis sebesar 1.125 kg/m³, dan nilai kalor berkisar antara 3.300-3.600 kkalori/kg

dengan konduktivitas panas sebesar 0,271 BTU (Houston, 1972). Oleh karena itu sekam padi mempunyai potensi besar untuk dikembangkan dalam bidang teknologi lingkungan, contohnya sebagai bahan pembuat briket, bahan pengganti semen (Adha, 2011), struktur pengerasan aspal (Putra *et al.*, 2021), serta sekam padi sebagai salah satu adsorben alami karena memiliki kandungan silika yang cukup tinggi (Harimu, 2019) dan masih memiliki potensi yang cukup besar untuk dikembangkan.

2.3 Silikon Dioksida (SiO₂)

Silika dinotasikan sebagai senyawa silikon dioksida (SiO₂) yang tersusun dari rantai satuan SiO₄ tetrahedral. Silika memiliki struktur atom Si yang terikat pada empat atom O dengan rantai Si-O-Si. Perolehan silika bisa didapatkan beberapa sumber yaitu silika mineral, nabati dan sintesis kristal. Struktur silika yang ada di alam berbentuk kristalin, sedangkan pada silika sintesis berbentuk amorf (Kristianingrum & Sulastri, 2010).



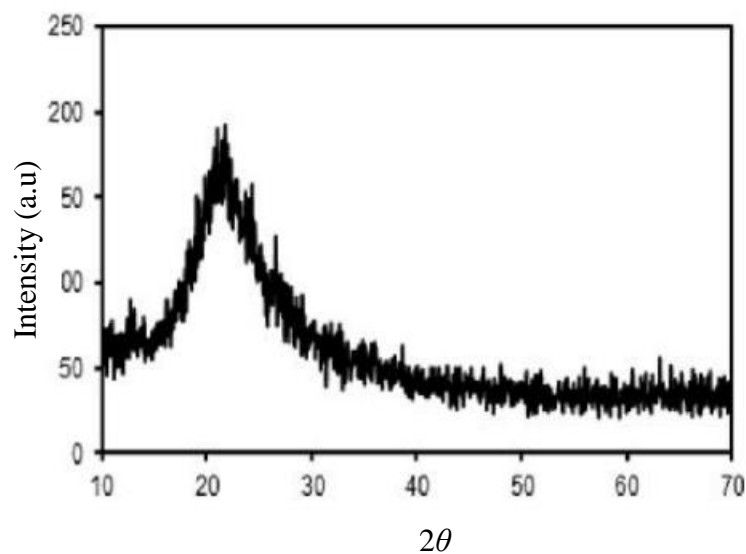
Gambar 2. 4 Struktur silika (Kristianingrum & Sulastri, 2010).

Bentuk umum silika adalah kuarsa yang terdapat pada sebagian besar batu-batuan sedimen alam dari batuan metaforik, silika juga terdapat pada pasir. Silika padatan dapat meleleh pada suhu 1.600 °C dan mendidih pada suhu 2.230 °C (Ardana, 2013). Peneliti telah banyak melakukan riset tentang ekstraksi silika dengan proses ekstraksi menggunakan pelarut alkali dan pengendapan silika dengan asam. Pembuatan silika dilakukan dengan mencampurkan larutan natrium silikat dengan suatu asam mineral. Reaksi ini menghasilkan suatu dispersi peka yang memisahkan partikel dari silika terhidrat, yang dikenal silika hidrosol atau asam silikat yang kemudian dikeringkan agar terbentuk silika gel (Simanjuntak *et al.*, 2014). Dengan menggunakan metode ekstraksi ada beberapa keuntungan silika yang dapat diperoleh yaitu bersifat amorf, dan *porous* dengan tingkat kemurnian yang tinggi, yakni sekitar 95% (Sembiring & Karo-Karo., 2007). Silika telah digunakan dalam berbagai bidang antara lain menjadi katalis heterogen, insulator listrik, dan menjadi bahan dasar komposit (Susanti *et al.*, 2020), *desiccant*, adsorben, dan media filter. Silika sendiri merupakan bahan baku dari *glass industry*, keramik, silikon dan *alloy* (Kirk & Othmer, 1967).

2.4 Silika Sekam Padi

Sekam padi merupakan salah satu sumber silika alami yang sangat menarik, terutama karena merupakan limbah pertanian yang melimpah, terbarukan, kandungan silika tinggi, ekstraksi sederhana silika dari sekam padi memiliki butiran halus, serta lebih reaktif. Menurut Sembiring & Karo-Karo (2007) kandungan silika pada sekam padi cukup tinggi yaitu sebesar 94,66%. Silika yang berasal dari sekam padi dapat diperoleh dengan beberapa metode yaitu metode

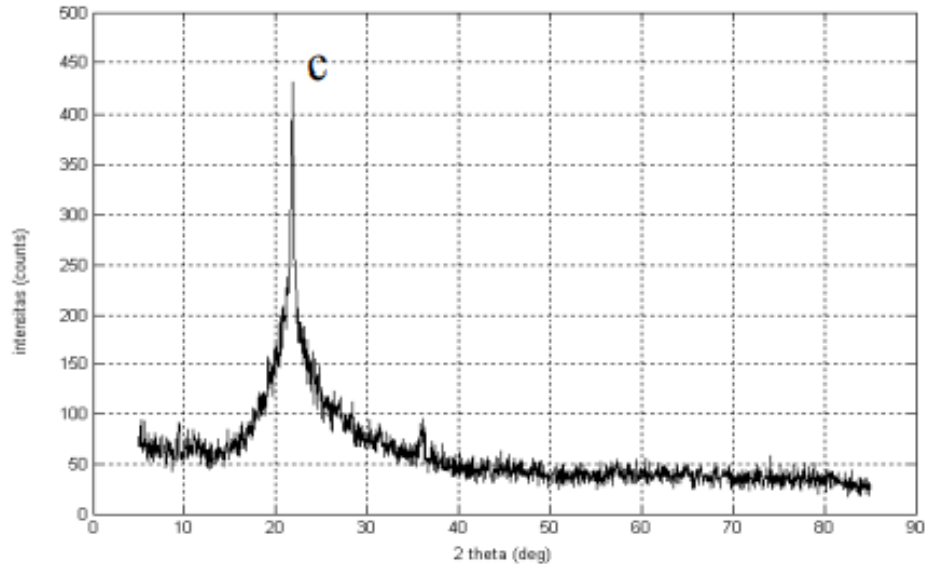
ekstraksi alkalis dan metode pengabuan. Secara umum metode pengabuan didasarkan pada karakteristik tingkat pembentukan kristalinitas silika melalui proses perlakuan termal, sementara metode alkalis didasarkan pada tingkat kelarutan silika yang tinggi dalam larutan alkalis seperti kalium hidroksida (KOH) atau natrium hidroksida (NaOH) dan pengendapan silika terlarut menggunakan asam seperti asam klorida, asam sitrat, asam asetat, dan asam oksalat. Metode alkalis telah banyak digunakan dalam ekstraksi silika dari sekam padi, hal ini dikarenakan prosesnya yang sederhana dan biaya yang murah. Karakteristik silika sekam padi yang diperoleh dengan metode ekstraksi mempunyai fasa amorf tanpa *sintering*. Pola XRD silika sekam padi tanpa *sintering* ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 XRD silika sekam padi tanpa *sintering* (Sembiring, 2017).

Perlakuan termal yang dilakukan pada silika sekam padi menunjukkan bahwa fasa amorf tersebut bertahan hingga suhu 750 °C. Awal perubahan struktur amorf ke kristal pada suhu *sintering* 850 °C, dan dengan meningkatnya suhu *sintering*

1.050 °C mengakibatkan transformasi *amorph* membentuk fasa kristal *crystoballite* dan *trydimite*, seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2. 6 XRD silika sekam padi (Suka *et al.*, 2008).

Spektrum XRD pada **Gambar 2.6** menunjukkan pola difraksi yang menyatakan bahwa silika yang terbentuk adalah kristal, dengan adanya tambahan fase yang memiliki puncak tertinggi pada $2\theta = 21,784^\circ$. Fase ini merupakan fase kristobalit pada posisi $2\theta = 22^\circ$.

