ANALISIS GUGUS FUNGSI, STRUKTUR MIKRO, DAN KOMPOSISI KOMPOSIT PERAK SILIKA (Ag/SiO_2) BERBASIS SILIKA SEKAM PADI MENGGUNAKAN METODE SOL GEL PADA SUHU KALSINASI 850 ^oC

(Skripsi)

Oleh

WIWIN SULISTIANI

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MAREMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023

ABSTRAK

ANALISIS GUGUS FUNGSI, STRUKTUR MIKRO, DAN KOMPOSISI KOMPOSIT PERAK SILIKA (Ag/SiO_2) BERBASIS SILIKA SEKAM PADI MENGGUNAKAN METODE SOL GEL PADA SUHU KALSINASI 850 ^oC

Oleh

WIWIN SULISTIANI

Penelitian mengenai sintesis komposit perak silika (Ag/SiO_2) berbasis silika sekam padi telah berhasil dilakukan. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui bagaimana proses sintesis komposit dengan menggunakan metode sol gel, mengetahui gugus fungsi, struktur mikro dan komposisi komposit Ag/SiO_2. Sintesis komposit Ag/SiO_2 dilakukan dengan menggunakan metode sol gel, dengan menginjeksi larutan nanopartikel perak kedalam sol silika dan di-*stirrer* selama 3 jam. Selanjutnya diinjeksi dengan HNO_3 10% hingga pH menjadi netral dan di-*aging* selama 24 jam, kemudian dicuci dengan aquades panas dan dikeringkan pada suhu 150 ^oC. Padatan yang diperoleh dihaluskan dan saring dengan ukuran 250 *mesh* dan dikalsinasi pada suhu 850 °C.Karakterisasi gugus fungsi menggunakan FTIR diperoleh terdapat ikatan Si-O-Si yang menujukkan adanya silika dan gugus fungsi Ag-O yang menunjukkan kehadiran perak. Untuk hasil karakterisasi struktur mikro menggunakan SEM menujukkan bahwa sampel berbentuk seperti serpihan batu tajam dan terlihat adanya butiran-butiran kecil (granula) dengan ukuran dan bentuk partikel berbeda beda. Hasil analisis komposisi senyawa pada Ag/SiO_2 dengan menggunkan EDX menunjukkan adanya komposisi Si sebesar 24,58 % dan Ag sebesar 1,01 %.

Kata kunci: Ag/SiO_2, $AgNO_3$, silika sekam padi, gugus fungsi, struktur mikro dan komposisi.

ABSTRACT

ANALYSIS OF FUNCTIONAL GROUP, MICRO STRUCTURE, AND COMPOSITION OF SILVER SILICA COMPOSITE (Ag/SiO_2) BASED ON RICE HUSK SILICA USING SOL GEL METHOD AT CALCINATION TEMPERATURE OF 850 ºC

By

WIWIN SULISTIANI

Research on synthesizing silver silica (Ag/SiO_2) composites based on rice husk silica has been successfully carried out. The purpose of this research is to discover how the process of composite synthesis using the sol gel method, knowing the functional groups, microstructure and composition of the Ag/SiO_2 composite. The Ag/SiO_2 composite was synthesized using the sol gel method, by injecting a solution of silver nanoparticles into the silica sol and stirring for 3 hours.Furthermore it was injected with 10% HNO_3 until the pH became neutral and aged for 24 hours, then washed with hot distilled water and dried at 150 °C. The solid obtained was pulverized and filtered to a size of 250 mesh and calcined at 850 °C. Characterization of the functional groups using FTIR showed that Si-O-Si bonds indicated the presence of silica, and the Ag-O active group indicated the presence of silver. The results of microstructural characterization using SEM showed that the sample was shaped like a sharp flake, and there were visible small grains (granules) with different particle sizes and shapes. The analysis of the compound composition on Ag/SiO_2 using EDX showed a Si composition of 24.58% and Ag of 1.01%.

Keywords: *Ag/SiO_2, $AgNO_3$, rice husk silica, functional groups, microstructure and composition.*

ANALISIS GUGUS FUNGSI, STRUKTUR MIKRO, DAN KOMPOSISI KOMPOSIT PERAK SILIKA (Ag/SiO_2) BERBASIS SILIKA SEKAM PADI MENGGUNAKAN METODE SOL GEL PADA SUHU KALSINASI 850 ˚C

Oleh

WIWIN SULISTIANI

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MAREMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : **ANALISIS GUGUS FUNGSI, STRUKTUR MIKRO, DAN KOMPOSISI KOMPOSIT PERAK SILIKA (Ag/SiO_2) BERBASIS SILIKA SEKAM PADI MENGGUNAKAN METODE SOL GEL PADA SUHU KALSINASI 850 ^{o}C**

Nama Mahasiswa : Wiwin Sulistiani

Nomor Pokok Mahasiswa : 1817041023

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.	**Iqbal Firdaus, S.Si., M.Si.**
NIP. 198206182008121001	NIP. 199006162019031016

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

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 : **Prof. Posman Manurung, M.Si., Ph.D** .....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

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

NIP. 197407052000031001

Tanggal lulus ujian skripsi: 03 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.

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

Bandar Lampung, 03 Febuari 2023

Wiwin Sulistiani
NPM. 1817041023

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Wiwin Sulistiani, lahir pada tanggal 17 Juli 2000 di Kabupaten Tanggamus. Penulis merupakan anak keempat dari lima bersaudara pasangan Bapak Pardi dan Ibu Tumi. Penulis memulai pendidikan di SD N 2 Sumbermulyo dan lulus pada tahun 2012. Penulis kemudian menempuh pendidikan sekolah menengah di SMP N 1 Sumberejo dan lulus pada tahun 2015. Setelah itu, penulis melanjutkan masa pendidikannya di SMA N 1 Sumberejo. Selama menempuh pendidikan menengah atas, penulis aktif dalam kegiatan Praja Muda Karana (Pramuka) SMA N 1 Sumberejo.

Pada tahun 2018, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan menerima beasiswa bidikmisi. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah mengikuti karya wisata ilmiah (KWI) di Kecamatan Way Bungur, Kabupaten Lampung Timur pada akhir tahun 2018. Selanjutnya pada tahun 2018-2019 mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai anggota di bidang Sains dan Teknologi (SAINTEK). Pada awal tahun 2021 penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) putra-putri daerah di Desa Margoyoso, Kecamatan Sumberejo, Kabupaten Tanggamus. Kemudian ditahun yang sama penulis telah menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Taman Baca Fisika (TBF) Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung dengan judul “Pendataan Inventaris Taman Baca Dalam Rangka Peningkatan Layanan Informasi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung”. Penulis juga berkesempatan mengikuti progam Ruang Guru *Campus Masterclass* yang diadakan pada akhir tahun 2021.

MOTTO

"Karena sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan"

(QS. Al Insyirah: 5)

"Barang siapa yang ridho (dengan ketentuan Allah) maka Allah akan ridho kepadanya"

(HR Tirmidzi)

PERSEMBAHAN

Dengan Penuh Rasa Syukur Kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, karya ini dipersembahkan kepada:

Kedua Orang Tuaku:

Bapak Pardi dan Mamak Tumi

Atas doa yang tidak pernah ada putusnya serta segala upaya yang telah dilakukan untuk memberikan yang terbaik

Keluarga Besar dan Teman-teman

Terima kasih atas segala dukungan yang telah diberikan sehingga dapat tetap bertahan dalam keadaan suka maupun duka

Almamater Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala Rahmat, Taufik serta Hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul "**Analisis Gugus Fungsi, Struktur Mikro, dan Komposisi Komposit Perak Silika (Ag/SiO_2) Berbasis Silika Sekam Padi Mengggunakan Metode Sol Gel Pada Suhu Kalsinasi 850 ºC"** yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan kekurangan tersebut. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menjadi literatur serta rujukan bagi penelitian-penelitian berikutnya.

Bandar Lampung, Januari 2023

Wiwin Sulistiani

SANWACANA

Puji syukur atas karunia Allah SWT, karena atas berkat karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul "**Analisis Gugus Fungsi, Struktur Mikro, dan Komposisi Komposit Perak Silika (Ag/SiO_2) Berbasis Silika Sekam Padi Mengggunakan Metode Sol Gel Pada Suhu Kalsinasi 850 ºC"** sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung. Selama menyelesaikan skripsi ini, penulis telah menerima banyak bantuan secara langsung maupun tidak langsung sehingga membuat hasil karya ini menjadi lebih baik. Dengan segala kerendahan hati, penulis menghaturkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc. selaku Pembimbing Pertama yang telah sabar dan banyak memberi bimbingan, arahan, nasehat, motivasi, serta ilmunya.
2. Bapak Iqbal Firdaus, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing Kedua yang telah banyak memberikan saran dalam penulisan tugas akhir ini.
3. Bapak Prof. Drs. Posman Manurung, M.S.i., Ph.D. selaku Pembahas yang telah banyak memberikan pemahaman baru, kritik, dan saran yang membangun dalam penulisan tugas akhir ini.
4. Mendiang Prof Simon Sembiring, Ph.D. yang telah memberikan banyak ilmu serta motivasi untuk terus belajar dan pantang untuk menyerah.
5. Bapak Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, S.Si., M.T. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
6. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Unila.
7. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si, M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA Unila.

8. Bapak Drs. Amir Supriyanto M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
9. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Fisika atas ilmu yang telah diberikan selama penulis menempuh bangku perkuliahan.
10. Para staff dan karyawan Jurusan Fisika yang telah membantu penulis memenuhi kebutuhan administrasi dan lainnya selama menjadi mahawiswa Jurusan Fisika.
11. Kedua orang tuaku Bapak Pardi dan Mamak Tumi, Mbak Anik, Mas Eko, Mbak Iis, Dinda serta keluarga besar yang selalu memberikan doa dan motivasi untuk penulis.
12. Rekan seperjuangan penelitian Firmanda Fardony, Yessi Efridahniar, Nurfi Karimah dan Syafik Hari Putra atas kerjasamanya selama melaksanakan penelitian ini, saling memberi semangat dan selalu membantu dalam setiap kesempatan.
13. Para teman-teman seperjuangan Jihan Fallah Ariqoh, Monica Okta Violeta, Rini Vamulia, Intan Pubiyanti, Yessi Efridahniar, Noni Susanti dan Mei Suryani yang selalu memberi semangat, motivasi dan dukungan dalam segala kondisi.
14. Teman-teman Fisika Angkatan 2018 atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan.

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

Bandar Lampung, Januari 2023

Wiwin Sulistiani

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRAK ..... **i**

ABSTRACT ..... **ii**

LEMBAR PENGESAHAN .....Error! Bookmark not defined.

