

**PENGARUH PENAMBAHAN Ag TERHADAP STRUKTUR KRISTAL
DAN SIFAT OPTIK Fe₃O₄, SERTA VARIASI MASSA NANOKOMPOSIT
Fe₃O₄/Ag TERHADAP KARAKTERISTIK KURVA SURFACE PLASMON
RESONANCE MENGGUNAKAN METODE SINTESIS HIJAU**

(Skripsi)

Oleh

**FLORA ROSDIANA LUMBANSIANTAR
2117041043**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN Ag TERHADAP STRUKTUR KRISTAL DAN SIFAT OPTIK Fe₃O₄, SERTA VARIASI MASSA NANOKOMPOSIT Fe₃O₄/Ag TERHADAP KARAKTERISTIK KURVA SURFACE PLASMON RESONANCE MENGGUNAKAN METODE SINTESIS HIJAU

Oleh

FLORA ROSDIANA LUMBANSIANTAR

Telah dilakukan pengamatan fenomena *surface plasmon resonance* (SPR) menggunakan konfigurasi Kretschmann dengan struktur empat *layer*: prisma/Au Thin Film/Fe₃O₄/Ag/udara, dengan variasi massa nanokomposit Fe₃O₄/Ag sebesar 0,025; 0,05; 0,075; dan 0,1 gram. Fe₃O₄ yang kemudian ditambahkan Ag 100 mM sehingga menjadi nanokomposit Fe₃O₄/Ag 100 mM disintesis menggunakan metode sintesis hijau, lalu dikarakterisasi dengan XRD dan UV-Vis. Hasil XRD menunjukkan penambahan Ag pada Fe₃O₄ tidak mengubah struktur kristal Fe₃O₄ secara langsung, tetapi menyebabkan peningkatan ukuran kristalit. Hasil UV-Vis menunjukkan spektrum absorbansi bergeser ke panjang gelombang yang lebih panjang. Pendeposisian lapisan tipis Au pada sisi prisma menggunakan *vacuum evaporator*. Pendeposisian Fe₃O₄/Ag pada lapisan tipis Au menggunakan metode *spray*. Untuk konfigurasi awal prisma/Au Thin Film/udara, diperoleh sudut SPR (θ_{SPR}) sebesar 45,67° dengan reflektansi minimum (R_{min}) sebesar 0,4208. Setelah penambahan Fe₃O₄/Ag dengan masing-masing variasi massa, sudut SPR (θ_{SPR}) mengalami pergeseran menjadi 45,98°; 46,38°; 46,75°; dan 46,77° dengan reflektansi minimum (R_{min}) sebesar 0,5645; 0,6977; 0,7239; dan 0,7663. Pergeseran sudut yang dihasilkan adalah sebesar 0,31°; 0,71°; 1,08°; dan 1,11°. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan Fe₃O₄/Ag pada lapisan tipis Au menyebabkan pergeseran sudut SPR ke arah sudut datang yang lebih besar, serta meningkatkan nilai reflektansi minimum. Semakin besar massa nanokomposit yang ditambahkan, maka semakin besar pergeseran sudut SPR yang terjadi.

Kata kunci: Konfigurasi Kretschmann, nanokomposit Fe₃O₄/Ag, sintesis hijau, *surface plasmon resonance* (SPR), UV-Vis, XRD.

ABSTRACT

EFFECT OF ADDING Ag ON THE CRYSTAL STRUCTURE AND OPTICAL PROPERTIES OF Fe₃O₄, AND MASS VARIATION OF Fe₃O₄/Ag NANOCOMPOSITE ON THE SURFACE PLASMON RESONANCE CURVE CHARACTERISTICS USING THE GREEN SYNTHESIS METHODS

By

FLORA ROSDIANA LUMBANSIANTAR

Surface plasmon resonance (SPR) phenomenon was observed using the Kretschmann configuration with a four-layer structure: prism/Au Thin Film/Fe₃O₄/Ag/air, with Fe₃O₄/Ag nanocomposite mass variation of 0.025; 0.05; 0.075; and 0.1 gram. Fe₃O₄ which was then added with 100 mM Ag to become Fe₃O₄/Ag 100 mM nanocomposite was synthesized using green synthesis method, and then characterized by XRD and UV-Vis. XRD results showed the addition of Ag to Fe₃O₄ does not change the crystal structure of Fe₃O₄ directly, but causes an increase in crystallite size. UV-Vis results showed the absorbance spectrum shifted to longer wavelengths. Deposition of Au thin layer on the prism side using vacuum evaporator. Fe₃O₄/Ag was deposited on the Au thin film using spray method. For the initial configuration of prism/Au Thin Film/air, the SPR angle (θ_{SPR}) of 45.67° was obtain with a minimum reflectance (R_{min}) of 0.4208. After the addition of Fe₃O₄/Ag with each mass, the SPR angle (θ_{SPR}) shifted to 45.98°; 46.38°; 46.75°; and 46.77° with a minimum reflectance (R_{min}) of 0.5645; 0.6977; 0.7239; and 0.7663. The resulting angular shifts were 0.31°; 0.71°; 1.08°; and 1.11°. The results show that the addition of Fe₃O₄/Ag to the Au thin layer causes a shift in the SPR angle towards a larger incident angle, as well as increasing the minimum reflectance value. The greater the mass of nanocomposite added, the greater the SPR angle shift that occurs.