Menurut Chandrasekhar *et al.* (2005) silika sekam padi memiliki luas permukaan yang luas ($259,5 \text{ m}^2/\text{g}$) dan bersifat hidrofilik. Silika sekam padi memiliki titik lebur sebesar $1.740 \text{ }^\circ\text{C}$ dan titik didih $2.230 \text{ }^\circ\text{C}$ (Todkar *et al.*, 2016). Yalcin & Sevinc (2001) menuturkan bahwa silika sekam padi memiliki densitas yang tinggi ($1,960 \text{ g/cm}^3$). Serta nilai kuat tarik dan nilai kekerasan yang dimiliki silika sekam padi sangat tinggi (Dominic *et al.*, 2013).

2.5 Nanopartikel Perak

Nanopartikel merupakan partikel yang memiliki ukuran antara 1-100 nm. Perak adalah logam transisi, perak juga merupakan suatu material yang unik karena memiliki elemen lembut, putih, berkilau, memiliki konduktivitas listrik dan termal yang tinggi serta memiliki aktivitas antibakteri. Dalam bentuk nanopartikel, perak memiliki sifat optik, listrik, dan antibakteri yang jauh lebih baik dibandingkan dalam bentuk makromolekularnya (bulk). Ukuran perak dalam skala nano menjadi pertimbangan penting karena dapat meningkatkan reaktivitas pada permukaan perak (Raffi *et al.*, 2008; Guzman *et al.*, 2009). Karena memiliki ukuran yang kecil nanopartikel perak memiliki luas permukaan yang besar, sehingga meningkatkan reaktivitas kimiawinya. Karena hal tersebut nanopartikel perak lebih mudah menerima elektron (Auffan *et al.*, 2009). Nanopartikel perak telah banyak disintesis dengan beberapa metode seperti metode reduksi, foto kimia, sonokimia, radiasi ultrasonik, dan sintesis solvotermal (Guzmán *et al.*, 2009). Metode yang paling sering digunakan adalah metode reduksi kimia, metode ini merupakan metode paling efektif untuk menghasilkan nanopartikel perak. Hal ini disebabkan oleh langkah kerja yang mudah, cepat, murah, dan menggunakan temperatur rendah (Ariyanta, 2014). Pembentukan nanopartikel perak dengan metode reduksi kimia sangat dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti konsentrasi perak, rasio molar reduktor, dan konsentrasi pelarut (Junaidi, 2017).

Nanopartikel perak dapat digunakan untuk aplikasi pada piranti optik, elektronik, sel surya hingga sebagai agen antibakteri. Nanopartikel perak sebagai antibakteri, ada beberapa hal yang mempengaruhi aktivitas antibakteri nanopartikel perak, seperti konsentrasi nanopartikel perak, bentuk nanopartikel perak, ukuran

nanopartikel perak, jenis bakteri, jumlah koloni bakteri dan waktu kontak nanopartikel perak dengan bakteri (Sondi, 2004). Jika semakin kecil ukuran partikel, maka luas permukaan nanopartikel perak semakin besar sehingga dapat meningkatkan kontak dengan bakteri atau jamur, serta dapat meningkatkan efektivitas bakterisida. Mekanisme nanopartikel perak sebagai antibakteri yaitu kemampuan nanopartikel perak merusak dinding sel bakteri, mengganggu proses metabolisme, dan menghambat sintesis sel bakteri (Haryono *et al.*, 2008).

2.6 Komposit Ag/SiO₂

Komposit berasal dari kata kerja “*to compose*” yang memiliki arti menyusun atau menggabung. Jadi bahan komposit berarti bahan gabungan dari dua atau lebih bahan yang berbeda. Komposit merupakan rangkaian dua atau lebih bahan yang digabung menjadi satu bahan secara mikroskopis dimana bahan pembentuknya masih terlihat seperti aslinya dan memiliki hubungan kerja diantaranya sehingga mampu menampilkan sifat-sifat yang diinginkan (Mikell, 1996). Dalam beberapa tahun terakhir, komposit berbasis Ag telah menarik beberapa peneliti, mereka menyimpulkan bahwa partikel Ag sebagai situs aktif memiliki aktivitas antibakteri yaitu kemampuan untuk mendegradasi dan mengurangi aktivitas bakteri. Penelitian berbasis Ag termasuk serat nanokomposit poliuretan/perak (Nirmala *et al.*, 2011), silika/perak (SiO₂/Ag) (Jiang *et al.*, 2005), komposit poliamida/perak (Kumar *et al.*, 2005), nanokomposit titanium oksida/silika/perak (TiO₂/SiO₂/Ag) (Liu *et al.*, 2013).

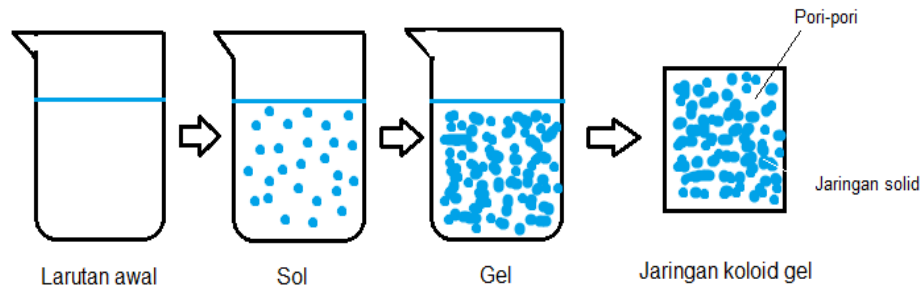
Khususnya komposit Ag/SiO₂, telah dipelajari secara mendalam, berbeda dengan matriks lainnya SiO₂ memiliki keunggulan unik karena stabilitas kimia dan termal

yang tinggi serta biokompatibilitasnya yang lebih baik. Peran penting komposit Ag/SiO₂ di berbagai bidang industri, produksi komposit Ag/SiO₂ terus dieksplorasi, secara umum telah ditemukan bahwa pembentukan komposit Ag/SiO₂ sangat tergantung pada komposisi kimia, jenis bahan baku, keberadaan pengotor, dan metode preparasi yang diterapkan. Aspek penting dalam komposit Ag/SiO₂ adalah metode preparasi yang bertujuan untuk mendapatkan komposit yang mengandung jumlah Ag yang cukup dan merata pada permukaan penyangga silika. Jumlah Ag perlu dikontrol untuk mendapatkan jumlah situs aktif yang optimal dan diperlukan pemerataan Ag agar komposit Ag/SiO₂ memiliki kinerja yang konsisten (Sembiring *et al.*, 2022).

2.7 Sol-gel

Proses sol-gel berawal pada pertengahan abad ke-19 oleh ahli kimia Prancis Jacques Joseph Ebelman (1814-1852) dan ahli kimia Skotlandia Thomas Graham (1805-1869). Mereka mengamati pembuatan zat monolitik seperti *glass* (*glasslike*) melalui proses hidrolisis dan kondensasi (TEOS) selama beberapa bulan (Elma, 2016). Sol-gel adalah salah satu metode pembentukan senyawa anorganik yang diproses pada temperatur rendah, dan tidak membutuhkan pH yang tinggi. Metode sol-gel melibatkan suatu proses perubahan fasa dari suspensi koloid (sol) membentuk fasa cair (gel). Dalam definisi ini, istilah sol adalah suspensi koloid stabil yang terdiri dari koloid dengan fluiditas yang tepat. Sementara gel adalah bentuk padat tiga dimensional yang saling terhubung dari hasil sol (Yusuf, 2021). Proses sol-gel merupakan teknik sintesis yang sangat

menarik untuk larutan pada temperatur rendah untuk pembuatan padatan non-kristalin (kaca dan material seperti kaca) dan kristal keramik (Elma, 2016).