PENGESAHAN ..... **iv**

PERNYATAAN ..... **v**

RIWAYAT HIDUP ..... **vi**

MOTTO ..... **vii**

PERSEMBAHAN ..... **viii**

KATA PENGANTAR ..... **ix**

SANWACANA ..... **x**

DAFTAR ISI ..... **xii**

DAFTAR GAMBAR ..... **xv**

DAFTAR TABEL ..... **vii**

I. PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Batasan Masalah 5
1.5 Manfaat Penelitian 5

II. TINJAUAN PUSTAKA **6**

2.1 Nanopartikel Perak 6

2.2 Sintesis Nanopartikel Perak dengan Metode Reduksi 7
2.3 Silika 8
2.3.1 Bahan Mineral 9
2.3.2 Silika Sintesis..... 9
2.3.3 Bahan Nabati 10
2.4 Sekam Padi..... 11
2.5 Perak Silika (Ag/SiO_2) 13
2.6 Metode Sol Gel 14
2.7 Karakterisasi..... 15
2.7.1 *Scanning Electron Microscope & Energy Dispersive X-Ray* (SEM- EDX)..... 15
2.7.2 *Fourier Transform Infrared* (FTIR) 16

III. METODE PENELITIAN 19

3.1 Waktu dan Tempat 19
3.2 Alat dan Bahan..... 19
3.3 Prosedur Penelitian..... 21
3.3.1 Preparasi Sekam Padi 21
3.3.2 Pembuatan Sol Silika Sekam Padi..... 22
3.3.3 Pembuatan Nanopartikel Perak..... 23
3.3.4 Pembuatan Komposit Ag/SiO_2 24
3.4 Karakterisasi dan Uji Sample..... 25
3.4.1. Gugus Fungsionalitas..... 25
3.4.2. Morfologi dan Komposisi Sampel 25
3.5 Diagram Alir 25

IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... 27

4.1 Hasil Preparasi Sampel 27
4.1.1 Hasil Preparasi Sekam padi 27
4.1.2 Hasil Pembuatan Sol Silika Sekam Padi 28
4.1.3 Hasil Pembuatan Nanopartikel Perak 29
4.2 Hasil Karakterisasi Sampel Komposit Ag/SiO_2..... 33
4.2.1 Karakteristik Gugus Fungsi Komposit Ag/SiO_2..... 33
4.2.2 Mikrostruktur dan Komposisi Komposit Ag/SiO_2 36

V. KESIMPULAN..... 40

5.1 Kesimpulan 40

5.2 Saran..... 40

DAFTAR PUSTAKA..... 42

LAMPIRAN..... 50

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Alat SEM 15

Gambar 2.2 Skematik prinsip kerja FTIR 17

Gambar 3.1 Preparasi Sekam Padi 21

Gambar 3.2 Pembuatan Sol Silika Sekam Padi 22

Gambar 3.3 Pembuatan Larutan Nanopartikel Perak 23

Gambar 3.4 Pembuatan Komposit Perak Silika (Ag/SiO_2) 24

Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian 26

Gambar 4.1 Sekam Padi Hasil Preparasi 28

Gambar 4.2 Hasil sol silika dari sekam padi: (a) Sekam padi, (b) Sekam padi dengan larutan NaOH 5%, (c) sekam padi yang dipanaskan hingga mendidih, dan (d) sol silika hasil penyaringan 28

Gambar 4.3 Hasil larutan nanopartikel perak: (a) Padatan $AgNO_3$, (b) larutan $AgNO_3$ dipanaskan dan ditetesi $Na_3C_6H_5O_7$, dan (c) larutan nanopartikel perak 30

Gambar 4.4 Hasil preparasi gel komposit Ag/SiO_2: (a) 50 mL sol silika, (b) 50 mL larutan nanopartikel perak, (c) hasil sol $AgSiO_2$, (d) gel Ag/SiO_2 31

Gambar 4.5 Hasil preparasi komposit Ag/SiO_2: (a) gel Ag/SiO_2, (b) pencucian gel Ag/SiO_2, (c) hasil gel Ag/SiO_2 yang telah dicuci, (d)pengahalusan padatan Ag/SiO_2, (e) serbuk Ag/SiO_2, dan (f) serbuk Ag/SiO_2 setelah dikalsinasi pada suhu 850 °C 32

Gambar 4.6 Hasil FTIR Komposit Ag/SiO_2.....33

Gambar 4.7 Morfologi Komposit Ag/SiO_2 36

Gambar 4.8 Hasil EDX Komposit Ag/SiO_2 38

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 3. 1 Bahan-bahan penelitian sintesis komposit Ag/SiO_2 19

Tabel 3. 2 Alat yang digunakan dalam sintesis komposit Ag/SiO_2..... 20

Tabel 3. 3 Alat-alat karakterisasi komposit Ag/SiO_2 20

Tabel 4. 1 Hasil Analisis Gugus Fungsi Komposit Ag/SiO_2..... 36

Tabel 4. 2 Kandungan komposit Ag/SiO_2 39

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perak (Ag) dalam dekade terakhir ini menjadi pusat perhatian dan banyak diminati oleh para peneliti untuk ditelusuri lebih lanjut, hal ini karena perak memiliki sifat optik (Murphy, 2005), elektronik (Alshehri *et al*., 2012) dan antibakteri yang baik (Guzman *et al*., 2009). Karena kemajuan terbaru dalam bidang nanoteknologi membuat para peneliti tertarik untuk mengembangkan perak dalam skala nano. Dengan ukuran partikel yang kurang dari 100 nm, perak semakin menarik perhatian untuk diaplikasikan diberbagai bidang seperti elektronik (Alshehri *et al*., 2012), katalis (Dong et al., 2013), antibakteri (Prasetyaningtyas *et al*., 2020), pengobatan luka (Zhang *et al.*, 2016) hingga sel surya (Perdana & Muldarisnur, 2021). Nanopartikel perak menujukkan sifat yang berbeda dengan bahan aslinya, seperti aktivitas antibakteri dari nanopartikel perak, dimana semakin kecil inti perak semakin tinggi aktivitas antibakterinya (Cahyaningsih *et al.*, 2015; Guzman *et al.*, 2009).

Dalam sintesis nanopartikel perak terdapat beberapa metode salah satunya adalah metode reduksi kimia (Yanti *et al*., 2021), metode ini dipilih sebagai metode yang paling efektif untuk menghasilkan nanopartikel perak. Hal ini karena metode reduksi memiliki keunggulan dibandingkan dengan metode lainnya. Metode ini mudah dilakukan, biaya murah, peralatan yang digunakan sederhana, dan dapat digunakan untuk skala kecil. Pada umumnya sintesis nanopartikel perak dengan metode reduksi kimia membutuhkan logam prekusor, zat pereduksi, dan stabilisator. Agen penstabil yang sering digunakan dalam pembuatan nanopartikel perak seperti *polyvinly alkohol* (PVA) (Prasetiowati *et al*., 2018) dan *polyvinyl*

pyrolidone (PVP) (Damayanti & Taufikurohmah, 2019). Namun nanopartikel perak yang distabilkan oleh polimer tersebut akan menambah biaya.

Oleh sebab itu sintesis tanpa agen penstabil menarik perhatian, seperti penelitian sebelumnya yang telah menggunakan metode reduksi dengan menggunakan perak nitrat ($AgNO_3$) sebagai perkusor dan pereduksinya trisodium sitrat ($Na_3C_5H_6O_7$) yang sekaligus digunakan sebagai zat penstabil (Ariyanta, 2014; Sirajudin & Rahmanisa, 2016; Junaidi, 2017). Namun aglomerasi partikel menjadi suatu kendala yang dimiliki nanopartikel perak (Badiah *et al*., 2019; Kim *et al.*, 2008). Oleh karena itu dibutuhkan bahan tambahan untuk memaksimalkan penggunaan perak.

Salah satu bahan yang dapat di manfaatkan untuk memaksimalkan penggunaan perak adalah silika (SiO_2). Silika dianggap sebagai bahan yang memiliki daya tahan panas dan daya tahan kimia yang tinggi (Pham *et al.*, 2014). Silika terbukti memiliki sifat yang terbukti memiliki stabilitas tinggi, fleksibilitas kimia, dan biokompatibilitas baik (Sembiring & Karo-Karo, 2007). Selain itu silika dianggap sebagai bahan yang murah karena dapat ditemukan berlimpah di kulit dan daun tanaman, seperti dari ampas tebu (Affandi *et al*., 2009), tongkol jagung (Wardhani, 2017) dan sekam padi (Simanjuntak *et al.*, 2016). Dari sumber-sumber tersebut, sekam padi memiliki kandungan silika tertinggi sekitar 99% (Yuvakkumar *et al*., 2014).

Selain itu, material silika yang dikenal sebagai struktur berpori, dapat mengadsorbsi berbagai ion dan molekul organik dengan mudah di pori-pori dan permukaannya. Karena itu, diharapkan menjadi salah satu bahan pendukung yang cocok untuk memaksimalkan penggunaan perak (Jia *et al*., 2008). Ada banyak metode yang digunakan untuk dapat membuat komposit salah satunya adalah dengan menggunakan metode sol gel (Pham *et al.*, 2014). Metode sol gel dikenal sebagai metode yang cukup mudah dan sederhana karena sintesis dilakukan pada suhu rendah dan dapat menghasilkan material dengan kemurnian tinggi serta homogen.

Beberapa penelitian mengenai komposit perak silika (Ag/SiO_2) telah dilakukan seperti Kim *et al*. (2008) menghasilkan nanopartikel perak yang terbentuk secara homogen pada permukaan nanopartikel silika tanpa mengalami agresi dan menunjukan kemampuan yang sangat baik untuk bahan antibakteri. Kemudian dalam penelitian lain telah dilakukan sintesis nanokomposit perak silika berbasis *tetraethyl orthosilicate* (TEOS) dengan menggunakan metode sol gel dengan memvariasikan perlakukan termal sintering dari suhu 300 ^oC sampai suhu 1000 ^oC yang kemudian diaplikasikan sebagai bahan antibakteri (Pham *et al*., 2014). Dari hasil penelitian tersebut menunjukan bahwa nanopartikel perak terdistribusi relatif homogen diseluruh jaringan silika amorf dengan ukuran berkisar 20-40 nm setelah dilakukan perlakuan sintering pada suhu 800 ^oC. Nanokomposit perak silika juga telah berhasil dilakukan pada penelitian (Dudek *et al.*, 2017). Komposit perak silika diberi perlakukan termal hingga suhu 1.200 ^oC dan hasil mengungkapkan struktur komposit perak silika stabil hingga suhu 1.000 ^oC. Spektroskopi IR mengkonfirmasi kehadiran dominan fasa amorf dalam komposit dan perak tertanam dalam matriks silika. Selain itu, sebagian besar kandungan perak ditemukan menurun di atas 1.060 ^oC, sedangkan di atas 1.110 ^oC perak dalam sampel tidak lagi terdeteksi dalam sampel. Dari penelitian tersebut menyimpulkan bahwa untuk mempertahankan partikel perak dalam komposit, maka perlakukan panas tidak boleh melebihi suhu 1.000 ^oC. Pada penelitian Wysocka *et al*. (2018) melaporkan bahwa sintesis komposit perak silika dengan cara perak dimobilisasi ke dalam silika dapat menurunkan konsentrasi antibakteri. Selanjutnya pada penelitian Sembiring *et al*. (2022) telah berhasil menyitesis komposit perak silika dari sekam padi dan menunjukan bahwa dengan meningkatnya kosentrasi perak, maka akan berpengaruh pada distribusi ukuran partikel komposit perak silika.