Kata kunci: Kretschmann configuration, Fe₃O₄/Ag nanocomposite, green synthesis, surface plasmon resonance (SPR), UV-Vis, XRD.

**PENGARUH PENAMBAHAN Ag TERHADAP STRUKTUR KRISTAL
DAN SIFAT OPTIK Fe₃O₄, SERTA VARIASI MASSA NANOKOMPOSIT
Fe₃O₄/Ag TERHADAP KARAKTERISTIK KURVA SURFACE PLASMON
RESONANCE MENGGUNAKAN METODE SINTESIS HIJAU**

Oleh

FLORA ROSDIANA LUMBANSIANTAR

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh 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
2025**

Judul Penelitian

PENGARUH PENAMBAHAN Ag TERHADAP STRUKTUR KRISTAL DAN SIFAT OPTIK Fe_3O_4 , SERTA VARIASI MASSA NANOKOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ TERHADAP KARAKTERISTIK KURVA SURFACE PLASMON RESONANCE MENGGUNAKAN METODE SINTESIS HIJAU

Nama Mahasiswa

Flora Rosdiana Lumbansiantar

Nomor Induk Mahasiswa : 2117041043

Jurusan

: Fisika

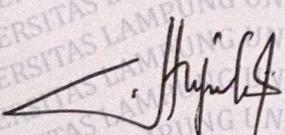
Fakulta

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Menyetujui,

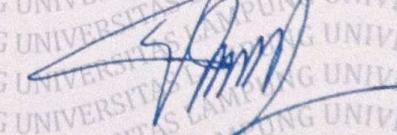
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I



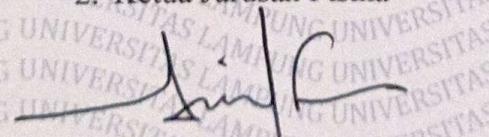
Suprihatin, S.Si., M.Si.
NIP. 197304141997022001

Pembimbing II



Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, S.Si., M.Eng.
NIP. 197503151999031003

2. Ketua Jurusan Fisika


Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 197109092000121001

MENGESAHKAN

1. Tim Pengaji

Ketua : **Suprihatin, S.Si., M.Si.**

Sekretaris

: **Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, S.Si., M.Eng.**

Pengaji

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

2.

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

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

NIP. 497110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 28 Mei 2025

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Pengaruh Penambahan Ag terhadap Struktur Kristal dan Sifat Optik Fe₃O₄, serta Variasi Massa Nanokomposit Fe₃O₄/Ag terhadap Karakteristik Kurva Surface Plasmon Resonance Menggunakan Metode Sintesis Hijau**" ini sepenuhnya karya saya sendiri. 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.

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

Bandar Lampung, 28 Mei 2025



Flora Rosdiana Lumbansiantar
NPM. 2117041043

RIWAYAT HIDUP



Flora Rosdiana Lumbansiantar lahir di Nainggolan pada tanggal 8 Februari 2003. Penulis merupakan anak keenam dari 7 bersaudara dari pasangan Bapak Sahat P. Lumbansiantar dan Ibu Rusmaida Sitohang. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 2 Nainggolan pada tahun 2015, SMPN 1 Nainggolan pada tahun 2018, dan SMAS Bintang Timur 1 Balige pada tahun 2021. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN tahun 2021.

Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung, penulis pernah aktif dalam kegiatan organisasi sebagai anggota bidang Saintek HIMAFI FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2022, tutor Kelompok Belajar Mahasiswa Baru HIMAFAI FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2022, dan Koordinator Umum POM MIPA Universitas Lampung pada tahun 2023-2024. Penulis juga asisten praktikum mata kuliah Fisika Inti pada tahun 2024.

Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Fisika Material dan Instrumentasi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, yang bertempat di komplek FMIPA Sekip Utara Bls 21, Yogyakarta dengan judul "**Sintesis, Karakterisasi Mikrostruktur, Sifat Optik, Sifat Kemagnetan Nanopartikel Fe₃O₄ untuk Aplikasi Biosensor Surface Plasmon Resonance di Grup Riset Material Magnetik dan Nanostruktur UGM**". Kegiatan pengabdian kepada Masyarakat penulis ikuti dalam program Kuliah Kerja Nyata Universitas Lampung tahun 2024 di Desa Rejomulyo 8, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan. Penulis melaksanakan penelitian untuk menyusun skripsi dengan judul "**Pengaruh Penambahan Ag terhadap Struktur Kristal dan Sifat Optik Fe₃O₄, serta Variasi Massa Nanokomposit Fe₃O₄/Ag terhadap Karakteristik Kurva Surface Plasmon Resonance Menggunakan Metode Sintesis Hijau**" dibawah bimbingan Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si., dan Bapak Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, S.Si., M.Eng.