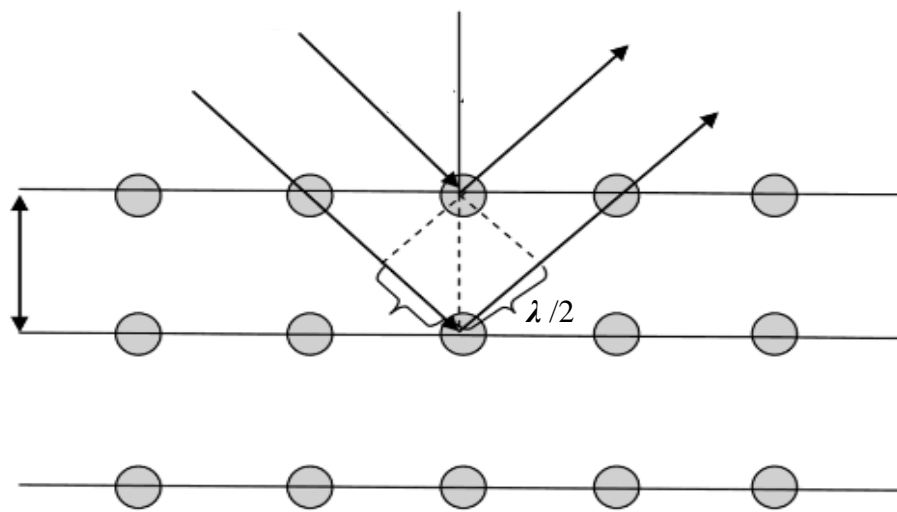
Gambar 2. 7 Proses sol gel (Feinle *et al.*, 2015).

Pada umumnya, tahapan proses sol gel terbagi atas tiga bagian, yaitu hidrolisis, kondensasi alkohol, dan kondensasi air. Ada juga beberapa sumber yang mengatakan bahwasanya tahapan proses sol gel itu terbagi atas empat tahap, yaitu hidrolisis, kondensasi, *aging* atau penuaan, dan *drying* atau pengeringan. Hidrolisis adalah pencampuran suspensi bubuk koloid, dengan cara mencampur partikel koloid ke dalam pelarut. Tahap gelasi terjadi ketika partikel koloid berinteraksi dengan perkusor dan membentuk fase gel. Tahap selanjutnya adalah penuaan atau *aging*, gel didiamkan beberapa waktu agar ketebalan gel meningkat. Selanjutnya yaitu pengeringan atau *drying*, penghilangan zat cair pada sampel (Hench & West, 1990).

2.8 XRD (*X-Ray Diffraction*)

Diffraksi sinar-X (*X-ray diffraction/XRD*) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk melakukan karakterisasi dengan memanfaatkan sifat sinar-X yang memiliki panjang gelombang antara 0,1 hingga 10 nm. Proses difraksi sinar-

X dapat mengidentifikasi arah dan bidang kisi pada suatu kristal dengan mengamati interferensi konstruktif yang dihasilkan pada sudut tertentu. Selain itu difraksi sinar-X juga dapat digunakan untuk menentukan ukuran partikel (Hamid, 2019). Serta Analisis difraksi sinar-X dapat digunakan untuk mengetahui fasa dari komposisi material tertentu. Pola difraksi suatu komposisi material dengan fasa yang berbeda juga akan berbeda, sehingga fasa komposisi material tersebut dapat ditentukan secara akurat (Sani, 2019).

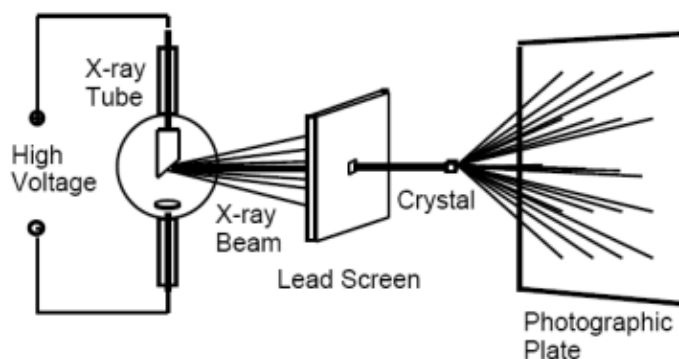


Gambar 2. 8 Ilustrasi difraksi sinar-X (Damanik, 2016).

Prinsip kerja XRD yaitu sinar-X yang terdifraksi, berturut-turut dibentuk oleh atom-atom kristal dari material. Dengan munculnya berbagai sudut yang timbul, pola difraksi yang terbentuk menyatakan karakterisasi dari sampel (Krisnawan, 2009). Puncak-puncak pola difraksi sinar-X berhubungan dengan jarak antar bidang. Syarat terjadinya difraksi harus memenuhi hukum Bragg yang di tunjukkan pada Persamaan (2.1).

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

dengan λ = panjang gelombang sinar-X (1 Cu = 1,540562 Å) ; θ = sudut difraksi yang menggambarkan posisi puncak ; d_{hkl} = jarak antar bidang yang menggambarkan sistem, ukuran sel satuan dan indeks Miller bidang tersebut.



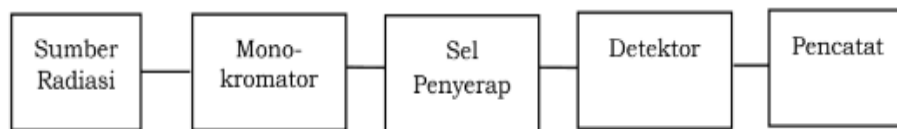
Gambar 2. 9 Perangkat difraksi sinar-X (Sultra, 2007).

Komponen utama pada alat XRD yaitu sumber sinar-X, material uji (sampel) dan detektor. Sumber sinar-X yang terdapat pada tabung sinar-X akan terjadi tumbukan antara tegangan tinggi yang bertujuan untuk mempercepat elektron dengan logam target sehingga menghasilkan panjang gelombang. Pada material uji harus dalam bentuk padatan halus (bubuk). Detektor berfungsi sebagai pendeteksi sudut sinar-X yang telah direfleksikan pada material uji (Krisnawan, 2009).

2.9 UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis merupakan spektrofotometer yang digunakan untuk pengukuran didaerah ultra violet dan didaerah tampak. Semua metode spektrofotometri berdasarkan pada serapan sinar oleh senyawa yang ditentukan, sinar yang digunakan adalah sinar yang semonokromatis mungkin. Dalam analisis

secara spektrofotometri terdapat dua daerah panjang gelombang elektromagnetik yang digunakan, yaitu daerah UV (200 – 380 nm) dan daerah visible (380–700 nm) (Khopkar, 1990). Komponen spektrofotometer UV-Vis dapat dilihat pada **Gambar 2.10**.



Gambar 2. 10 Instrumentasi UV-Vis (Sastrohamidjojo, 2001).

Komponen-komponen pokok dari spektrofotometer meliputi:

1. Sumber tenaga radiasi yang stabil, sumber yang biasa digunakan adalah lampu wolfram.
2. Monokromator, untuk memperoleh sumber sinar yang monokromatis.
3. Sel absorpsi, tempat meletakkan kuvet.
4. Detektor radiasi yang dihubungkan dengan system meter atau pencatat. Peranan detektor penerima adalah memberikan respon terhadap cahaya pada berbagai panjang gelombang.
5. Pencatat, system baca yang menangkap besarnya isyarat listrik yang berasal dari detektor.

Prinsip kerja Spektrofotometer UV-Vis yaitu apabila cahaya monokromatik melalui suatu media (larutan), maka sebagian cahaya tersebut diserap (I), sebagian dipantulkan (I_r), dan sebagian lagi dipancarkan (I_t) (Hasibuan, 2015). Adapun yang melandasi pengukuran spektrofotometer ini dalam penggunaannya adalah hukum Lambert-Beer yaitu bila suatu cahaya monokromatis dilewatkan melalui suatu media yang transparan, maka intensitas cahaya yang ditransmisikan

sebanding dengan tebal dan kepekaan media larutan yang digunakan (Rohman, 2007) berdasarkan Persamaan (2.2) dan Persamaan (2.3).