Bedasarkan uraian di atas maka pada penelitian ini akan dilakukan sintesis komposit perak silika berbasis sekam padi dengan menggunakan metode sol gel. Tahapan pertama adalah pembuatan nanopartikel perak dengan menggunakan metode reduksi kimia, dengan $AgNO_3$ sebagai logam prekusor dan $Na_3C_5H_6O_7$ yang digunakan sebagai zat pereduksi sekaligus zat penstabil yang kemudian

digabungkan dengan silika dari sekam padi yang berfungsi sebagai matriks dengan menggunakan metode sol gel. Sampel selanjutnya diberikan perlakuan kalsinasi pada suhu 850 ^{o}C. Dari penelitian ini penulis mencoba untuk meninjau dan menganalisis gugus fungsi dan mikro struktur serta komposisi kimia komposit perak silika dengan melakukan karakterisasi spektometer *Fourier Transformation Infared* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscope & Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDX).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana proses sintesis komposit Ag/SiO_2 menggunakan metode sol gel?.
2. Bagaimana gugus fungsi komposit Ag/SiO_2 yang terbentuk pada suhu 850 ^{o}C?.
3. Bagaimana mikro struktur komposit Ag/SiO_2 yang terbentuk pada suhu 850 ^{o}C?.
4. Bagaimana komposisi kimia yang terdapat pada komposit Ag/SiO_2 yang terbentuk pada suhu 850 ^{o}C?.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui proses sintesis komposit Ag/SiO_2 dengan menggunakan metode sol gel.
2. Mengetahui gugus fungsi komposit Ag/SiO_2 yang terbentuk pada suhu 850 ^{o}C.
3. Mengetahui mikro struktur komposit Ag/SiO_2 yang terbentuk pada suhu 850 ^{o}C.
4. Mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada komposit Ag/SiO_2 yang terbentuk pada suhu 850 ^{o}C.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Silika yang digunakan adalah silika dari sekam padi yang diekstraksi menggunakan metode alkalis dan proses sol gel dengan larutan natrium hidroksida (NaOH) 5%.
2. Larutan asam nitrat (HNO_3) 10 % digunakan untuk menetralkan pH.
3. Perak yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan $AgNO_3$ dengan kosentrasi 8 mM dan zat pereduksi yang digunakan adalah trisodium sitrat dengan kosentrasi 64 mM.
4. Temperatur yang digunakan untuk proses pengovenan adalah 150 ^oC dan untuk suhu *hot plate* yang digunkan dalam pembuatan nanopartikel perak adalah 90 ^oC.
5. *Wiremesh* yang digunakan dalam penelitian ini berukuran 200 mesh.
6. Temperatur termal kalsinasi yang digunakan adalah suhu 850 ^oC.
7. Perbandingan antara sol silika dengan larutan nanopartikel perak 1:1.
8. Analisis gugus fungsi dan mikro struktur serta komposisi komposit perak silika melalui FTIR dan SEM-EDX.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Menambah pengetahuan bagi penulis dalam studi perlakuan termal komposit Ag/SiO_2 pada suhu 850 ^oC terhadap gugus fungsi, struktur, dan komposisi senyawa yang terbentuk.
2. Sebagai bahan referensi bagi pihak-pihak lain yang ingin melakukan penelitian terkait komposit Ag/SiO_2 berbasis sekam padi.
3. Meningkatkan pemanfaatan sekam padi secara optimal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nanopartikel Perak

Perak merupakan kelompok logam mulia yang memilki simbol Ag yang berasal dari bahasa latin *argentum* dan termasuk kedalam logam transisi. Perak termasuk elemen ke-47 dalam tabel periodik, dengan massa atom 107,8682 g/mol. Perak memiliki titik lebur mencapai 961,78 ^{o}C dan titik didihnya 2.162 ^{o}C Perak dikenal memiliki efektivitas antibakteri yang tinggi (Guzman *et al.*, 2009). Semakin kesini banyak peneliti yang mempelajari perak dan membuktikan bahwa aktivitas antibakteri pada perak dipengaruhi oleh ukuran partikelnya, dimana semakin kecil ukuran perak maka semakin tinggi aktivitas antibakterinya (Guzman *et al*., 2009). Jenis perak yang sering digunakan adalah perak nitrat ($AgNO_3$). Perak nitrat merupakan senyawa anorganik tidak berwarna, tidak berbau, memiliki bentuk kristal transparan dengan rumus kimia $AgNO_3$. Perak nitrat dapat dibuat dengan mencampurkan perak (Ag) dengan asam nitrat (HNO_3), namun perak merupakan logam yang reaktif yang sukar larut dalam asam yang memiliki konsentrasi rendah. Oleh karena itu, oksidator diperlukan untuk mengoksidasi perak menjadi ion-ion perak. Pada suhu ruang, asam nitrat tidak dapat melarutkan perak karena energi yang dibutuhkan untuk melarutkan perak sangat besar sehingga perlu dilakukan pemanasan hingga suhu 90 °C (Boenigk *et al*., 2014).

Ukuran perak dalam skala nano menjadi pertimbangan penting karena dapat meningkatkan reaktivitas pada permukaan perak (Guzman *et al.*, 2009; Raffi *et al.*, 2008). Nanopartikel merupakan suatu partikel yang berukuran nano yang

berkisar antara 1-100 nm. Tingginya luas permukaan nanopartikel perak merupakan faktor yang menjadikan nanopartikel perak dimanfaatkan sebagai antibakteri. Jika ukuran partikel perak semakin kecil, maka luas permukaan partikel perak semakin besar, sehingga meningkatkan kontak mereka dengan bakteri atau jamur, dan mampu meningkatkan efektivitas bakterisida dan fungisida. Pada saat nanopartikel perak berkontak dengan bakteri dan jamur maka nanopartikel perak akan berfungsi dalam mempengaruhi metabolisme sel dan menghambat pertumbuhan sel. Nanopartikel perak melakukan penetrasi dalam membran sel kemudian mencegah sintesis protein selanjutnya terjadi penurunan permeabilitas membran, dan pada akhirnya menyebabkan kematian sel (Raffi *et al.*, 2008).

Karena sifat dan keunikan yang dimiliki oleh nanopartikel perak membuat nanopartikel perak banyak diminati dan dimanfaatakan dalam berbagai bidang. Selain sebagai bahan antibakteri nanopartikel perak sendiri memiliki banyak keunggulan diantaranya memiliki sifat yang stabil dan aplikasi yang potensial dalam berbagai bidang antara lain sebagai katalis (Dong *et al.*, 2013), sensor kolorimetri (Badiah *et al.*, 2019), dan sebagai kemasan makanan(Carbone *et al.*, 2016). Karakteristik ukuran dan bentuk partikel perak sangat penting untuk menentukan sifat optik, listrik, magnet, katalis, dan antimikroba yang dapat digunakan untuk pengembangan dan pengaplikasiannya.

2.2 Sintesis Nanopartikel Perak dengan Metode Reduksi

Berbagai metode penelitian mengenai sintesis nanopartikel perak telah banyak dikembangkan. Namun sintesis nanopartikel perak dengan metode reduksi kimia merupakan metode paling sering digunakan, hal ini karena prosesnya yang sederhana dan mudah. Metode reduksi ini telah banyak dilakukan beberapa kali oleh para peneliti, salah satunya adalah penelitian (Mailu *et al.*, 2010). Pada penelitian Mailu *et al.* (2010) menggunakan prekusor perak nitrat dan natrium sitrat ($Na_3C_5H_6O_7$) yang digunakan sebagai agen pereduksi sekaligus sebagai agen stabilisator. Ukuran dan bentuk nanopartikel perak sangat penting dalam

penentuan sifat optik, listrik, magnet, katalis dan antimikrobanya. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi ukuran partikel dalam sintesis yaitu temperatur larutan, konsentrasi perak dan agen pereduksi dan waktu reaksi (Badiah *et al*., 2019).

Dalam penelitian Mailu *et al.* (2010) telah melakukan sintesis nanopartikel perak dengan metode reduksi kimia karena prosesnya yang mudah dan sederhana. Prekusor perak yang digunakan yaitu perak nitrat dengan kosentrasi 1 mM dan zat pereduksinya adalah trisodium sitrat. Reaksi pembuatan nanopartikel perak dari perak nitrat dengan agen pereduksi trisodium sitrat seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (2.1).

$$4Ag^{+} + Na_3C_6H_5O_7 + 2H_2O \rightarrow 4Ag^{0} + C_6H_5O_7H_3 + 3Na^{+} + H^{+} + O_2 \qquad (2.1)$$

Keuntungan metode reduksi dibandingkan dengan metode lainnya adalah mudah dilakukan, biaya yang ekonimis, peralatan yang digunakan juga cukup sederhana dan cocok digunakan dalam skala kecil. Metode reduksi seperti yang telah dilakukan oleh Mailu *et al.* (2010) dengan trisodium sitrat sebagai reduktornya menghasilkan nanopartikel perak berukuran 30-40 nm. Sintesis nanopartikel perak dengan metode reduksi juga telah dilakukan oleh Harmami, (2008) dengan menggunakan variasi temperatur yaitu 90 ^{o}C, 100 ^{o}C, dan 110 ^{o}C. Ukuran partikel yang dihasilkan secara berturut-turut adalah 28,3 nm; 19,9 nm; dan 26,4 nm.

2.3 Silika

Silika merupakan senyawa yang terdiri dari silikon dan oksigen dengan rumus molekul SiO_2. Silika merupakan senyawa kimia SiO_2 yang telah banyak dimanfaatkan karena silika terbukti memiliki sifat yang terbukti memiliki stabilitas tinggi, fleksibilitas kimia, dan biokompatibilitas yang baik. Silika juga menarik perhatian untuk dikembangkan dalam ukuran nano. Dalam penelitian Ghorbani *et al.* (2013) silika yang berukuran nano memiliki luas permukaan yang tinggi dan memiliki ukuran pori-pori yang cukup besar. Silika telah banyak dimanfaatkan di berbagai bidang diantaranya, sebagai bahan baku keramik

(Sembiring & Karo-Karo, 2007), katalis (Liu *et al*., 2016), dan material pendukung katalis (Ewing *et al*., 2016). Silika dapat bersumber dari alam dalam bentuk mineral maupun nabati, silika juga dapat diperoleh melalui proses sintetis yang berasal dari bahan prekursor logam alkoksida silika.

2.3.1 Bahan Mineral

Silika mineral adalah senyawa yang banyak ditemui dalam bahan tambang atau galian yang berupa mineral seperti pasir kuarsa, granit, dan batu apung yang mengandung kristal-kristal silika. Dalam penelitian Sutal *et al.* (2019) diperoleh kandungan senyawa silika dari pasir kuarsa sebesar 56,12%. Berdasarkan penelitian Trianasari *et al*. (2017) diperoleh kandungan silika dari batu apung dari hasil preparasi sebesar 65,88% dan meningkat menjadi 78,95% setelah melalui proses ektraksi. Kemudian dalam penelitian Anggraini *et al*., (2019) menyatakan bahwa kandungan silika dalam batu granit mencapai 70%. Namun penggunaan silika mineral dapat menimbulkan masalah lingkungan akibat eksploitasi secara terus menerus dan tidak dapat diperbaharui, selain itu perolehan silika murni dari mineral alam menggunakan metode peleburan dengan suhu yang sangat tinggi dan proses pemisahan kandungan senyawa mineral lain (pengotor) sulit untuk dipisahkan (Sembiring, 2017). Upaya perolehan silika dapat melalui sumber lain seperti silika sintetis dan nabati.

2.3.2 Bahan Sintesis

Silika sintesis merupakan silika gel yang dibuat dari silikon alkoksida biasanya menggunakan *tetramethylortosilicate* (TMOS) atau *tetraethylortosilicate* (TEOS) sebagai sumber silika (Vijayalakshmi *et al*., 2005) dan (Alam *et al*., 2021). Diantara jenis silika sintesis diatas TEOS lebih disukai untuk persiapan aerogel silika (Rao & Bhagat, 2004) karena TMOS memiliki harga lima kali lebih mahal daripada TEOS dan juga asap TMOS yang berbahaya dan dapat menyebabkan kebutaan.

Keuntungan penggunaan TEOS sebagai sumber atau perkursor silika karena TEOS menghasilkan partikel silika yang sangat halus (Alhussein *et al*., 2016). Namun demikian, proses sintesis baik dari TEOS serta TMOS sendiri tidaklah mudah dan membutuhkan biaya yang cukup tinggi untuk memperolehnya serta tidak ramah lingkungan. Mengingat hal ini, diperlukan alternatif lain untuk mendapatkan silika yaitu dengan silika nabati.