MOTTO

“Bersukacitalah dalam pengharapan, sabarlah dalam kesesakan, dan bertekunlah dalam doa”

- Roma 12:12

“Knowledge is a power; information is a liberation. Education is the premise of progress, in every society, in every family”

- Kofi Annan

“Setiap orang adalah pembuat nasibnya sendiri”

*“Here comes the sun, and I say
It's all right”*

- George Harrison

“Ob-la-di, ob-la-da, life goes on, brah”

- John Lennon & Paul McCartney

“Start before you're ready”

PERSEMBAHAN

**Dengan penuh rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, penulis
persesembahkan skripsi ini kepada:**

Bapak Sahat P. Lumbansiantar dan Ibu Rusmaida Sitohang
Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan serta doa yang tiada hentinya untuk kesuksesan putrinya

Andre, Dewi, Holy, Jonathan, Yulia, dan Ryan

Kedua Abangku, Ketiga Kakaku, dan Adikku tersayang yang telah memberikan dukungan doa dan motivasi sehingga membuat penulis mampu menyelesaikan pendidikan S1

Bapak/Ibu Dosen FISIKA FMIPA UNILA

Terima kasih telah memberikan bekal ilmu pengetahuan , nasihat, dan saran yang membangun hati dan pikiran agar penulis menjadi lebih baik

Rekan-rekan seperjuangan Fisika Angkatan 2021

Terima kasih untuk kebersamaan selama kuliah yang sangat berarti dan menjadi kenangan yang tidak terlupakan.

Serta

***Almamater Tercinta
UNIVERSITAS LAMPUNG***

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan anugerah-Nya sehingga penulis diberikan kesempatan untuk menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Penambahan Ag terhadap Struktur Kristal dan Sifat Optik Fe₃O₄, serta Variasi Massa Nanokomposit Fe₃O₄/Ag terhadap Karakteristik Kurva Surface Plasmon Resonance Menggunakan Metode Sintesis Hijau”** yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) pada bidang Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Skripsi ini membahas tentang pengaruh penambahan Ag terhadap struktur kristal dan sifat optik Fe₃O₄, serta variasi massa nanokomposit Fe₃O₄/Ag terhadap karakteristik kurva *surface plasmon resonance* menggunakan metode sintesis hijau. Kemudian, dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD) dan *Ultraviolet-Visible* (UV-Vis). Karakteristik kurva SPR dikaji pada sistem prisma/Au Thin Film/Fe₃O₄/Ag/udara.

Penulis menyadari bahwa penyajian skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat menjadi rujukan untuk penelitian selanjutnya dalam upaya pengembangan teknologi biosensor.

Bandar Lampung, 28 Mei 2025
Penulis

Flora Rosdiana Lumbansiantar
NPM. 2117041043

SANWACANA

Puji syukur penulis haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan anugerah-Nya sehingga penulis diberikan kesempatan untuk menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Penambahan Ag terhadap Struktur Kristal dan Sifat Optik Fe₃O₄, serta Variasi Massa Nanokomposit Fe₃O₄/Ag terhadap Karakteristik Kurva Surface Plasmon Resonance Menggunakan Metode Sintesis Hijau”**. Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Dengan kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si., selaku Pembimbing Pertama sekaligus Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan bimbingan, nasihat, serta ilmunya.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Edi Suharyadi, S.Si., M.Eng., selaku Pembimbing Kedua yang telah banyak memberikan bimbingan, saran, masukan, serta fasilitas dalam penelitian dan penulisan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D, selaku Penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan selama penulisan skripsi.
4. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Unila.
5. Seluruh dosen Fisika FMIPA UNILA yang telah memberikan ilmu selama menempuh studi S1 Fisika FMIPA UNILA.
6. Staf administrasi Jurusan Fisika FMIPA UNILA yang telah membantu dalam urusan administrasi selama menempuh studi S1 Fisika.
7. Kedua orang tua tercinta Bapak Sahat Lumbansiantar dan Ibu Rusmaida Sitohang, yang selalu mendukung penulis.