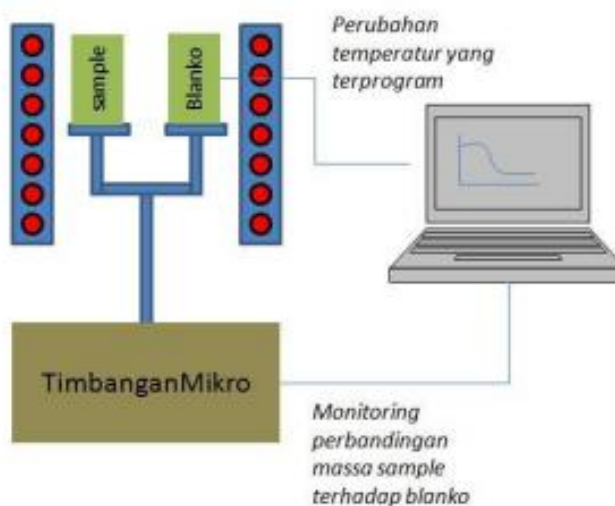
$$A = \log \frac{I}{I_0} \quad (2.2)$$

$$A = a.b.c \quad (2.3)$$

dengan A merupakan absorbansi, a merupakan koefisien serapan molar, b merupakan tebal media yang dilewati sinar, c merupakan konsentrasi unsur dalam larutan, I_0 merupakan intensitas sinar mula-mula, I merupakan intensitas sinar yang diteruskan.

2.10 TGA/DTA (*Thermal Gravimetric Analysis/Differential Thermal Analysis*)

Thermal Gravimetric Analysis (TGA), didasari pada perubahan berat akibat pemanasan (Klancnik *et al.*, 2010). Massa sampel dapat berubah karena proses dekomposisi, adsorpsi, atau reaksi dimonitor sebagai fungsi temperatur. Peralatan TGA meliputi *micro balance*, dan beberapa sensor suhu. Kelengkapan lain di dalam peralatan TGA adalah wadah sampel, pengatur program temperatur, dan tungku pemanas. Peralatan TGA diperlihatkan pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2. 11 Gambaran skematis peralatan TGA (Setiabudi *et al.*, 2012).

Di dalam sebuah tungku yang dihubungkan dengan pemrogram temperatur terdapat dua wadah yang identik yaitu wadah sampel dan wadah rujukan (blanko). Kedua wadah ini terhubung dengan *micro balance* yang akan memantau perubahan massa sampel dan massa blanko selama proses perubahan temperatur. Selisih massa sampel dan massa blanko (dikondisikan nol) direkam dan hasilnya diplot dalam sebarang grafik fungsi massa terhadap temperatur. Hasil rekamannya dinamakan thermogram (Setiabudi *et al.*, 2012).

DTA merupakan teknis analisis termal yang menggunakan perbedaan suhu sampel dan referensi untuk menganalisis perubahan sifat kimia dan fisika (Harsanti, 2010) DTA didasari pada perubahan kandungan panas akibat perubahan temperatur. Kegunaan DTA adalah untuk mengetahui perubahan yang terjadi berupa pelepasan panas (eksoterm) dan penyerapan panas (endoterm), dimana peristiwa ini menunjukkan adanya peristiwa yang terjadi pada bahan yang diuji. Dimana jika dalam pengamatan suhu acuan lebih besar dari pada suhu sampel maka ΔT negatif, sedangkan jika suhu acuan lebih kecil dari pada suhu

sampel maka ΔT positif, dan jika suhu acuan sama dengan suhu sampel berarti tidak terjadi perubahan dan ditunjukkan berupa garis lurus (Suherman, 2009). Aplikasi penting dari DTA adalah menyelidiki perubahan fasa atau transisi Kristal. Fenomena transisi Kristal tersebut hanya dapat dilihat pada DTA (Sani, 2019).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

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

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang pada penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3. 1 Bahan-bahan penelitian.

No	Nama Bahan	Fungsi
1	Sekam padi	Sumber silika
2	NaOH	Melarutkan silika pada sekam padi
3	Akuades	Melarutkan prekursor
4	HNO ₃	Mengubah pH agar campuran sol silika dan sol perak berubah menjadi silika gel
5	AgNO ₃	Sumber nanopartikel perak
6	Na ₃ C ₆ H ₅ O ₇	Agen reduktor dan stabilisator untuk pembuatan nanopartikel perak

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ditunjukkan pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3. 2 Alat-alat penelitian.

No	Nama Alat	Fungsi
1	Gelas <i>beaker</i>	Menampung larutan, serta tempat pencampuran sol silika dan sol perak
2	Spatula	Mengaduk campuran prekursor

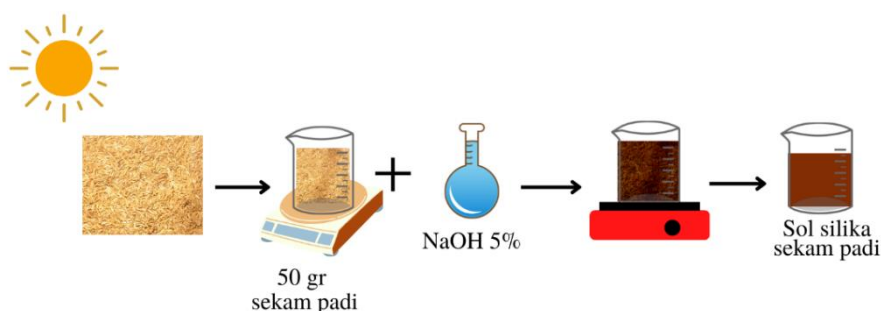
No	Nama Alat	Fungsi
3	Gelas ukur	Mengukur volume larutan
4	Labu erlenmeyer	Menampung larutan perak
5	Kompur listrik	Memanaskan NaOH dan sekam padi
6	<i>Magnetic stirrer</i>	Mengaduk larutan agar homogen
7	Kertas Ph	Mengukur pH larutan
8	Plastik <i>wrap</i>	Menutup sampel
9	Kertas saring	Menyaring sol dan gel Ag/SiO ₂
10	<i>Oven</i>	Mengeringkan gel nanokomposit Ag/SiO ₂
11	<i>Aluminium foil</i>	Tempat gel Ag/SiO ₂ yang akan dikeringkan
12	<i>Mortar dan pestle</i>	Menghaluskan nanokomposit Ag/SiO ₂ kering
13	Timbangan digital	Menimbang massa material
14	Ayakan 200 <i>mesh</i>	Menyaring serbuk nanokomposit Ag/SiO ₂
15	XRD X'pert <i>powder</i> PW 30/40	Karakterisasi sampel untuk mengetahui struktur kristal dan fasa
16	TGA/DTA Shimadzu DTG-60	Karakterisasi sampel untuk mengetahui sifat termal suatu bahan
17	UV-Vis T70 <i>spectrophotometer</i>	Karakterisasi sampel untuk mengetahui energi <i>bandgap</i>

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan pada penelitian ini meliputi preparasi sol silika dari sekam padi, preparasi sol nanopartikel perak, pembuatan nanokomposit Ag/SiO₂.

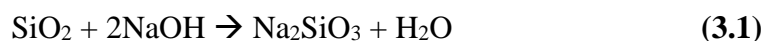
A. Preparasi Silika dari Sekam Padi

Proses preparasi silika dari sekam padi ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3. 1 Preparasi silika dari sekam padi.

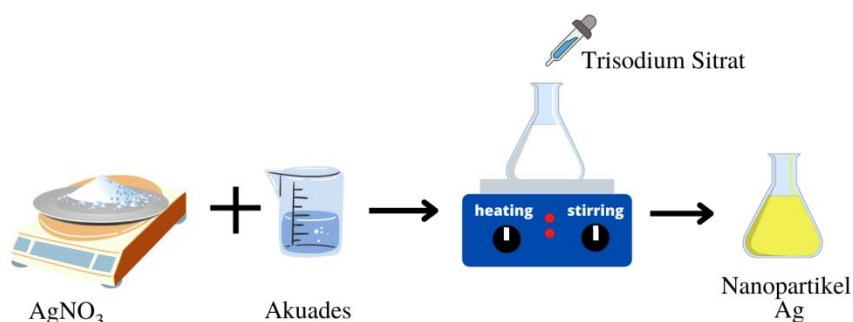
Hal pertama yang harus dilakukan yaitu membersihkan sekam padi dengan menggunakan air bersih dan direndam selama 1 jam. Selanjutnya membuang sekam padi yang mengambang serta air sisa rendaman. Sekam padi yang tenggelam direndam kembali menggunakan air panas selama 6 jam. Setelah itu sekam ditiriskan dan dijemur hingga kering. Kemudian menimbang sekam padi sebanyak 50 gram, ditambahkan 500 ml larutan NaOH 5% dan dipanaskan menggunakan kompor listrik selama 30 menit hingga mendidih serta diaduk menggunakan spatula. Sol silika yang diperoleh kemudian didinginkan, dan ditutup menggunakan plastik *wrap* kemudian didiamkan selama 24 jam untuk proses penuaan (*aging*). Setelah itu sol silika disaring menggunakan kertas saring, yang bertujuan untuk memisahkan sol silika dengan ampas sekam padi dan zat pengotor lain (Simanjuntak *et al.*, 2016). Reaksi yang terjadi pada tahap ini ditunjukkan pada Persamaan (3.1).