2.3.3 Bahan Nabati

Silika nabati dapat diperoleh dari tumbuh-tumbuhan seperti tongkol jagung (Ervina, 2013), ampas tebu (Affandi *et al*., 2009) dan sekam padi (Damiyanti *et al*., 2013). Tongkol jagung merupakan bagian terbesar dari limbah jagung, memiliki kandungan silika 20,6%, air 10%, selulosa 36,48%, hemiselulosa 28,86% dan lignin 3,16%, (Ervina, 2013). Selanjutnya pada penelitian yang dilakukan oleh Velmurugan *et al*. (2015) diperoleh hasil kandungan silika pada tongkol jagung sebesar 50,36%. Sedangkan abu tongkol jagung mengandung silika lebih dari 70% dengan sejumlah kecil unsur-unsur logam (Adesanya & Raheem, 2009).

Ampas tebu merupakan limbah yang dihasilkan dari proses penggilingan dalam industri tebu. Menurut penelitian Affandi *et al*. (2009) ampas tebu mengandung silika dengan persentase yaitu sekitar 50%. Pada penelitian tersebut, silika di ekstraksi dengan menggunakan metode alkali dan proses pengasaman dengan larutan HCl. Kemudian menurut Hanafi & Nandang (2010) hasil uji analisis menunjukan kadar silika sebanyak 64,65%. Selanjutnya pada penelitian Rafiee & Shahebrahimi (2012) telah berhasil mendapatkan silika dari sekam padi dalam struktur amorf dengan tingkat kemurnian 98,8% dalam ukuran nano yang memiliki luas permukaan cukup tinggi serta memiliki aktivitas yang tinggi.

2.4 Sekam Padi

Indonesia merupakan negara agraris yang memiliki Produksi padi cukup tinggi, pada pada 2020 sebesar 54,65 juta ton gabah kering giling (GKG), mengalami kenaikan sebanyak 45,17 ribu ton atau 0,08% dibandingkan 2019 yang sebesar 54,60 juta ton GKG (Badan Pusat Statistika, 2021), produksi ini berdampak pada tingginya limbah sekam padi yang dihasilkan dari proses penggilingan padi. Produksi sekam padi dapat diperkirakan sebanyak 20% dari hasil produksi GKG, sehingga dapat diperkirakan terdapat 10,93 juta ton limbah sekam padi pada tahun 2020 (Badan Pusat Statistika, 2021). Biasanya, sekam padi dianggap sebagai limbah, dan dibuang terutama dengan cara dibakar. Selanjutnya, praktik ini mengarah pada produksi yang sangat sejumlah besar gas karbon dioksida (CO_2) yang dilepaskan ke atmosfer.

Hal ini membuat para peneliti mulai memanfaatkan kelimpahan sekam padi. Saat ini sekam padi terus berkembang sebagai sumber potensial silika (Bhagiyalakshmi *et al*., 2010; Rafiee & Shahebrahimi, 2012; Simanjuntak *et al*., 2016). Selain silika yang terkandung dalam sekam padi terdapat senyawa lain, seperti kalsium oksida (CaO), alumunium oksida (Al_2O_3), magnesium oksida (MgO), besi(III) oksida (Fe_2O_3), sulfur trioksida (SO_3) dan natrium oksida (Na_2O) (Rafiee & Shahebrahimi, 2012). Silika yang dihasilkan dari sekam padi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan silika mineral, dimana silika sekam padi memiliki butiran halus, lebih reaktif, dapat diperoleh dengan cara mudah dengan biaya yang relatif murah, serta didukung oleh ketersediaan bahan baku yang melimpah dan dapat diperbaharui (Agung *et al.*, 2013). Dengan kelebihan tersebut, menunjukkan silika sekam padi berpotensi cukup besar untuk digunakan sebagai sumber silika dan merupakan bahan material yang memiliki aplikasi yang cukup luas penggunannya. Pada penelitian Rafiee & Shahebrahimi (2012) silika dari sekam padi telah berhasil diperoleh dalam struktur amorf, sehingga memiliki sifat yang reaktif dengan unsur lain. Selain itu silika dari sekam padi memiliki luas permukaan yang cukup tinggi dan merupukan senyawa yang cocok untuk adsorben atau pendukung katalis (Rafiee & Shahebrahimi, 2012). Silika sekam

padi bersifat amorf, memiliki kekuatan mekanik yang tinggi dan memiliki daya tahan yang tinggi terhadap bahan kimia (Daifullah *et al.*, 2003).

Silika dari sekam padi dapat diperoleh dengan cara pengabuan dan dengan cara alkalis. Metode pengabuan didasarkan pada pembentukan kristalinitas silika melalui proses termal, sementara metode alkalis didasarkan pada sifat kelarutan silika yang tinggi dalam basa sehingga silika dapat diperoleh dalam bentuk sol dan mudah dimanfaatkan menggunakan proses sol gel (Sembiring & Simanjutak, 2015). Metode alkalis lebih banyak digunakan dalam ekstraksi silika sekam padi karena prosesnya yang sederhana dan biaya yang murah. Tahapan proses sol-gel pada pembuatan silika berbasis sekam padi telah dilakukan oleh Simanjuntak *et al*. (2016), yaitu dengan menyiapkan sekam padi yang sudah bersih dan kering ditambahkan larutan NaOH 5%, kemudian dipanaskan selama ±30 menit lalu didapatkan filtrat larutan yang disebut sol silika. Sol silika kemudian ditambahkan larutan HNO_3 10% hingga pH 7 dan sol silika menjadi gel. Gel silika sekam padi didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam untuk proses gelasi. Gel silika sekam sekam padi selanjutnya dicuci menggunakan akuades hangat. Gel silika sekam padi dikeringkan pada suhu 110 ^{o}C selama ±2 jam untuk menghilangkan kadar air beserta senyawa organik hingga diperoleh padatan silika sekam padi. Padatan silika sekam padi digerus dan disaring menggunakan *mesh* ukuran 200 (Simanjuntak *et al*., 2016). Berdasarkan penelitian yang lain juga telah dilakukan oleh Rizqi (2016) abu sekam padi yang telah dimurnikan menggunakan katalis kemudian didapatkan hasil kadar kandungan silika dalam abu sekam padi sebesar 89%. Dalam penelitian Yuvakkumar *et al.* (2014) juga telah berhasil mensintesis serbuk nano silika yang sangat murni, berukuran partikel kecil dan luas permukaan tinggi dibuat dari sekam padi menggunakan ekstraksi alkali, diikuti dengan metode pengendapan asam. Serbuk nano silika dengan kemurnian tinggi diperoleh dengan perlakuan pemurnian NaOH. Kemurnian silika yang diperoleh sebesar 99,9% dan serbuk nano silika murni yang diperoleh menunjukkan ukuran partikel rata- rata 25 nm.

2.5 Perak Silika (Ag/SiO_2)

Perak silika mulai banyak dipelajari dan dikembangkan karena memiliki potensi yang dapat diaplikasikan diberbagai bidang diantaranya, sensor (Jean *et al.*, 2010), katalis (Adam *et al.*, 2008), adsorben (Das *et al.*, 2013), antibakteri/antimikroba (Qin *et al*., 2017). Menurut Kim *et al*. (2007) dengan menambahkan silika sebagai matriks dapat meningkatkan kemampuan antibakteri dan menghindari agresi nanopartikel perak. Dalam penelitian yang telah dilakukan oleh (Kim *et al.*, 2007) tersebut menunjukan hasil bahwa nanopartikel perak terbentuk secara homogen pada permukaan nanopartikel silika tanpa mengalami agresi dan menunjukan kemampuan sebagai bahan anti bakteri dengan sangat baik. Selanjutnya pada penelitian (Adam *et al.*, 2008), silika telah berhasil diekstraksi dari sekam padi, yang kemudian ion perak dimasukkan ke dalam matriks silika. Padatan yang dihasilkan memiliki pori-pori yang sempit pada daerah 3-4 nm. Padatan terkalsinasi dengan suhu 500 ^{o}C ditemukan menjadi katalis yang baik. Selanjutnya (Duhan *et al*., 2010) juga telah berhasil mensintesis komposit perak silika dengan menggunakan metode sol gel yang kemudian beri perlakukan termal 150 ^{o}C, 300 ^{o}C dan 500 ^{o}C. Hasil menunjukkan dengan kenaikan suhu densifikasi jaringan silikat diikuti dengan pengahapusan sisa organiktertama karbon dan air. Pada penelitian (Baheiraei *et al*., 2012) juga telah mensintesis film tipis silika yang ditambahkan perak dengan menggunakan metode sol gel. Film tipis ini diterapkan pada ubin keramik dan menunjukan aktivitas antibakteri yang cukup baik. Kemudian dalam penelitian lain juga telah berhasil dilakukan sintesis nanokomposit perak silika berbasis TEOS dengan menggunakan metode sol gel dengan memvariasikan perlakukan termal sintering dari suhu 300 ^{o}C sampai suhu 1.000 ^{o}C yang kemudian diaplikasikan sebagai bahan antibakteri (Pham *et al.*, 2014). Dari hasil penelitian tersebut menunjukan bahwa nanopartikel perak terdistribusi relatif homogen diseluruh jaringan silika amorf dengan ukuran berkisar 20-40 nm setelah dilakukan perlakuan sintering pada suhu 800 ^{o}C.

Komposit perak silika juga telah berhasil dilakukan pada penelitian (Dudek *et al.*, 2017). Komposit perak silika diberi perlakukan termal hingga suhu 1.200 ^{o}C dan

hasil mengungkapkan struktur komposit perak silika stabil hingga suhu 1.000 ^{o}C. Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sebagian besar kandungan perak ditemukan menurun di atas 1.060 ^{o}C, sedangkan di atas 1.110 ^{o}C perak dalam sampel tidak lagi terdeteksi dalam sampel. Dari penelitian tersebut menyimpulkan bahwa untuk mempertahankan partikel perak dalam komposit, maka perlakukan panas tidak boleh melebihi suhu 1.000 ^{o}C. Pada penelitian Wysocka *et al*. (2018) melaporkan bahwa Ag/SiO_2 komposit dengan cara Ag dimobilisasi ke dalam silika dapat menurunkan konsentrasi antibakteri. Selanjutnya pada penelitian Sembiring *et al*. (2022) telah berhasil menyitensis komposit perak silika sekam padi dan menunjukkan bahwa dengan meningkatnya kosenstrasi Ag, maka akan berpengaruh pada distribusi ukuran partikel komposit perak silika.

2.6 Metode Sol Gel

Kimia sol gel adalah persiapan polimer anorganik atau keramik dari larutan melalui transformasi dari prekursor cair menjadi sol dan akhirnya menjadi struktur jaringan yang disebut gel. Sol didefinisikan sebagai terdispersinya partikel-partikel zat padat membentuk suspensi koloid dalam medium cair, sedangkan gel merupakan partikel-partikel dalam fasa sol yang bergerak bebas dan saling betumbukkan antar partikel sehingga menghasilkan partikel berukuran besar dan membentuk jaringan 3 dimensi (Brinker & Scherer, 1990). Proses metode sol gel meliputi beberapa rangkaian diantaranya preparasi sol (*solution*), pembentukan gel (*gelation*), pematangan gel (*aging*), proses pengeringan (*drying*), dan pemadatan (*densification*).