8. Abang Ara, Kak Dewi, Kak Moni, Abang Jon, Kak Lia, dan Pudan, yang selalu mendukung penulis.
9. Mas Muhammad Riswan, M.Sc., selaku PIC penulis selama penelitian yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan selama penelitian.
10. Mas Vincent Milano, M.Sc dan Mas Ikmal Habirohman yang telah banyak membantu penulis selama penelitian.
11. Peter dan Max, selaku penyemangat penulis.
12. Angel, Laras, dan Anisatul, selaku teman penulis yang saling mendukung dan membantu selama proses penelitian dan penulisan skripsi ini.
13. Pujel, Grace, Angel, Ebi, Dame, Ones, dan Melisa selaku teman penulis yang saling bersama-sama selama menyelesaikan studi.
14. Teman-teman POM MIPA Universitas Lampung yang telah menjadi wadah pelayanan kekristenan penulis selama menjalankan studi.
15. Terima kasih untuk diri penulis sendiri, Flora Rosdiana Lumbansiantar, yang senantiasa berani melangkah dan setia menghidupi makna dari namanya.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa membalas segala kebaikan dengan yang lebih baik.

Bandar Lampung, 28 Mei 2025
Penulis

Flora Rosdiana Lumbansiantar
NPM. 2117041043

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
COVER DALAM	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Surface Plasmon Resonance (SPR)</i>	6
2.2 Nanopartikel Fe ₃ O ₄ dan Ag	8
2.3 Karakterisasi Nanopartikel	
2.3.1 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	11
2.3.2 Spektroskopi Ultraviolet-Visible (UV-Vis)	13
2.4 Sintesis Hijau (<i>Green Synthesis</i>)	14
2.5 Penelitian Terkait	15

III. METODE PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	18
3.2 Alat dan Bahan	
3.2.1 Alat-alat Penelitian	18
3.2.2 Bahan-bahan Penelitian	18
3.3 Prosedur Penelitian	
3.3.1 Pembuatan Sampel	
3.3.1.1 Pembuatan Larutan MO	19
3.3.1.2 Sintesis Hijau Fe ₃ O ₄ NPs	19
3.3.1.3 Sintesis Hijau Fe ₃ O ₄ /APTMS (3-Aminopropyl) trimethoxysilane (silika termodifikasi)	20
3.3.1.4 Sintesis Hijau Ag.....	21
3.3.1.5 Sintesis Hijau Fe ₃ O ₄ /Ag	21
3.3.2 Karakterisasi Sampel	
3.3.2.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	22
3.3.2.2 <i>Ultraviolet-Visible</i> (UV-Vis).....	22
3.3.3 Pengamatan Fenomena SPR	
3.3.3.1 Pencucian Prisma	22
3.3.3.2 Deposisi Lapisan Emas (Au) pada Prisma	23
3.3.3.3 Deposisi Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /Ag.....	23
3.3.3.4 Pengambilan Data SPR	24
3.4 Diagram Alir.....	25
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Mekanisme Sintesis Hijau Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /Ag.....	28
4.2 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	29
4.3 Hasil Karakterisasi <i>Ultraviolet-Visible</i> (UV-Vis)	31
4.4 Karakteristik Kurva <i>Surface Plasmon Resonance</i> (SPR)	32
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	36
5.2 Saran.....	36

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 (a) Pengaturan Spektroskopi SPR dan (b) Konfigurasi Kretschman..7	
Gambar 2.2 Struktur kristal Fe ₃ O ₄ (a) posisi atom dalam kristal tetrahedral (b)	
posisi atom dalam kristal oktahederal (c) gabungan tetrahederal dan	
oktahederal (d) kubus spinel (Cullity and Graham, 2009)9	
Gambar 2.3 Face-centered cubic10	
Gambar 2.4 Ilustrasi Difraksi Pada Bidang Kristal11	
Gambar 2.5 Skematik Sektrofotometer UV-Vis14	
Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan Larutan MO dan AgMO25	
Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan Fe ₃ O ₄ /Ag26	
Gambar 3.3 Diagram Alir Pengamatan Fenomena SPR.....27	
Gambar 4.1. Mekanisme pembentukan nanokomposit Fe ₃ O ₄ /Ag	
menggunakan ekstrak MO.....28	
Gambar 4.2 Kurva XRD Fe ₃ O ₄ dan Fe ₃ O ₄ /Ag29	
Gambar 4.3 Spektrum Absorbansi Nanopartikel Fe ₃ O ₄ dan Fe ₃ O ₄ /Ag.....31	
Gambar 4.4 Kurva SPR Variasi Massa Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /Ag.....32	
Gambar 4.5 Simulasi Kurva SPR Variasi Ketebalan Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /Ag...34	

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 4.1 Ukuran kristalit, parameter kisi Fe_3O_4 dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$	31
Tabel 4.2 Sudut <i>Surface Plasmon Resonance</i> (SPR).....	33

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada beberapa dekade terakhir ini, perkembangan biosensor berbasis *Surface Plasmon Resonance* (SPR) mengalami peningkatan secara terus menerus dan signifikan. Biosensor berbasis SPR banyak dikembangkan karena memiliki kemampuan deteksi respon cepat, pengujian tanpa merusak, bebas label, dan pemantauan waktu nyata. Biosensor ini dapat digunakan pada beberapa aplikasi seperti deteksi suhu pada pengendalian lingkungan, keamanan makanan, biomedis, penyimpanan data, dan deteksi biologis (Song *et al.*, 2022).