(Simanjuntak *et al.*, 2016).

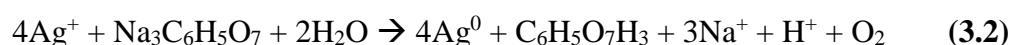
B. Preparasi Sol Nanopartikel Perak

Proses preparasi sol nanopartikel perak ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3. 2 Preparasi sol nanopartikel Perak.

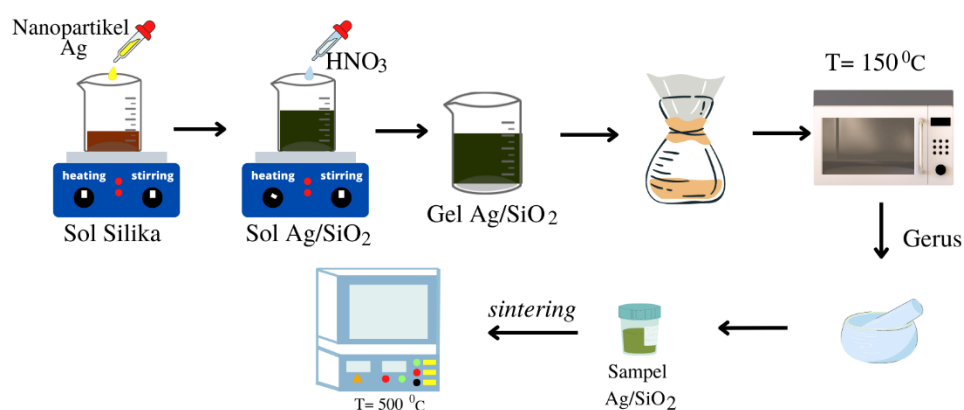
Perak nitrat (AgNO_3) dengan konsentrasi 8 mM dilarutkan dalam akuades sebanyak 50 ml. Kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu $90\text{ }^\circ\text{C}$. Selanjutnya menyiapkan trisodium sitrat dengan konsentrasi 64 mM dilarutkan dalam 5 ml akuades. Selanjutnya meneteskan sedikit demi sedikit larutan trisodium sitrat ke dalam larutan perak nitrat. Pengadukan dan pemanasan dilakukan selama 20 menit hingga larutan perak berwarna kuning. Larutan yang berwarna kuning menunjukkan telah terbentuknya nanopartikel perak (Junaidi, 2017). Setelah itu sol perak didiamkan hingga dingin. Reaksi yang terjadi pada pembuatan sol nanopartikel perak ditunjukkan pada Persamaan (3.2).



(Haryono *et al.*, 2008).

C. Pembuatan Nanokomposit Ag/SiO₂

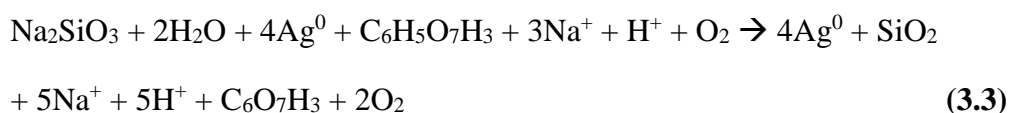
Proses pembuatan nanokomposit Ag/SiO₂ ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



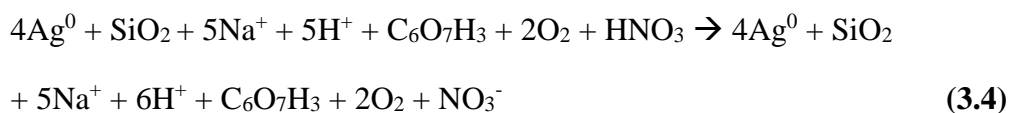
Gambar 3. 3 Proses pembuatan nanokomposit Ag/SiO₂.

Dalam pembuatan nanokomposit Ag/SiO₂ hal pertama yang dilakukan yaitu menyiapkan sol silika sebanyak 50 ml kedalam gelas beaker, setelah itu

distirrer pada suhu ruang. Menambahkan 50 ml sol perak dengan cara diteteskan menggunakan pipet tetes selama 3 jam. Reaksi yang terjadi ditunjukkan pada Persamaan (3.3).



Selanjutnya menambahkan HNO_3 dengan konsentrasi 10% secara perlahan hingga membentuk gel dengan pH 7. Gel nanokomposit Ag/SiO₂ yang diperoleh didiamkan selama 24 jam untuk proses *aging*. Reaksi yang terjadi pada tahap ini ditunjukkan pada Persamaan (3.4).



Pada tahap ini dihasilkan gel Ag/SiO₂ yang berwarna hijau gelap. Setelah melalui tahap *aging*, gel Ag/SiO₂ dicuci menggunakan akuades hangat, hingga air dari sisa pencucian berwarna bening. Selanjutnya dioven selama 3 jam dengan suhu 150 °C. Ag/SiO₂ yang telah melalui proses pengeringan digerus menggunakan mortar dan *pestle*. Untuk mendapatkan serbuk Ag/SiO₂ yang homogen kemudian diayak menggunakan pengayak dengan ukuran 200 *mesh*. Serbuk Ag/SiO₂ *disintering* pada suhu 500 °C.

D. Karakterisasi Sampel

Karakterisasi yang digunakan pada penelitian ini adalah XRD, UV-Vis dan DTA/TGA.

1. XRD

Karakterisasi menggunakan XRD dengan merek X'pert *powder* PW 30/40 dengan target Cu K α ($\lambda = 1,542 \text{ \AA}$) dengan sudut 2θ rentang 20° sampai 90°.

Analisis kualitatif struktur fasa menggunakan metode *search and match* melalui aplikasi program powder diffraction file (PCPDFWIN). Analisis kuantitatif data menggunakan *software rietica* dengan melakukan *refinement* dan memasukkan parameter-parameter fasa yang terbentuk hasil analisis kualitatif. Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui struktur fasa (kristal atau amorf), mengetahui rumus kimia suatu bahan dan panjang gelombang yang dicocokkan berdasarkan *database* penelitian sebelumnya.