Proses sol gel melibatkan evolusi jaringan anorganik melalui pembentukan jaringan koloid melalui pembentukan suspensi koloid (sol) dan gelasi sol untuk membentuk jaringan dalam fase cair kontinyu (gel). Prekursor untuk mensintesis koloid ini biasanya terdiri dari unsur logam atau metaloid yang dikelilingi oleh berbagai ligan reaktif. Metode sol gel banyak diaplikasikan dalam bidang pembuatan komposit, keramik, polimer, dan lapisan tipis. Metode sol gel ini mampu menghasilkan bahan yang halus, seragam (*uniform*), homogen serta

kemurniannya tinggi. Selian itu metode sol-gel memiliki kelebihan yaitu suhu yang digunakan relatif rendah (Elma, 2016).

2.7 Karakterisasi

2.7.1 *Scanning Electron Microscope & Energy Dispersive X-Ray* (SEM- EDX)

SEM-EDX adalah mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron terfokus yang bereaksi dengan sampel untuk menghasilkan gambar topologi dan komposisi pada sampel. Setelah kontak dengan sampel, berkas elektron terfokus akan menghasilkan *secondary electron* (SE), *backscatered electron* (BSE), dan sinar-X karakteristik, yang kemudian dideteksi dengan masing-masing detektor dan akhirnya ditampilkan di monitor. Komponen utama dalam SEM adalah sumber elektron, kolom yang berisi lensa elektromagnetik, detektor elektron, ruang sampel, dan layar komputer (Mutalib *et al*., 2017). Alat SEM yang digunakan dalam penelitian ini merupakan tipe SEM-EDX JEOL JSM-6510LA yang dapat dilihat pada **Gambar 2.2.**

Gambar 2. 1 Alat SEM (Anonim, 2022)

Komponen utama alat SEM ini pertama adalah tiga pasang lensa-lensa elektromagnetik yang berfungsi memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah titik kecil, lalu oleh dua pasang *scan coil* memindai dengan frekuensi variabel

pada permukaan sampel. Komponen selanjutnya adalah sumber elektron, biasanya berupa filamen dari bahan kawat tungsten atau Lantanum Hexaboride, yang berfungsi sebagai penghasil elektron. Komponen selanjutnya adalah *imaging detector*, yang berfungsi mengubah sinyal elektron menjadi gambar/*image*. Sesuai dengan jenis elektronnya, terdapat dua jenis detektor dalam SEM ini, yaitu detektor SE dan detektor BSE. Untuk menghindari gangguan dari molekul udara terhadap berkas elektron, seluruh jalur elektron divakum (Park *et al*., 2008)

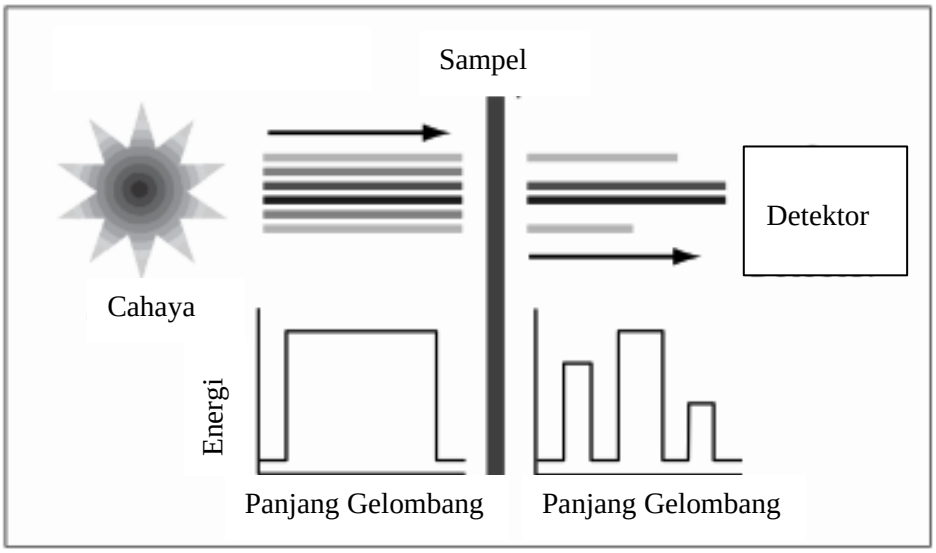
Ketika berkas elektron discan pada permukaan sampel, terjadi interaksi elektron dengan atom-atom dipermukaan maupun di bawah permukaan sampel. Berkas elektron yang datang kepermukaan sampel akan berinteraksi dan menghasilkan berbagai macam sinyal yang terjadi secara serentak. Sinyal-sinyal tersebut diantaranya sinyal elektron dan sinar-X. Interaksi elektron dengan sampel tersebut menghasilkan hamburan balik yang dibedakan atas dua kategori, yaitu hamburan elastis dan hamburan tidak elastis. Hamburan elastis berupa hamburan elektron balik atau *Backscattered Electrons* (BSE) dan hamburan tidak elastis berupa hamburan *Secondary Electrons* (SE). Gambar SEM dengan menggunakan detektor BSE akan menunjukkan tiap elemen dalam sampel muncul sebagai suatu bayangan yang berbeda dari putih ke hitam. Disisi lain, gambar SEM dengan menggunakan detektor SE menunjukkan gambar sampel berupa topografi atau struktur permukaan. Sinyal lain yang dihasilkan oleh interaksi berkas elektron dengan sampel adalah sinar-X. Analisis sifat sinar-X menghasilkan informasi kimia, sehingga dapat digunakan untuk mengukur kandungan elemen yang ada di dalam bahan yang diteliti (Goldstein *et al.*, 2017).

2.7.2 *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

FTIR adalah singkatan dari *Fourier Transform InfraRed* yang bertujuan untuk mendeteksi dan menganalisis frekuensi serta mengidentifikasi gugus fungsi pada molekul-molekul organik (Nicolet, 2001). Analisis dilakukan dengan melihat bentuk spektrumnya yaitu dengan melihat puncak-puncak spesifik yang menunjukkan jenis gugus fungsional yang dimiliki oleh senyawa tersebut. Teknik

spektroskopi FTIR menggunakan pengaruh dari interaksi radiasi elektromagnetik inframerah yang berada dalam panjang gelombang 2,5-50 μm atau pada bilangan gelombang 4.000-200 cm^{-1} dalam menentukan struktur atom atau molekul dan substansi level energinya (Coates, 2006).

Spektrum inframerah berasal dari transmisi cahaya yang melewati sampel, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrum inframerah yang diperoleh kemudian diplot sebagai intensitas fungsi energi, panjang gelombang (μm) atau bilangan gelombang dalam (cm^{-1}) (Coates, 2006). Prinsip kerja FTIR berupa inframerah yang melewati celah ke sampel, dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah radiasi yang disampaikan kepada sampel. Kemudian sebagian inframerah diserap oleh sampel, dan sisanya ditransmisikan melalui permukaan sampel, sehingga sinar inframerah lolos menuju detektor dan sinyal yang terukur dikirim ke komputer seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.2** (Nicolet, 2001).



Gambar 2. 2 Skematik prinsip kerja FTIR (Nicolet, 2001).

Penyerapan inframerah tersebut memicu pergerakan vibrasi akibat kuanta energi. Besarnya energi vibrasi dipengaruhi oleh kuatnya ikatan antar atom, semakin lemah ikatan antar atom maka semakin kecil energi yang dibutuhkan untuk

bervribrasi (Ojeda & Maria, 2012). Vibrasi pada ikatan gugus fungsi diandaikan seperti dua titik massa yang dihubungkan oleh pegas. Besarnya frekuensi vibrasi dapat dinyatakan dalam Persamaan (2.2).

$$\upsilon_m = \frac{1}{2\pi c}\sqrt{\frac{k(m_1 + m_2)}{m_1 m_2}} \tag{2.2}$$

dengan υ_m merupakan frekuensi vibrasi (cm^{-1}), c merupakan kecepatan cahaya (3×10^{10} cm/s), m_1 merupakan massa atom 1 (kg), m_2 merupakan massa atom 2 (kg), dan k merupakan konstanta gaya ikat antar atom (kg/s^2) (Ojeda & Maria, 2012).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus sampai Oktober 2022 di Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi sampel komposit Ag/SiO_2 dengan SEM dilakukan di Laboratorium Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM-BATAN) dan karakterisasi sampel komposit Ag/SiO_2 dengan FTIR dilakukan di *Greenlabs (Glabs) Office* Bandung.

3.2 Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam sintensis komposit Ag/SiO_2 dapat dilihat pada **Tabel 3.1** dan alat digunakan dalam sintensis komposit Ag/SiO_2 dapat dilihat pada **Tabel 3.2.** Selanjutnya untuk alat yang digunakan untuk karakterisasi dapat dilihat pada **Tabel 3.3.**

Tabel 3. 1 Bahan-bahan penelitian sintesis komposit Ag/SiO_2

No	Nama Bahan	Fungsi
1	Sekam Padi	Sumber Silika (SiO_2)
2	Perak Nitrat ($AgNO_3$) Merck 99%	Prekusor sintesis partikel perak
3	Natrium Hidroksida (NaOH) *chemical product* 90%	Melarutan silika pada sekam padi
4	Asam Nitrat (HNO_3) *chemical product* 68%	Mengubah pH campuran larutan sol silika dan perak nitrat
5	Trisodium Sitrat ($Na_3C_6H_5O_7$) *chemical product* 98%	Zat reduksi dan zat penstabil nanopartikel perak
6	Air destilasi/akuades (H_2O)	Melarutkan prekusor

Tabel 3. 2 Alat yang digunakan dalam sintesis komposit Ag/SiO_2

No	Nama Alat	Fungsi
1	Neraca Digital	Menimbang massa beban
2	Gelas Ukur	Mengukur jumlah volume larutan
3	Gelas Beker	Menampung larutan
4	Labu Erlenmeyer	Membuat larutan nanopartikel perak
5	Pipet Tetes	Menetesi larutan dengan volume kecil
6	Kompor Listrik	Memanaskan larutan NaOH dan sekam padi
7	Saringan	Manyaring sol silica
8	Kertas Saring	Menyaring gel Ag/SiO_2
9	Spatula Kaca	Mengaduk larutan sekam padi
10	Spatula Besi	Mengambil bahan
11	Mortar dan Alu	Menghaluskan gel yang sudah kering
12	Corong	Membantu masuknya larutan kedalam Erlenmeyer
13	*Hotplate dan Magnegtic Stirer*	Memanaskan dan mangaduk larutan agar homogeny
14	Oven	Mengeringkan gel
15	Plastik Klip	Tempat sampel
16	pengayak (*wiremesh*) ukuran 200 mesh	Menyaring serbuk komposit Ag/SiO_2
17	Kertas Ph	Mengukur pH larutan
18	Plastik Wrap	Menutupi larutan agar tidak terkontaminasi kotoran
19	Alumunium Foil	Alas untuk mengeringkan gel
17	Sarung Tangan	Menghindari larutan agar tidak terkena tangan secara langsung
18	*Tissue*	Membersihkan sisa-sisa larutan yang menempel

Tabel 3. 3 Alat-alat karakterisasi komposit Ag/SiO_2

No	Nama Bahan	Fungsi
1	Bruker ALPHA II FTIR Spectrometer	Analisis fungsionalitas gugus fungsi
2	SEM-EDX JEOL JSM-6510LA	Analisis struktur mikro dan komposisi

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan empat tahapan yaitu tahap preparasi sekam padi, pembuatan sol silika, pembuatan larutan nanopartikel perak, dan pembuatan nanokomposit perak silika.

3.3.1 Preparasi Sekam Padi

Prosedur yang dilakukan dalam preparasi sekam padi dapat dilihat pada **Gambar 3.1.**

Gambar 3. 1 Preparasi Sekam Padi.