SPR adalah fenomena optik, dimana gelombang *surface plasmon* (SP) tereksitasi pada permukaan lapisan tipis logam dan media dielektrik pada sudut datang tertentu. Gelombang SP yang dihasilkan oleh elektron bebas pada permukaan lapisan tipis logam sangat sensitif terhadap perubahan kecil pada indeks bias lapisan biomolekuler, yang pada gilirannya menyebabkan tejadinya pergeseran sudut SPR. Sudut dengan reflektansi paling minimum disebut sudut SPR (Homola *et al.*, 1999).

Biosensor SPR memiliki kekurangan yaitu keterbatasan dalam pendekstrian biomolekul dengan ukuran dan konsentrasi rendah (Zeng *et al.*, 2014). Salah satu strategi yang efektif untuk meningkatkan sensitivitas biosensor SPR adalah dengan penggunaan nanopartikel magnetit (Fe_3O_4) (Oktivina *et al.*, 2017).

Nanopartikel Fe_3O_4 memiliki kelebihan yaitu sifat magnetik yang unggul, luas permukaan besar (Liu *et al.*, 2014), berat molekul yang tinggi, dan indeks bias yang tinggi, yang dapat meningkatkan sinyal SPR (Mandala *et al.*, 2021). Kendati demikian, nanopartikel Fe_3O_4 juga memiliki kekurangan yaitu stabilitas kimia yang

rendah dan mudah teraglomerasi. Oleh karena itu, dibutuhkan modifikasi permukaan nanopartikel Fe_3O_4 untuk mencegah aglomerasi dan meningkatkan stabilitas dan dispersibilitas nanopartikel Fe_3O_4 (Camacho *et al.*, 2019).

Salah satu nanopartikel yang memungkinkan untuk meningkatkan dispersibilitas nanopartikel Fe_3O_4 adalah nanopartikel Ag. Nanopartikel Ag merupakan nanopartikel yang banyak digunakan dalam meningkatkan performa biosensor SPR. Nanopartikel Ag bersifat dispersif, memiliki stabilitas baik serta mudah berikatan dengan material lain termasuk nanopartikel Fe_3O_4 (Zhan *et al.*, 2019). Nanopartikel Ag juga memiliki kelebihan yaitu merupakan material plasmonik sehingga dapat menghasilkan fenomena *localized surface plasmon resonance* (LSPR). LSPR adalah peningkatan medan elektromagnetik disekitar permukaan nanopartikel yang pada gilirannya akan meningkatkan signal SPR (Wu and Wang., 2008). Oleh karena itu, penggabungan nanopartikel Fe_3O_4 dan Ag dalam komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ merupakan pilihan yang tepat dalam upaya meningkatkan sensitivitas biosensor SPR (Dizaji *et al.*, 2015).

Nanopartikel dapat disintesis menggunakan beberapa metode dan yang paling umum digunakan adalah metode kopresipitasi konvensional. Akan tetapi, metode sintesis konvensional memiliki beberapa kekurangan yaitu biaya produksi tinggi, polusi lingkungan, dan penggunaan bahan kimia beracun dan berbahaya sehingga tidak ramah lingkungan (Wang *et al.*, 2021). Untuk mengatasi ataupun mengurangi permasalahan tersebut, dikembangkan metode sintesis hijau. Keunggulan metode sintesis hijau adalah ramah lingkungan, biaya murah dan membutuhkan energi yang tidak terlalu tinggi (Raveendran *et al.*, 2003).

Salah satu tanaman yang paling banyak digunakan untuk sintesis nanopartikel Fe_3O_4 dengan metode sintesis hijau adalah Moringa oleifera (MO). Ekstrak daun MO mengandung senyawa fenolik dan flavonoid yang berperan penting dalam mereduksi ion Fe(III) dan Fe(II) dan dapat bertindak sebagai zat penstabil dalam proses sintesis nanopartikel (Vongsak *et al.*, 2013).

Studi eksperimental tentang SPR telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti, masing-masing memiliki karakteristik dan tujuan yang berbeda. Salah satunya yaitu penelitian yang dilakukan oleh Adrianto *et al.*, (2022) tentang suatu sifat *Localized*

surface plasmon resonance (LSPR) nanopartikel Ag menggunakan metode sintesis hijau. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi PVP menyebabkan pergeseran sudut LSPR ke arah sudut datang yang lebih besar. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan PVP berpotensi mengoptimalkan kinerja sensor berbasis SPR di masa mendatang.