2. UV-Vis

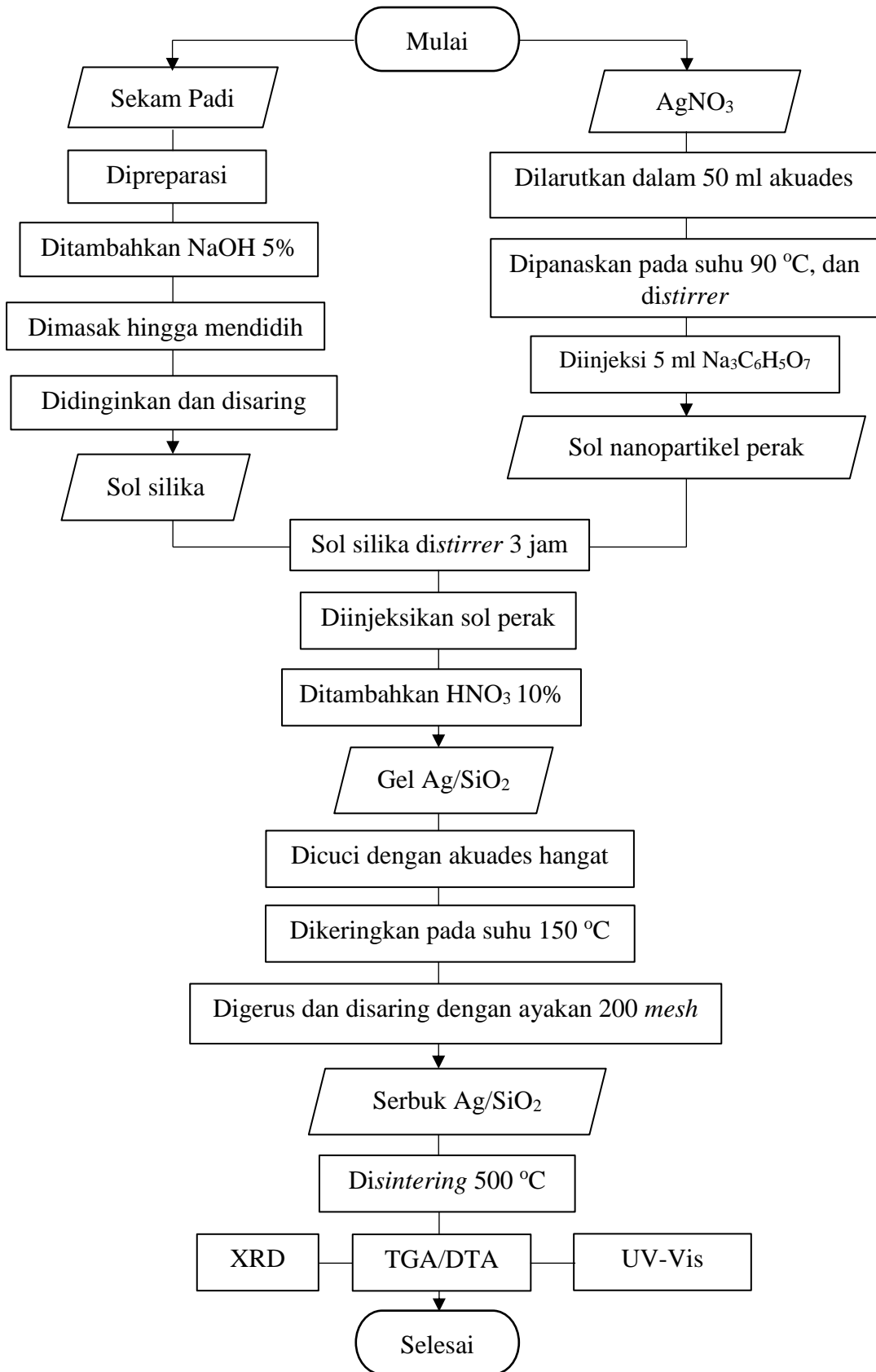
Karakterisasi menggunakan UV-Vis bertujuan untuk mengetahui energi *bandgap* Ag/SiO₂. Sampel Ag/SiO₂ dikarakterisasi menggunakan UV-Vis T70 *spectrophotometer*. Sampel diambil sebanyak 2,5 ml kemudian dimasukkan pada kuvet. Sampel dimasukkan kedalam spektrofotometer UV-Vis dan dilanjutkan pengujian serapan optik sampel pada rentang panjang gelombang 185-1.100 nm.

3. TGA/DTA

Karakterisasi menggunakan TGA/DTA dengan jenis Shimadzu DTG-60, karakterisasi ini memiliki tujuan untuk mengetahui sifat termal Ag/SiO₂ Pengujian dilakukan dari keadaan suhu 50-850 °C dengan kelajuan 10 °C/menit.

3.4 Diagram Alir

Diagram alir pada penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.4**.



Gambar 3. 4 Diagram alir penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Nanokomposit Ag/SiO₂ yang disintesis menggunakan metode sol-gel dengan tahapan ekstraksi sol silika, preparasi sol nanopartikel perak, dan sintesis nanokomposit Ag/SiO₂, menghasilkan serbuk berwarna putih gelap sebanyak 1,54 gram.
2. Pada hasil analisis XRD menunjukkan bahwa silika yang diperoleh memiliki struktur fasa amorf, dan kristal perak memiliki struktur fasa *cubic* dengan ukuran 41,64 nm.
3. Hasil analisa sifat termal pada nanokomposit Ag/SiO₂ menunjukkan susut massa sebesar 60%.
4. Hasil analisis UV-Vis diperoleh puncak absorbansi pada 369 nm. Diperoleh *direct bandgap* sebesar 2,38 eV dan *indirect bandgap* sebesar 1,73 eV.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka saran untuk melanjutkan penelitian dengan memberikan variasi terhadap suhu *sintering* yang dipakai. Serta penelitian lanjut mengenai aplikasinya sebagai antibakteri.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, H., Baharits, M., Abidin, R., & Biantoro, F. R. (2022). Sintesis Pernis Nanopartikel Perak Anti Mikroba dengan Bioreduktor Daun Kelor (*Moringa Olifera*). *Jurnal Kimia dan Rekayasa*, 2, 84–93.
- 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.
- Adha, I. (2011). Pemanfaatan Abu Sekam Padi sebagai Pengganti Semen pada Metoda Stabilisasi Tanah Semen. *Jurnal Rekayasa*, 15(1), 33–40.
- Alfanaar, R., & Afthoni, M. H. (2021). Reduksi Katalitik 4-Nitrofenol dengan Katalis Nanopartikel Perak Terkonjugasi L-Lisine. *Rafflesia Journal Natural and Applied Sciences.*, 1(5), 83–89.
- Alfrisa, S., D, R., & P, T. (2018). Studi Difraksi Sinar-X Struktur Nano Seng Oksida (ZnO). *Risalah Fisika*, 2(2), 53–57.
- Anand, P. B., Sandeep, C. S. S., Sridharan, K., Narayanan, T. N., Thomas, S., Philip, R., & Anantharaman, M. R. (2012). An Optical Limiter Based on Silver-Silica Nanocomposites. *Advanced Science, Engineering and Medicine*, 4(1), 33–38.
- Apriandanu, D. O. B., Wahyuni, S., & Hadisaputro, S. (2013). Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Metode Poliol dengan Agen Stabilisator Polivinilalkohol (PVA). *Jurnal MIPA*, 36(2), 157–168.
- Ardana, S. (2013). Sintesis Silika-Kitosan Bead untuk Menurunkan Kadar Ion Cd (II) dan Ni (II) dalam Larutan. *Skripsi. Kimia. Universitas Negeri Semarang*.
- Ariyanta, H. A. (2014). Preparasi Nanopartikel Perak dengan Metode Reduksi dan Aplikasinya Sebagai Antibakteri Penyebab Luka Infeksi. *Jurnal Mkmi*, 10(1), 36-42.
- Auffan, M., Rose, J., Wiesner, M. R., & Bottero, J. Y. (2009). Chemical Stability of Metallic Nanoparticles: a Parameter Controlling Their Potential Cellular Toxicity In Vitro. *Environmental Pollution*, 157(4), 1127–1133.
- Beyene, H. D., Werkneh, A. A., Bezabh, H. K., & Ambaye, T. G. (2017). Synthesis Paradigm and Applications of Silver Nanoparticles (AgNPs), a Review. *Sustainable Materials and Technologies*, 13, 18–23.