Prosedur preparasi sekam padi mengacu pada buku hasil penelitian yang telah dilakukan (Sembiring, 2017). Sekam padi terlebih dahulu dibersihkan, selanjutnya dicuci hingga bersih menggunakan air dan direndam selama 1 jam agar pengotor terpisah dari sekam padi, lalu sekam padi yang mengapung di permukaan dibuang dan sekam padi yang tenggelam diambil. Sekam padi yang tenggelam direndam menggunakan air panas selama 6 jam, hal ini dimaksudkan untuk menghilangkan kotoran-kotoran (zat organik) yang larut dalam air seperti tanah, pasir, debu, batang padi, dan pengotor lainnya. Setelah itu, sekam padi ditiriskan dan dikeringkan menggunakan panas sinar matahari supaya kering secara merata.

3.3.2 Pembuatan Sol Silika Sekam Padi

Metode yang digunakan untuk mendapatkan sol silika sekam padi adalah metode alkalis, metode ini mengacu dari penelitian Simanjutak (2016). Adapun prosedur yang dilakukan seperti yang ditunjukan pada **Gambar 3.2**.

Gambar 3. 2 Pembuatan Sol Silika Sekam Padi.

Sekam padi hasil preparasi selanjutnya diekstraksi untuk memperoleh sol silika dengan metode alkalis. Sekam padi hasil preparasi ditimbang sebanyak 50 gram dan dimasukkan ke dalam *beaker glass.* Kemudian larutan NaOH 5% sebanyak 500 ml dicampurkan sedikit demi sedikit ke dalam *beaker glass* yang berisi sekam padi hingga terendam seluruhnya. Selanjutnya dipanaskan menggunakan kompor listrik selama ±30 menit sampai mendidih dan diaduk perlahan-lahan agar buihnya tidak meluap. Langkah selanjutnya yaitu diamkan campuran silika sekam padi tersebut sampai uap panasnya hilang. Kemudian dilakukan proses *aging* (penuaan) dengan menutupi permukaan *beaker glass* dengan *plastic wrap* dan didiamkan selama 24 jam. Setelah itu, ampas sekam dipisahkan dari ekstrak sekam padi dengan disaring menggunakan saringan untuk memperoleh sol silika dan menyaring filtrat tersebut menggunakan kertas saring agar terpisah dengan zat pengotor (organik).

3.3.3 Pembuatan Nanopartikel Perak

Metode yang digunakan untuk mendapatkan nanopartikel perak adalah metode alkalis, metode ini mengacu pada penelitian (Junaidi, 2017). Adapun prosedur yang dilakukan dapat dilihat pada **Gambar 3.3.**

Gambar 3. 3 Pembuatan Nanopartikel Perak.

Nanopartikel perak dibuat dengan menggunakan $AgNO_3$ sebagai prekusor dan $Na_3C_6H_5O_7$ sebagai pereduksi sekaligus penstabil. Kosentrasi $AgNO_3$ yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 8 mM dengan kosentrasi $Na_3C_6H_5O_7$ sebesar 0,64 mM. Massa yang dibutuhkan dapat dihitung melalui Persamaan (3.1).

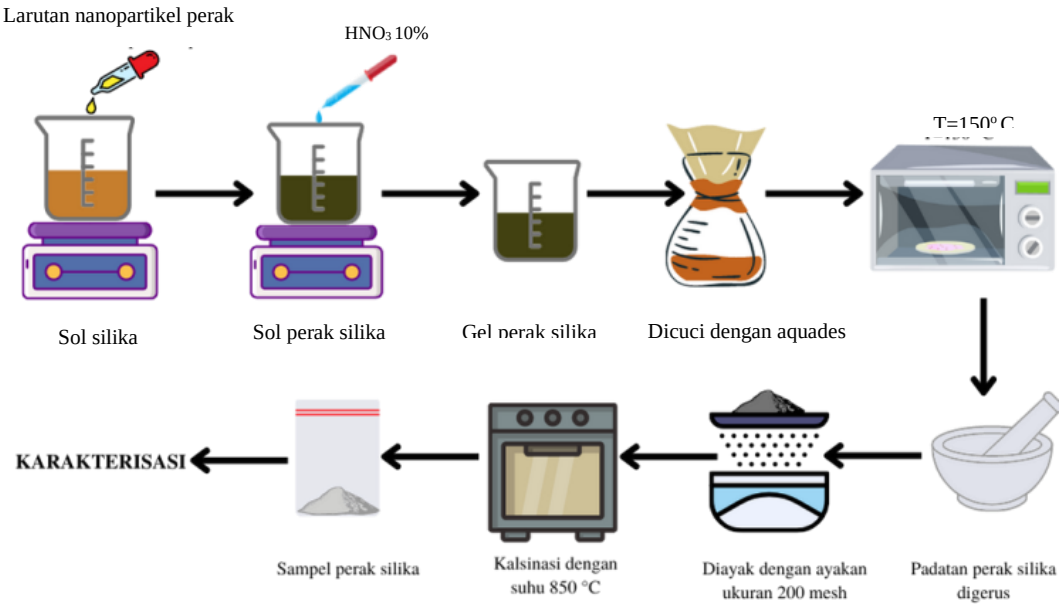
$$M = \frac{m}{Mr} \times \frac{1.000}{V} \tag{3.1}$$

Konsentrasi molaritas disimbolkan dengan M (M), massa zat terlarut m (g) berbanding dengan massa atom relatif Mr dan volume pelarut V (ml). Sehingga konsentrasi jumlah massa $AgNO_3$ dalam 50 ml dibutuhkan sebanyak 0,068 gram. Setelah mencampurkan $AgNO_3$ dengan 50 ml akuades, kemudian dipanaskan dengan suhu 90 ^oC dan diaduk dengan menggunakan *magnetic strirer* dengan kecepatan 500 rpm. Selanjutnya menambahkan 5 ml larutan $Na_3C_6H_5O_7$ dengan kosentrasi jumlah massa sebanyak 0,0825 gram tetes demi tetes kedalam larutan $AgNO_3$ hingga bewarna kuning terang, warna kuning terang ini menunjukkan

telah terbentuknya nanopartikel perak. Setelah larutan berubah warna menjadi kuning pemanasan dan pengadukan diberhentikan dan larutan segera diangkat dan didiamkan hingga berubah menjadi suhu ruangan.

3.3.4 Pembuatan Komposit Ag/SiO_2

Pembuatan komposit Ag/SiO_2 dilakukan dengan komposisi 1:1. Prosedur dari pembuatan komposit Ag/SiO_2 mengacu pada penelitian (Adam *et al.*, 2008; Pham *et al.*, 2014) dan dapat dilihat pada **Gambar 3.4.**



Gambar 3. 4 Pembuatan Komposit Ag/SiO_2.

Langkah pertama menyiapkan 50 ml sol silika ke dalam *beaker glass.* Selanjutnya tambahkan larutan nanopartikel perak 50 ml kedalam *beaker glass* yang berisi sol silika sedikit demi sedikit selama 3 jam sembari diaduk dengan menggunakan *magnegtic stirrer* agar tetap homogen. Selanjutnya tetesi sol Ag/SiO_2 tersebut dengan larutan HNO_3 10% sedikit demi sedikit sambil diaduk sampai mencapai pH 7 dan berubah menjadi gel Ag/SiO_2. Gel yang didapatkan selanjutnya dilakukan pematangan selama 24 jam. Gel yang didiamkan selama 24 jam tersebut berwarna hijau kehitaman, selanjutnya gel Ag/SiO_2 dicuci dengan menggunakan aquades panas sampai air cucian berwarna bening (bersih). Setelah

dicuci gel Ag/SiO_2 dikeringkan pada suhu 150 ^oC selama ±3 jam menggunakan oven hingga kering dan diperoleh padatan Ag/SiO_2. Setelah padatan diperoleh lalu di gerus dengan menggunakan mortar hingga menjadi serbuk Ag/SiO_2 dan berwarna abu-abu. Serbuk Ag/SiO_2 yang sudah digerus kemudian diayak dengan ayakan 200 mesh untuk mendapatkan serbuk Ag/SiO_2 yang halus dan homogen. Sampel yang telah diperoleh kemudian dikalsinasi dengan suhu 850 ^oC. Sampel yang telah dikalsinasi kemudian dikarakterisasi.

3.4 Karakterisasi dan Uji Sampel

3.4.1. Gugus Fungsionalitas

Karakteristik gugus fungsionalitas digunakan untuk mengidentifikasi campuran senyawa ikatan kimia serta komponen kandungan organik suatu material yang dapat dianalisis menggunakan FTIR. Karakterisasi menggunakan alat Bruker ALPHA II FTIR Spectrometer dengan spektrum inframerah wilayah tengah rentang bilangan gelombang 500 - 4000 cm^{-1}. Hasil karakterisasi dianalisis setiap gugus fungsinya dengan mebandingkan hasil terhadap tabel bilangan gelombang dan gugus fungsi pada spektrum FTIR dari hasil penelitian sebelumnya. Hasil analisis berupa grafik hubungan antara panjang gelombang dan transmitansi.

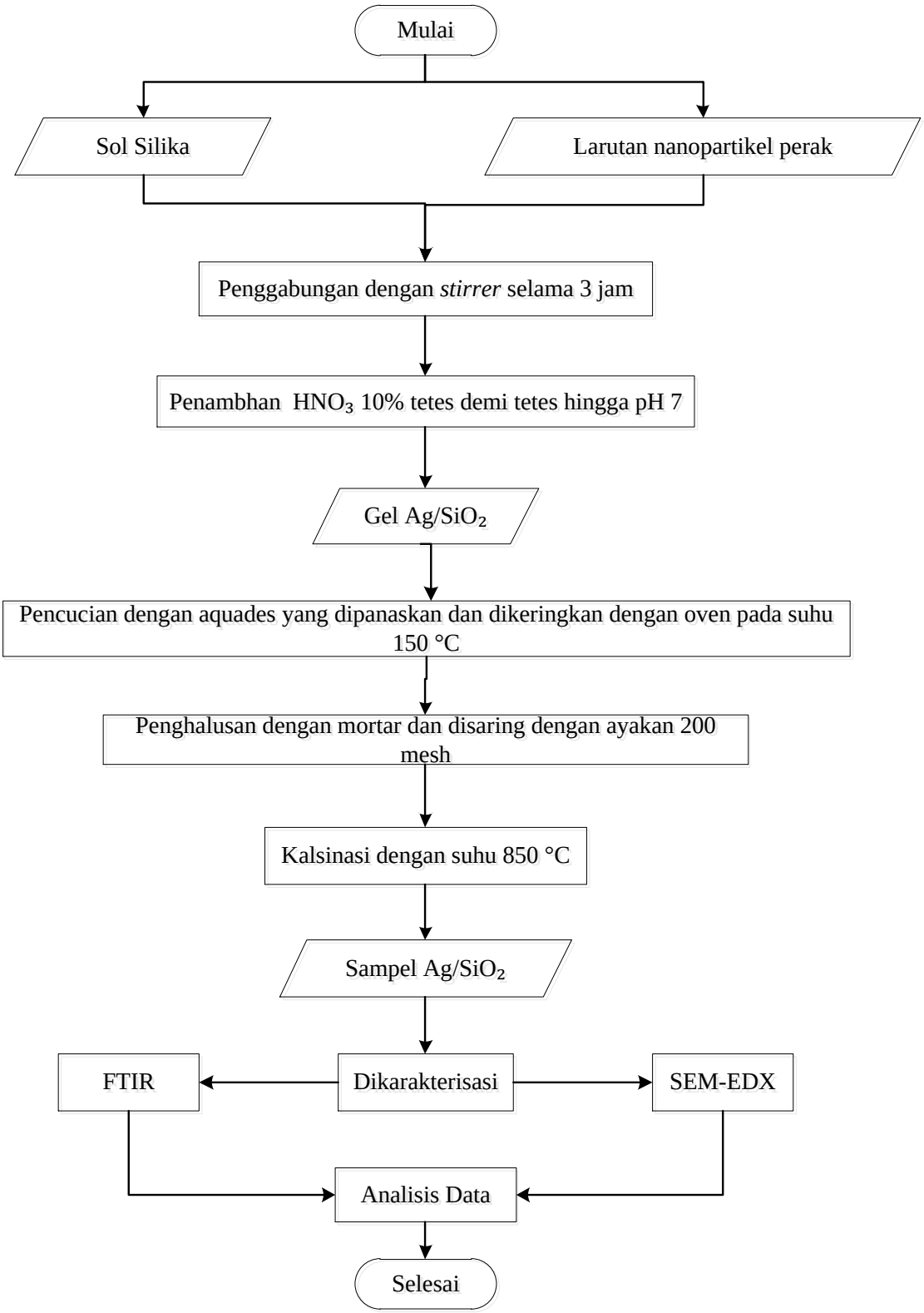
3.4.2. Morfologi dan Komposisi Sampel

Pengujian morfologi sampel komposit Ag/SiO_2 dilakukan dengan menggunakan SEM JEOL JSM-6510LA di Laboratorium Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM-BATAN). Sampel yang diuji dilakukan dengan perbesaran 2.000×, 5.000×, dan 10.000×. Untuk analisa komposisi kimia dilakukan menggunakan EDX yang memiliki tingkat ketepatan hingga 0,1%.