Cuana *et al.*, (2022) juga melakukan penelitian tentang sifat SPR nanopartikel Fe_3O_4 /Kitosan menggunakan metode sintesis hijau. Pengamatan fenomena SPR menunjukkan kurva SPR mengalami pergeseran sudut ke nilai yang lebih besar dengan meningkatnya konsentrasi kitosan. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan kitosan dalam nanopartikel Fe_3O_4 dapat meningkatkan sifat SPR, yang berpotensi untuk aplikasi biosensor berbasis SPR.

Wahyuni *et al.*, (2023) melakukan penelitian untuk mengamati sifat *Localized surface plasmon resonance biosensing by electro-optic* nanopartikel komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ menggunakan metode sintesis hijau. Pengamatan fenomena SPR menunjukkan pergeseran sudut LSPR ke nilai yang lebih besar dengan meningkatnya konsentrasi Ag pada Fe_3O_4 . Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ berpotensi meningkatkan kinerja sensor SPR.

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat diketahui bahwa pada masa mendatang teknologi biosensor berbasis SPR sangat berpotensi untuk dikembangkan menjadi bioteknologi. Pada penelitian ini, dilakukan sintesis untuk mengetahui pengaruh penambahan Ag terhadap struktur kristal dan sifat optik Fe_3O_4 , serta variasi massa nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ terhadap karakteristik kurva SPR. Metode sintesis yang digunakan adalah sintesis hijau menggunakan ekstrak MO. Pada penelitian ini, dilakukan karakterisasi *X-Ray Diffractometer* (XRD) untuk mengetahui pengaruh penambahan Ag terhadap struktur kristal Fe_3O_4 , *Ultraviolet-visible* (UV-Vis) untuk mengetahui pengaruh penambahan Ag terhadap sifat optik Fe_3O_4 . Karakteristik kurva SPR dikaji pada sistem prisma/Au Thin Film/ $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ /udara dengan variasi massa $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ (0,025; 0,05; 0,075; dan 0,1) gram.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan Ag terhadap struktur kristal Fe_3O_4 ?
2. Bagaimana pengaruh penambahan Ag terhadap sifat optik Fe_3O_4 ?
3. Bagaimana pengaruh variasi massa nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ terhadap karakteristik kurva SPR?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh penambahan Ag terhadap struktur kristal Fe_3O_4 .
2. Mengetahui pengaruh penambahan Ag terhadap sifat optik Fe_3O_4 .
3. Memahami pengaruh variasi massa nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ terhadap karakteristik kurva SPR.

1.4 Batasan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Metode sintesis yang digunakan adalah sintesis hijau menggunakan Moringa Oleifera (MO).
2. Karakterisasi yang digunakan adalah XRD dan UV-Vis.
3. Penelitian ini hanya terbatas pada sistem prisma/Au Thin Film/ $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}/\text{udara}$ dalam konfigurasi Kretschmann.
4. Variasi massa nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ yaitu 0,025; 0,05; 0,075; dan 0,1 gram.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi tentang karakteristik bahan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ yang dapat digunakan dalam aplikasi biosensor SPR.

2. Memberikan informasi tentang pengaruh variasi massa Fe₃O₄/Ag terhadap kurva SPR.
3. Hasil penelitian diharapkan dapat dijadikan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya dalam upaya pengembangan teknologi biosensor.
4. Sebagai tambahan referensi di Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Lampung.