- Chandrasekhar, S., Pramada, P. N., & Praveen, L. (2005). Effect of Organic Acid Treatment on The Properties of Rice Husk Silica. *Journal of Materials Science*, 40, 6535–6544.
- Damanik, A. (2016). *Pengantar Fisika Zat Padat*. Sanata Dharma University Press. Yogyakarta.
- Devi, S., & Srivastva, M. (2010). Solgel Synthesis and Structural Characterization of Silver-Silica Nanocomposites. *Indian Journal of Physics*, 84(11), 1561–1566.
- Diana, L. O., Sembiring, S., & Situmeang, R. T. . (2019). Pengaruh Penambahan Silika (SiO₂) Sekam Padi Terhadap Karakteristik Mikrostruktur dan Struktur Aspal dengan Perbandingan Massa 1:0 ; 1;1,5 ; 1:1,6 Dan 1:1,7. *Teori Dan Aplikasi Fisika*, 7(1), 35–44.
- Dominic, C. D. M., Begum, P. M. S., Joseph, R., Joseph, D., Kumar, P., & Ayswarya, E. P. (2013). Synthesis, Characterization and Application of Rice Husk Nanosilica in Natural Rubber. *International Journal of Science, Environment*, 2(5), 1027–1035.
- Dudek, K., Podwórny, J., Dulski, M., Nowak, A., & Peszke, J. (2017). X-ray Investigations Into Silica/Silver Nanocomposite. *Powder Diffraction*, 32(S1), 82-86.
- Dutov, V., Mamontov, G., Zaikovskii, V. I., & Vodyankina, O. V. (2016). The Effect of Support Pretreatment on Activity of Ag/SiO₂ Catalysts in Low-Temperature CO Oxidation. *Catalysis Today*, 278, 150–156.
- Elma, M. (2016). *Proses Sol Gel: Analisis, Fundamental Dan Aplikasi*. Lambung Mangkurat University Press. Banjarmasin.
- Feinle, A., Elsaesser, M. S., & Hüsing, N. (2015). Sol-gel Synthesis of Monolithic Materials with Hierarchical Porosity Received. *Chemistry Society Reviews*, 00, 1–3.
- Gusrizal, G., Santosa, S. J., Kunarti, E. S., & Rusdiarso, B. (2016). Dual Function of p-Hydroxybenzoic Acid as Reducing and Capping Agent in Rapid and Simple Formation of Stable Silver Nanoparticles. *International Journal of ChemTech Research*, 9(8), 472–482.
- Gustavon, A., & Schuler, E. (2010). *Solar Photocatalytic Degradation of Rhodamine B by TiO₂ Nanoparticles Composites*. University of Gothenburg Press. Swedia.
- Guzmán, M. G., Dille, J., & Godet, S. (2009). Synthesis of Silver Nanoparticles by Chemical Reduction Method and Their Antibacterial Activity,. *International Journal Chemical Biological Engineering.*, 2(3), 104-111.
- Hamid, A. (2019). *Pendahuluan Fisika Zat Padat*. Syiah Kuala University Press. Aceh.
- Harimu, L. (2019). Studi Variasi Konsentrasi NaOH dan H₂SO₄ untuk Memurnikan Silika dari Abu Sekam Padi sebagai Adsorben Ion Logam Pb²⁺

- dan Cu^{2+} . *Indonesian Journal of Chemical Research*, 6(2), 81–87.
- Harsanti, D. (2010). Sintesis dan Karakteristik Boron Karbida dari Asam Borat, Asam Sitrat dan Karbon Aktif. *Jurnal Sains Dan Teknologi Modifikasi Cuaca*, 11(1), 29–40.
- Harsono, R. V, & Setiarso, P. (2021). Optimasi Potensi Ekstrak Rimpang Temulawak (Curcuma Xanthorrhiza) pada pH Basa Sebagai Sensitizer DSSC. *Indonesian Chemistry and Application*, 4(2), 8–15.
- Haryono, A., Sondari, D., & S, H. (2008). Sistesa Nanopartikel Perak dan Potensi Aplikasinya. *Jurnal Riset Industri*, 2(3), 156-163.
- Hasibuan, E. (2015). Pengenalan Spektrofotometri pada Mahasiswa Yang Melakukan Penelitian di Laboratorium Terpadu Fakultas Kedokteran Usu. *Karya Tulis Ilmiah*.
- Hench, L. L., & West, J. O. N. K. (1990). The Sol-Gel Process. *Chemical Review*, 90, 33–72.
- Houston. (1972). *Rice Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Ceramic. Amerika
- Ismunadji, M. (1988). *Padi* (Buku I, Ed). Bogor Puslitbangtan. Bogor.
- Jalili, M. M., & Moradian, S. (2009). Deterministic Performance Parameters for an Automotive Polyurethane Clearcoat Loaded with Hydrophilic or Hydrophobic Nano-Silica. *Progress in Organic Coatings*, 66(4), 359–366.
- Janariah, Sari, J. O., Sembiring, S., & Junaidi. (2022). Studi Pendahuluan Pembentukan Struktur Komposit Perak. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 10(01), 25–30.
- Jiang, Z.-J., Liu, C.-Y., & Sun, L.-W. (2005). Catalytic Properties of Silver Nanoparticles Supported on Silica Spheres. *Journal of Physical Chemistry B*, 109(5), 1730–1735.
- Junaidi. (2017). Spektrofotometer UV-Vis untuk Estimasi Ukuran Nanopartikel Perak. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 5(001), 1–7.
- Khopkar, S. (1990). *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Khopthong, W., & Cherdhirunkorn, B. (2020). Production of Silica-Based Ceramics Sintered Under Nitrogen Atmosphere from Rice Husk and Sugarcane Bagasse Ash. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 30(2), 76–82.
- Kirk, R., & Othmer. (1967). *Encyclopedia of Chemical Engineering Technology*, (Third Edit). John Wiley and Sons. New York.
- Klancnik, G., Medved, J., & Mrvar., P. (2010). Differential Thermal Analysis (DTA) and Differential Scanning Calorimetry (DSC) as a Method of Material Investigation. *Materials And Geoenvironment.*, 57(1), 127–142.

- Krisnawan, A. (2009). Karakterisasi Sampel Paduan Magnesium Jenis A29 1d dengan Berbagai Variasi Waktu Milling Menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) dan Difraction (XRD). *Skripsi*. Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Syarif Hidayatullah.
- Kristianingrum, S., & Sulastri, S. (2010). Berbagai Macam Senyawa Silika: Sintesis, Karakterisasi dan Pemanfaatan. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta*, 1–6.
- Kumar. (2010). Thermodynamic and Kinetic Studies of Cadmium Adsorption from Aqueous Solution onto Rice Husk. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 27(2), 1–9.
- Kumar, R., Howdle, S., & Münstedt, H. (2005). Polyamide/Silver Antimicrobials: Effect of Filler Types on The Silver Ion Release. *Journal of Biomedical Materials Research., Part B*, 75, 311.
- Li, Y., Zhang, B.-P., Zhao, C.-H., & Zhao, J.-X. (2012). Structure Transition, Formation, and Optical Absorption Property Study of Ag/SiO₂ Nanofilm by Sol–Gel Method. *Journal of Material Research*, 27(24), 3141–3146.
- Liu, C., Yang, D., Jiao, Y., Tian, Y., Wang, Y., & Jiang, Z. (2013). Biomimetic Synthesis of TiO₂–SiO₂–Ag Nanocomposites with Enhanced Visible-Light Photocatalytic Activity. *Interfaces*, 5(9), 3824–3832.
- Magani, A. K., Tallei, T. E., & Kolondam, B. J. (2020). Uji Antibakteri Nanopartikel Kitosan terhadap Pertumbuhan Bakteri Staphylococcus aureus dan Escherichia coli. *Jurnal Bios Logos*, 10(1), 7-12.
- Maharani, D., Mahmudin, L., & Iqbal, I. (2019). Pengaruh Konsentrasi Zat Pereduksi Trinatrium Sitrat (Na₃C₆H₅O₇) terhadap Sifat Optik Nanopartikel Perak. *Gravitasi*, 17(2), 34-42.
- Manurung, P. (2018). *Nanomaterial Tinjauan Ilmu Masa Kini*. ANDI. Yogyakarta.
- Mikell, P. (1996). *Composite Material Fundamental Of Modern Manu-Facturing Material, Processes, And System*. Prentice Hall. Amerika.
- Mohd, N. K., Khalik, W. M. A. W. M., & Azmi, A. A. (2019). Synthesis and Characterization of Silica-Silver Core-Shell Nanoparticles. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 23(2), 290–299.
- Nalawati, A. N., Suyatma, N. E., & Wardhana, D. I. (2021). Sintesis Nanopartikel Perak (NpAg) dengan Bioreduktor Ekstrak Biji Jarak Pagar dan Kajian Aktivitas Antibakterinya. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 32(1), 98–106.
- Nascimento Ribas, L., de Sousa Bulhões, L. O., & da Silva, W. L. (2020). Study of The Photocatalytic Activity Using Silica-Based Materials Doped with Silver Nanoparticles for Degradation of Rhodamine B Dye. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231(5), 1–13.