3.5 Diagram Alir

Langkah kerja pada penelitian ini dibagi menjadi empat bagian yaitu preparasi sekam padi, pembuatan sol silika sekam padi, pembuatan nanopartikel perak,

pembuatan komposit (Ag/SiO_2) serta karakterisasi. Secara detail prosedur penelitian disajikan pada digram alir yang dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3. 5 Diagram Alir Penelitian.

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Sintesis komposit Ag/SiO_2 dilakukan dengan menggunakan metode sol gel, dengan menginjeksi larutan nanopartikel perak kedalam sol silika dan di-*stirrer* selama 3 jam. Selanjutnya diinjeksi dengan HNO_3 10% hingga pH menjadi netral dan dilakukan pematangan selama 24 jam, kemudian dicuci dengan aquades panas dan dikeringkan pada suhu 150 ^oC. Padatan yang diperoleh dihaluskan dan saring dengan ukuran 250 *mesh* dan dikalsinasi pada suhu 850 ^oC.
2. Hasil analisis gugus fungsi pada pada Ag/SiO_2 yang dikalsinasi pada suhu 850 ^oC terdapat ikatan Si-O-Si yang menujukkan adanya silika dan gugus fungsi Ag-O yang menunjukkan kehadiran perak.
3. Hasil analisis struktur mikro dengan menggunakan SEM menujukkan bahwa sampel berbentuk seperti serpihan batu tajam dan terlihat adanya butiran-butiran kecil (granula) dengan ukuran dan bentuk partikel berbeda beda.
4. Hasil analisis komposisi senyawa pada Ag/SiO_2 menggunakan EDX menunjukkan adanya komposisi Si sebesar 24,58% dan Ag sebesar 1,01%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis gugus fungsi, mikrostruktur dan komposisi senyawa pada perak silika dengan suhu kalsinasi 850 ^oC maka saran untuk melanjutkan

penelitian yaitu dengan diberi perbedaan perlakuan suhu termal 1.200 ^{o}C untuk melihat bagaimana pengaruhnya terhadap karakteristik yang dihasilkan.

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.

Adesanya, D. A., & Raheem, A. A. (2009). Development of Corn Cob Ash Blended Cement. *Construction and Building Materials*, *23*(1), 347–352.

Affandi, S., Setyawan, H., Winardi, S., Purwanto, A., & Balgis, R. (2009). A Facile Method For Production of High-Purity Silica Xerogels from Bagasse Ash. *Advanced Powder Technology*, *20*(5), 468–472.

Agung, G. F., Hanafie, M. R., & Mardina, P. (2013). Ekstraksi Silika dari Abu Sekam Padi Dengan Pelarut KOH. *Konversi*, *2*(1), 28–31.

Alam, S., Ullah, B., Khan, M. S., Rahman, N. U., Khan, L., Shah, L. A., Zekker, I., Burlakovs, J., Kallistova, A., Pimenov, N., Yandri, E., Setyobudi, R. H., Jani, Y., & Zahoor, M. (2021). Adsorption Kinetics and Isotherm Study of Basic Red 5 on Synthesized Silica Monolith Particles. *Water (Switzerland)*, *13*(20), 1–13.

Alhussein, O. Y., Elgorashi, E. A. M., & Bayahia, H. (2016). A Novel Method for Synthesis of Ethylsilicates and its Applications. *Asian Journal of Chemistry*, *28*(12), 2741–2744.

Alshehri, A. H., Jakubowska, M., Młozìniak, A., Horaczek, M., Rudka, D., Free, C., & Carey, J. D. (2012). Enhanced Electrical Conductivity of Silver Nanoparticles for High Frequency Electronic Applications. *ACS Applied Materials and Interfaces*, *4*(12), 7007–7010.

Anggraini, M., Siregar, R. N., & Singarimbun, A. (2019). Identifikasi Unsur Radioaktif Batu Granit Nyelanding (Bangka Selatan) Menggunakan Metode X-Ray Fluoressence. *Journal of Science and Applicative Technology*, *20*(20), 1–7.

Anonim, 2022. Fasilitas Badan Riset dan Inovasi Nasioanal Badan Tenaga Nuklir Indonesia (BATAN). Diakses pada 01 September 2022, dari *http://www.batan.go.id/index.php/id/fasilitas-pstbm/7242-scanning-electron-microscope-sem*

Ariyanta, H. A. (2014). Preparasi Nanopartikel Perak Dengan Metode Reduksi Luka Infeksi Silver Nanoparticles Preparation by Reduction Method and its Application as Antibacterial for Cause of Wound Infection. *Jurnal MKMI*, 36–42.

Badan Pusat Statistika. (2021). Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2020 (Angka Tetap). *Badan Pusat Statistika*, *3*(22).

Badiah, H. I., Seedeh, F., Supriyanto, G., & Zaidan, A. H. (2019). Synthesis of Silver Nanoparticles and the Development in Analysis Method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *217*(1), 1–8.

Baheiraei, N., Moztarzadeh, F., & Hedayati, M. (2012). Preparation and Antibacterial Activity of Ag/SiO_2 Thin Film on Glazed Ceramic Tiles by Sol-Gel Method. *Ceramics International*, *38*(4), 2921–2925.

Bhagiyalakshmi, M., Yun, L. J., Anuradha, R., & Jang, H. T. (2010). Utilization of Rice Husk Ash as Silica Source for the Synthesis of Mesoporous KIT-6 and its pplication to CO_2 Adsorption Through TREN/TEPA Grafting. *Journal of Hazardous Materials*, *175*, 928–938.

Boenigk, J., Beisser, D., Zimmermann, S., Bock, C., Jakobi, J., Grabner, D., Grobmann, L., Rahmann, S., Barcikowski, S., & Sures, B. (2014). Effects of Silver Nitrate and Silver Nanoparticles on a Planktonic Community: General Trends after Short-Term Exposure. *Plos One*, *9*(4), 1–10.

Brinker, C. J., & Scherer, G. W. (1990). *The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. Academic Press Limited. London.

Cahyaningsih, D., Dahliaty, A., & Linggawati, A. (2015). Sintesis dan Karakterisasi Membran Bionanokomposit Selulosa Bakteri-ag sebagai Membran Antibakteri. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau*, *2*(1), 222–231.

Carbone, M., Donia, D. T., Sabbatella, G., & Antiochia, R. (2016). Silver Nanoparticles in Polymeric Matrices for Fresh Food Packaging. *Journal of King Saud University - Science*, *28*(4), 273–279.

Coates, J. (2006). Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, 1–23.

Daifullah, A. A. M., Girgis, B. S., & Gad, H. M. H. (2003). Utilization of Agro-Residues (Rice Husk) in Small Waste Water Treatment Plans. *Materials Letters*, *57*(11), 1723–1731.

Damayanti, N. E., & Taufikurohmah, T. (2019). Pemanfaatan Nanosilver sebagai Antibakteri dalam Formulasi Whitening Cream Terhadap Staphylococcus Aureus. *UNESA Journal of Chemistry*, *8*(2), 53–61.

Damiyanti, E., Sembiring, S., & Simanjutak, W. (2013). Pengaruh Suhu Sintering terhadap Karakteristik Struktur dan Mikrostruktur Komposit MgO-SiO_2 Berbasis Silika Sekam Padi. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, *01*(01), 13–17.

Das, S. K., Khan, M. M. R., Parandhaman, T., Laffir, F., Guha, A. K., Sekaran, G., & Mandal, A. B. (2013). Nano-silica Fabricated with Silver Nanoparticles: Antifouling Adsorbent for Efficient Dye Removal, Effective Water Disinfection and Biofouling Control. *Nanoscale*, *5*(12), 1–32.

Dong, X. Y., Gao, Z. W., Yang, K. F., Zhang, W. Q., & Xu, L. W. (2013). Nanosilver As A New Generation of Silver Catalysts in Organic Transformations for Efficient Synthesis of Fine Chemicals. *Catalysis Science and Technology*, *5*(5), 1–19.

Dudek, K., Podwórny, J., Dulski, M., Nowak, A., & Peszke, J. (2017). X-ray Investigations Into Silica/Silver Nanocomposite. *Powder Diffraction*, *32*(1), 1–5.

Duhan, S. (2012). Development of Silver-Silica Nanocomposite for Novel Humidity Sensing Application. *Indian Journal of Applied Research*, *1*(5), 220–221.

Duhan, S., Devi, S., & Srivastava, M. (2010). Characterization of Nanocrystalline Ag/SiO2 Nanocomposites and Synthesis by Wet Chemical Method. *Indian Journal of Pure and Applied Physics*, *48*(4), 271–275.

Elma, M. (2016). *Proses Sol Gel: Analisis, Fudamental dan Apliksi*. Lambung Mangkurat University Press. Banjarmasin.

Ervina. (2013). *Isolasi Silika Dari Tongkol Jagung, Tugas akhir, Universitas Pembangunan Nasional, Surabaya*.

Ewing, C. S., Veser, G., McCarthy, J. J., Lambrecht, D. S., & Johnson, J. K. (2016). Predicting Catalyst-Support Interactions Between Metal Nanoparticles and Amorphous Silica Supports. *Surface Science*, *652*, 278–285.

Ghorbani, F., Younesi, H., Mehraban, Z., Çelik, M. S., Ghoreyshi, A. A., & Anbia, M. (2013). Preparation And Characterization of Highly Pure Silica from Sedge As Agricultural Waste and Its Utilization in The Synthesis of Mesoporous Silica MCM-41. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, *44*(5), 821–828.

Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H., & Joy, D. C. (2003). *Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis*. Kluwer Academik. New York.

Guzman, M. G., Dille, J., & Godet, S. (2009). Synthesis of Silver Nanoparticles

by Chemical Reduction Method and Their Antibacterial Activity. *Journal of Chemical and Biomolecular Engineering*, *2*(3), 357-364.

Hanafi, A., & Nandang, A. (2010). Studi Pengaruh Bentuk Silika dari Abu Ampas Tebu terhadap Kekuatan Produk Keramik. *Jurnal Kimia Indonesia*, *5*(1), 35–38.