II. TINJAUAN PUSTAKA

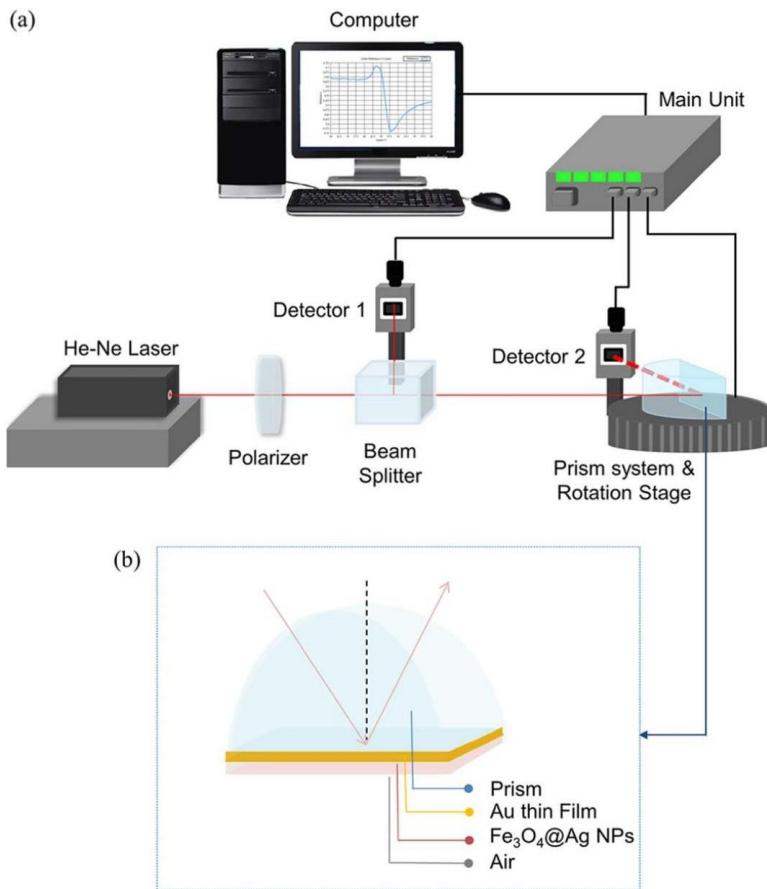
2.1 *Surface Plasmon Resonance (SPR)*

Pada tahun 1902, Wood melakukan pengamatan pertama terhadap fenomena *Surface Plasmon* (SP). Dalam eksperimennya, Wood menyinari kisi difraksi logam dengan cahaya polikromatik dan melihat adanya pita gelap sempit dalam spektrum cahaya yang terdifraksi. Pita-pita gelap ini yang disebut sebagai “anomaly Wood”, menjadi tanda awal dari fenomena *Surface Plasmon Resonance* (SPR). Anomali ini terjadi karena eksitasi gelombang elektromagnetik pada permukaan logam, yang menyebabkan osilasi elektron kolektif di permukaan tersebut. Pengamatan Wood merupakan langkah penting dalam perkembangan studi mengenai interaksi antara cahaya dan permukaan logam, yang kemudian menjadi dasar bagi teknologi SPR yang kita kenal saat ini (Homola, 2006).

SPR adalah fenomena yang terjadi ketika gelombang elektromagnetik berinteraksi dengan elektron bebas pada permukaan logam, menghasilkan resonansi yang sensitif terhadap perubahan indeks bias di sekitarnya. Dalam sensor SPR, SP tereksitasi pada permukaan antara lapisan logam dan medium dielektrik (*superstrate*). Perubahan indeks bias medium dielektrik ini, yang bisa disebabkan oleh interaksi molekul di sekitar permukaan, menyebabkan pergeseran dalam sudut resonansi. Pergeseran ini kemudian dapat diukur, yang memungkinkan sensor SPR untuk mendeteksi dan menganalisis perubahan tersebut secara *real-time* dan dengan sensitivitas tinggi (Homola, 2006).

Konsep ini menjadi dasar pengembangan berbagai sensor SPR yang digunakan dalam bidang biosensor khususnya dalam mendeteksi interaksi biomolekul seperti antigen-antibodi, interaksi DNA, diagnosis medis, dan berbagai aplikasi lainnya (Homola, 2006).

Pengaturan spektroskopi SPR dan konfigurasi Kretschmann dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 (a) Pengaturan Spektroskopi SPR dan (b) Konfigurasi Kretschmann (Panre *et al.*, 2021).

Sudut SPR adalah sudut kritis di mana terjadi resonansi antara gelombang cahaya datang dan elektron di permukaan logam, yang menyebabkan penurunan intensitas cahaya yang dipantulkan. Fenomena ini terjadi ketika cahaya melewati material dengan indeks bias tinggi (seperti kaca atau prisma) menuju material dengan indeks bias lebih rendah (seperti udara atau cairan), kemudian sebagian sinar akan dipantulkan dari batas antara kedua material (Tudos *and* Schasfoort, 2008).

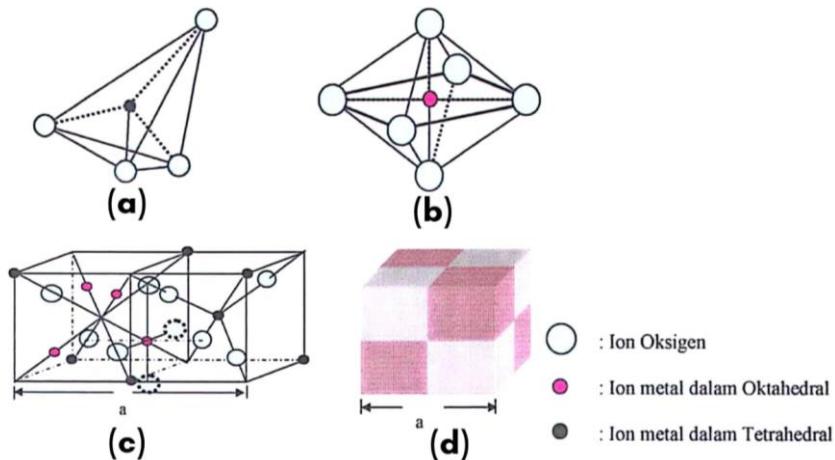
Jika sudut datang lebih besar dari sudut kritis, terjadi *Internal Total Reflection* (ITR) yaitu pemantulan sempurna dimana hampir semua berkas sinar dipantulkan. Namun, ketika permukaan prisma dilapisi dengan lapisan logam tipis, seperti emas atau perak, sinar datang tidak lagi sepenuhnya dipantulkan, karena sebagian sinar diserap oleh lapisan logam tipis logam. Serapan ini memicu resonansi antara medan