- Ndazi, B. ., S.Karlsson, J.V.Teshaa, & C.W.Nyahumwaa. (2007). Chemical and Physical Modifications of Rice Husks for Use as Composite Panels. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38(3), 925–935.
- Nirmala, R., Fa, S., Ma, K., Jh, L., Sj, P., & Navamathavan R. (2011). Synthesis and Characterization of Bovine Femur Bone Hydroxyapatite Containing Silver Nanoparticles for the Biomedical Applications. *Journal of Nanoparticle Research*, 13, 1917–27.
- Oliveira, L. P., Foggi, C. C. de, Pimentel, B. N. A. da S., Assis, M., Andr´es, J., Longo, E., & Vergani, C. E. (2021). Increasing the Photocatalytic and Fungicide Activities of Ag_3PO_4 Microcrystals Under Visible-Light Irradiation. *Ceramics International*, 04(272), 1–11.
- Pham, D. P., Huynh, K. K., Tran, C. V., Vu, V. Q., & Tran, T. T. Van. (2014). Preparation and Structural Characterization of Sol-Gel-Derived Silver Silica Nanocomposite Powders. *International Journal of Materials Science and Applications*, 3(5), 147.
- Putra, S. N., Sembiring, S., & Riyanto, A. (2021). Karakteristik Struktur dan Fungsional Aspal Komposit dengan Perbandingan 85%;15%. *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*, 2(4), 141-146.
- Raffi, M. F., Hussain, T. M., Bhatti, J. I., Akhter, A., Hameed, & Hasan, M. M. (2008). Antibacterial Characterization of Silver Nanoparticles Against E: Coli ATCC-15224, *Journal of Materials Science and Technology*, 24, 192-196.
- Raganata, T. C., Aritonang, H., & Suryanto, E. (2020). Sintesis Fotokatalis Nanopartikel ZnO untuk Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue. *Chemistry Progress*, 12(2), 54–58.
- Ridwan, A., & Wahyuni, S. (2015). Pengaruh Pelarut Terhadap Karakteristik Nano $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ sebagai Penambah *Self-Cleaning* Cat Akrilik. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 4(2), 105–110.
- Rohman. (2007). *Kimia Farmasi Analisis*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Sabekti, K., Mansjur, G. S., & Diningrum, J. P. (2018). Analisis Pengaruh Kuat Arus Listrik terhadap Ketebalan Pelapisan Perak pada Alumunium a6063 dengan Proses Electroplating. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 6(1), 20–29.
- Sani, R. A. (2019). *Karakterisasi Material*. Pt Bumi Aksara. Jakarta Timur.
- Sartika, D., Malis, E., & Lestari, A. S. (2020). Studi Penyerapan Logam Berat Pb Menggunakan Nanopartikel Fe_3O_4 . *JPSE (Journal of Physical Science and Engineering)*, 4(1), 18–22.
- Sastrohamidjojo, H. (2001). *Spektroskopi*. Liberty. Yogyakarta.
- Selim, M. S., Yang, H., Wang, F. Q., Li, X., Huang, Y., & Fatthallah, N. A. (2018). Silicone/Ag@ SiO_2 Core-Shell Nanocomposite as a Self-Cleaning Antifouling Coating Material. *RSC Advances*, 8(18), 9910–9921.

- Sembiring, S. *Potensi Silika Sekam Padi Sebagai Bahan Keramik Refraktori Tahan pada Suhu Tinggi*. Teknosain. Yogyakarta.
- Sembiring, S., & Karo-Karo., P. (2007). Pengaruh Suhu Sintering terhadap Karakteristik Termal dan Mikrostruktur Silika Sekam Padi. *Journal Sains MIPA*, 13(3), 233–239.
- Sembiring, S., Riyanto, A., Firdaus, I., Junaidi, & Situmeang, R. (2022). Structure and Properties of Silver-Silica Composite Prepared from Rice Husk Silica and Silver Nitrate. *Ceramics-Silikáty*, 66(2), 185–195.
- Sembiring, S., Riyanto, A., Situmeang, R., Sembiring, Z., Susanti, N., & Firdaus, I. (2020). Effect of Amorphous Rice Husk Silica Addition on The Structure of Asphalt Composite. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 30(4), 113–118.
- Setiabudi, A., Hardian, R., & Muzakir, A. (2012). *Karakterisasi Material; Prinsip Dan Aplikasinya Dalam Penelitian Kimia*. Universitas Pendidikan Indonesia Press. Bandung.
- Simanjuntak, W., Simon, S., Manurung, P., Asmi, D., & I.M.Low. (2014). Synthesis and Characterisation of Gel-Derived Mullite Precursors from Rice Husk Silica. *Ceramics International*, 40(5), 7067–7072.
- Simanjuntak, W., Sembiring, S., Pandiangan, K. D., Syani, F., & Situmeang, R. T. M. (2016). The use of Liquid Smoke as a Substitute for Nitric Acid for Extraction of Amorphous Silica from Sice Husk through Sol-Gel Goute. *Oriental Journal of Chemistry*, 32(4), 2079–2085.
- Sondi, I., & Sondi, B. S. (2004). Silver Nanoparticle as Antimicrobial Agent: a Case Study on E. Coli as a Model for Gram-Negative Bacteria. *Journal of Colloid Interface Science*, 275, 177–182.
- Suherman. (2009). Karakteristik Fungsionalitas dan Termal Bahan Keramik Cordierite ($Mg_2Al_4Si_5O_{18}$) Berbasis Silika Sekam Padi Akibat Perlakuan Kalsinasi. *Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung*.
- Suka, I. G., Simanjuntak, W., Sembiring, S., & Evi Trisnawati. (2008). Karakteristik Silika Sekam Padi dari Provinsi Lampung yang Diperoleh dengan Metode Ekstraksi. *MIPA*, 37, 47–52.
- Sultra, Y. K. (2007). Pembuatan dan Pencirian Poli (Asam Glikolat) dengan Metode Solid State Polymerization. *Skripsi. Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor*.
- Tarsito, T., Sutanto, H., & Mahendrajaya. (2013). Pengaruh Variasi Komposisi Briket Organik Terhadap Temperatur dan Waktu Pembakaran. *Berkala Fisika*, 16(1), 21–26.
- Todkar, B. S., Deorukhkar, O. A., & Deshmukh, S. M. (2016). Extraction of Silica from Rice Husk. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(3), 69–74.
- Tuan, L. N. A., Dung, L. T. K., Ha, L. D. T., Hien, N. Q., Phu, D. V., & Du, B. D.

- (2017). Preparation and Characterization of Nanosilica from Rice Husk Ash by Chemical Treatment Combined with Calcination. *Vietnam Journal of Chemistry*, 55, 446–455.
- Wiley, B. J., Im, S. H., Li, Z. Y., McLellan, J., Siekkinen, A., & Xia, Y. (2006). Maneuvering the Surface Plasmon Resonance of Silver Nanostructures through Shape-Controlled Synthesis. *Journal of Physical Chemistry B*, 110(32), 15666–15675.
- Winardi, S., Riwayati, I., Shimada, M., Madhania, S., Machmudah, S., & Kusdianto, K. (2022). Synthesis of ZnO/Ag/SiO₂ Nanocomposites Using Flame Pyrolysis Method and its Photocatalytic Activity. *Materials Science Forum*, 1057, 119–128.
- Wulandari, M., Astuti, A., & Muldarisnur, M. (2018). Sintesis Nanopartikel TiO₂-SiO₂ Berpori sebagai Fotokatalis untuk Penjernihan Air Limbah Rumah Tangga. *Jurnal Fisika Unand*, 7(1), 33–38.
- Yalcin, N., & Sevinc, V. (2001). Studies on Silica Obtained from Rice Husk. *Ceramics International*, 27, 219–224.
- Yusuf, Y. (2021). *Karbonat Hidroksipatit Dari Bahan Alam*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.