Harmami, S. B. (2008). The Synthesis of Silver Nanoparticles Produced by Chemical Reduction of Silver Salt Solution. In *Indonesian Journal of Materials Science* 16, 233–236.

Isma, S., Sembiring, S., & Simanjuntak, W. (2019). *Karakteristik Fungsional Dan Sifat Fisis Aspal Akibat Penambahan Silika Sekam Padi*. *07*(01), 77–82.

Ismail, M. M., & Abd Ulaziz, S. M. (2014). Spectral Study of Silver Nanoparticles Prepared by Chemical Method. *Eng. & Tech. Journal*, *32*(5), 869–876.

Jean, R. Der, Chiu, K. C., Chen, T. H., Chen, C. H., & Liu, D. M. (2010). Functionalized silica nanoparticles by nanometallic Ag decoration for optical sensing of organic molecule. *Journal of Physical Chemistry C*, *114*(37), 15633-15639.

Jeon, H. J., Yi, S. C., & Oh, S. G. (2003). Preparation and Antibacterial Effects of Ag-SiO_2 Thin Films by Sol-Gel Method. *Biomaterials*, *24*(27), 4921–4928.

Jia, H., Hou, W., Wei, L., Xu, B., & Liu, X. (2008). The Structures and Antibacterial Properties of Nano-SiO_2 Supported Silver/Zinc-Silver Materials. *Dental Materials*, *24*(2), 244–249.

Junaidi. (2017). Spektrofotometer UV-Vis untuk Estimasi Ukuran Nanopartikel Perak. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, *5*(1), 97–102.

Karthik, C., Caroline, D. G., Dhanam Priya, M., & Pandi Prabha, S. (2021). Synthesis, Characterization of Ag-SiO_2 Nanocomposite and Its Application in Food Packaging. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, *31*(6), 2532–2541.

Kim, Y. H., Kim, C. W., Cha, H. G., Jo, B. K., Ahn, G. W., Hong, E. S., & Kang, Y. S. (2008). Preparation of Antibacterial Silver-Containing Silica Nanocomposite. *Surface Review and Letters*, *15*(1&2), 117–122.

Kim, Y. H., Lee, D. K., Cha, H. G., Kim, C. W., & Kang, Y. S. (2007). Synthesis and Characterization Of Antibacterial Ag - SiO_2 Nanocomposite. *Journal of Physical Chemistry C*, *111*(9), 3629–3635.

Lisovskyy, I. P., Litovchenko, V. G., Mazunov, D. O., Kaschieva, S., Koprinarova, J., & Dmitriev, S. N. (2005). Infrared Spectroscopy Study of Si-SiO_2 Structures Irradiated With High-Energy Electrons. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, *7*(1), 325–328.

Liu, S., You, K., Jian, J., Zhao, F., Zhong, W., Yin, D., Liu, P., Ai, Q., & Luo, H.

(2016). Mesoporous Silica Gel As An Effective and Eco-Friendly Catalyst for Highly Selective Preparation of Cyclohexanone Oxime by Vapor Phase Oxidation of Cyclohexylamine With Air. *Journal of Catalysis*, *338*, 239–249.

Mailu, S. N., Waryo, T. T., Ndangili, P. M., Ngece, F. R., Baleg, A. A., Baker, P. G., & Iwuoha, E. I. (2010). Determination of Anthracene on Ag-Au Alloy Nanoparticles/Overoxidized-Polypyrrole Composite Modified Glassy Carbon Electrodes. *Sensors (Switzerland)*, *10*(10), 9449–9465.

Mutalib, M. A., Rahman, M. A., Othman, M. H. D., Ismail, A. F., & Jaafar, J. (2017). Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy-Dispersive X-Ray (EDX) Spectroscopy. In *Membrane Characterization*. Elsevier B.V.

Nicolet, T. (2001). *Introduction to Fourier Transform Infrared Spetrometry*. *199*(1), 1–8.

Nyirenda, J., George, K., & Onesmus, M. (2022). Synthesis and Characterization of an Activated Carbon Supported Silver Silica Nanocomposite for Adsoption of Heavy Metal Ions from Water. *Result In Engineering*, *5*, 1-12.

Ojeda, J. s J., & Maria, D. (2012). Fourier Transform Infrared Spectroscopy for Molecular. *In Microbial Systems Biology: Methods and Protocol*, *881*, 187–211.

Park, M. J., Kim, D. H., Park, K., Jang, D. Y., & Han, D. C. (2008). Design and Fabrication of A Scanning Electron Microscope Using A Finite Element Analysis for Electron Optical System. *Journal of Mechanical Science and Technology*, *22*(9), 1734–1746.

Perdana, I., & Muldarisnur, M. (2021). Optimization of Ag-SiO_2 Core-Shell Nanoparticles Arrangement For Light Absorption Enhancement In Organic Solar Cells. *AIP Conference Proceeding*, *9*(2), 202-208.

Pham, D. P., Huynh, K. K., Tran, C. V., Vu, V. Q., & Tran, T. T. V. (2014). Preparation and Structural Characterization of Sol-Gel-Derived Silver Silica Nanocomposite Powders. *International Journal of Materials Science and Applications*, *3*(5), 147-151.

Prasetiowati, A. L., Prasetya, A. T., Wardani, S., Kimia, J., Matematika, F., Alam, P., & Semarang, U. N. (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.

Prasetyaningtyas, T., Prasetya, A. T., & Widiarti, N. (2020). Sintesis Nanopartikel Perak Termodifikasi Kitosan Dengan Bioreduktor Ekstrak Daun Kemangi (Ocimum Basilicum L.) Dan Uji Aktivitasnya Sebagai Antibakteri. *Indonesian Journal of Chemical Science*, *9*(1), 37–43.

Permatasari, L., Sembiring, S., & Manurung, P. (2022). Karakteristik

Fungsionalitas dan Mikrostruktur Komposit Aspal-Silika-Karbosil. J*urnal Teori dan Aplikasi Fisika*, *10*(01), 61-69.

Qin, R., Li, G., Pan, L., Han, Q., Sun, Y., & He, Q. (2017). Preparation of SiO_2@Ag Composite Nanoparticles and Their Antimicrobial Activity. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, *17*(4), 2305–2311.

Raffi, M., Hussain, F., Bhatti, T. M., Akhter, J. I., Hameed, A., & Hasan, M. M. (2008). Antibacterial Characterization of Silver Nanoparticles Against E.Coli ATCC-15224. *Journal of Materials Science and Technology*, *24*(2), 192–196.

Rafiee, E., & Shahebrahimi, S. (2012). Nano Silica With High Surface Area From Rice Husk As A Support for 12-Tungstophosphoric Acid: An Efficient Nano Catalyst in Some Organic Reactions. *Chinese Journal of Catalysis*, *33*(7–8), 1326–1333.

Rajabi, O., Bazzaz, B. S. F., Vaseghi, A. R., & Salari, R. (2011). Standardizing The Bactericidal Activities of Silver Nanoparticles Made by Electrochemical Reduction and Comparing It With Deconex 53 Instrument. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, *10*(3), 481–487.

Rizqi, I. A. (2016). *Sintesis Dan Karakterisasi Nanozeolit X Dari Abu Sekam Padi Menggunakan Variasi Suhu Hodrotermal*. Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Sembiring, S. (2017). *Potensi Silika Sekam 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. *Jurnal 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 - Silikaty*, *66*(2), 167–177.

Sembiring, S., & Simanjutak, W. (2015). *Silika Sekam Padi Potensinya Sebagai Bahan Baku Keramik Industri*. Plantaxia.Yogyakarta.

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 Rice Husk Through Sol-Gel Route. *Oriental Journal of Chemistry*, *32*(4), 2079–2085.

Shankar, S., Chorachoo, J., Jaiswal, L., Voravuthikunchai, S.P. (2014). Effect of Reducing Agent Concentrations and Temperature on Characteristics and Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles. *Materials Latter*, *10*(2), 1-4.

Sirajudin, A., & Rahmanisa, S. (2016). Nanopartikel Perak sebagai Penatalaksanaan Penyakit Infeksi Saluran Kemih Silver Nanoparticles as

Management Urinary Tract Infectious Disease. *Majority*, *5*, 1–5.

Suka, I. G., Simanjuntak, W., Sembiring, S., & Trisnawati, E. (2008). Karakteristik Silika Sekam Padi dari Provinsi Lampung yang Diperoleh Dengan Metode Ekstraksi. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, *37*(1), 47–52.

Sutal, Y., Pingak, R. K., Ahab, A. S., & Baunsele, S. D. (2019). Kajian Awal Ekstraksi Silika Dari Pasir Noeltoko Menggunakan X-Ray Fluorescence. *Seminar Nasional Sains dan Teknik Fst Undana (Sainstek)*, *3*(5), 278–289.

Toisawa, K., Hayashi, Y., & Takizawa, H. (2010). Synthesis of Highly Concentrated Ag Nanoparticles in A Heterogeneous Solid-Liquid System Under Ultrasonic Irradiation. *Materials Transactions*, *51*(10), 1764–1768.

Trianasari., Manurung, P., & Karo-karo, P. (2017). Analisis dan Karakterisasi Kandungan Silika (SiO_2) Sebagai Hasil Ekstraksi Batu Apung (Pumice). *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, *05*(1), 9–14.

Velmurugan, P., Shim, J., Lee, K. J., Cho, M., Lim, S. S., Seo, S. K., Cho, K. M., Bang, K. S., & Oh, B. T. (2015). Extraction, Characterization, and Catalytic Potential of Amorphous Silica from Corn Cobs by Sol-Gel Method. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, *9*(6), 1-6.

Venkateswara Rao, A., & Bhagat, S. D. (2004). Synthesis and Physical Properties of TEOS-Based Silica Aerogels Prepared by Two Step (Acid-Base) Sol-Gel Process. *Solid State Sciences*, *6*(9), 945–952.

Vijayalakshmi, U., Balamurugan, A., & Rajeswari, S. (2005). Synthesis and characterization of Porous Silica Gels for Biomedical Applications. *Trends in Biomaterials and Artificial Organs*, *18*(2), 101–105.

Wardhani, G. A. paramita kusumah. (2017). Silika pada Togkol Jagung yang Dikarakterisasi Menggunakan Spektroskopi Infra Merah dan Difraksi Sinar-X. *Jurnal Kimia Riset*, *2*(1), 37-42.

Wysocka, K., Olsztynska-Janus, S., Plesch, G., Plecenik, A., Podbielska, H., & Bauer, J. (2018). Nano-Silver Modified Silica Particles in Antibacterial Photodynamic Therapy. *Applied Surface Science*, *461*(18), 1-16.

Xianliang, L. I., Zuosen, S. H. I., Zhanchen, C. U. I., & Song, Z. H. U. (2017). Silver Chloride Loaded Hollow Mesoporous Silica Particles and Their Application in the Antibacterial Coatings on Denture Base. *Scientific Research Project of the Education Department of Liaoning Province, China*, *2*(9), 1–5.

Yanti, S., Yanti, S., Arif, M. S., Yusuf, B., Kimia, P. S., Mulawarman, U., & Barong, J. (2021). Sintesis Dan Stabilitas Nanopartikel Perak (AgNPs) Menggunakan Trinatrium Sitrat. *Prosiding Seminar Nasional Kimia 2021*, *5*(2), 1–5.

Yuvakkumar, R., Elango, V., Rajendran, V., & Kannan, N. (2014). High-purity

nano silica powder from rice husk using a simple chemical method. *Journal of Experimental Nanoscience*, *9*(3), 272–281.

Zhang, X. F., Liu, Z. G., Shen, W., & Gurunathan, S. (2016). Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic,. *Approaches. International Jounar of Moleculer. Science.*, *17*(9), 1-34.