elektromagnetik cahaya dan elektron bebas di permukaan logam, yang disebut plasmon permukaan. Ketika sudut datang lebih besar daripada sudut kritis maka terjadi pengurangan intensitas sinar terpantul sehingga intensitas sinar terpantul menjadi minimum. Sudut inilah yang kemudian disebut sebagai sudut SPR (θ_{SPR}). Sudut ini ditentukan oleh beberapa faktor, termasuk sifat material logam, panjang gelombang cahaya, dan indeks bias medium di dekat permukaan logam. Pergeseran sudut SPR mencerminkan perubahan lingkungan, seperti adanya molekul yang terikat pada permukaan logam, yang menjadikannya alat deteksi sensitif untuk mempelajari interaksi molekuler tanpa pelabelan (Tudos and Schasfoort, 2008).

2.2 Nanopartikel Fe₃O₄ dan Ag

Nanopartikel Fe₃O₄ (magnetit) merupakan partikel magnetik berukuran nano yang memiliki banyak aplikasi dalam biosensor karena memiliki stabilitas kimia yang baik, sifat magnetik yang kuat, sehingga sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan. Dalam ukuran nano, partikel ini menunjukkan sifat uniknya karena dominasi sifat magnetik akibat domain tunggal di dalamnya. Fe₃O₄ dapat dimodifikasi permukaannya untuk meningkatkan biokompatibilitas dan fungsionalisasi, memungkinkan penggunaannya dalam deteksi sebuah molekul target (Darton *et al.*, 2019).

Nanopartikel Fe₃O₄ (magnetit) mempunyai struktur spinel, dimana atom-atom oksigen yang lebih besar membentuk struktur kubik, sedangkan atom Fe yang lebih kecil mengisi situs tetrahedral dan oktahedral. Pada situs tetrahedral, atom Fe dikelilingi oleh 4 atom oksigen, sedangkan pada situs oktahedral atom Fe dikelilingi oleh 6 atom oksigen. Magnetit tergolong ke dalam *Space Group* no. 227 (Fd -3m) dengan parameter kisi ($a = b = c = 8,3122 \text{ \AA}$) dan sudut ($\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$) seperti pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Struktur kristal Fe_3O_4 (a) posisi atom dalam kristal tetrahedral (b) posisi atom dalam kristal oktahederal (c) gabungan tetrahederal dan oktahederal (d) kubus spinel (Cullity and Graham, 2009).

Sifat magnetik yang kuat berasal dari adanya interaksi spin antara ion Fe^{2+} dan Fe^{3+} di dalam kisi kristal Fe_3O_4 , yang menghasilkan magnetisasi spontan. Fe_3O_4 dikenal sebagai bahan ferromagnetik, yang artinya material ini dapat mengalami magnetisasi kuat ketika dikenakan medan magnet eksternal dan mampu mempertahankan magnetisasinya setelah medan dihilangkan. Fe_3O_4 mempunyai sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan medan magnet. Hal ini dimanfaatkan dalam berbagai alat deteksi molekul, termasuk sensor SPR untuk analisis interaksi biomolekul. Ketika medan magnet diterapkan, interaksi antara medan elektromagnetik cahaya dan elektron di permukaan logam dapat dimodifikasi, yang memungkinkan deteksi perubahan lingkungan dengan sangat presisi (Nguyen *et al.*, 2021).

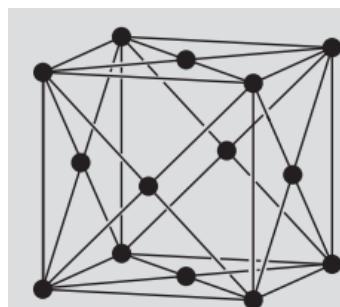
Selain sifat magnetik, Fe_3O_4 juga memiliki kemampuan untuk dilapisi dengan berbagai bahan seperti polimer atau biomolekul. Pelapisan ini memungkinkan modifikasi fungsionalitas nanopartikel sehingga dapat berinteraksi secara spesifik dengan target molekul. Lapisan ini dapat meningkatkan kemampuannya dalam mendeteksi molekul target sehingga meningkatkan sensitivitas deteksi, menjadikannya sebagai alat deteksi yang efisien, terutama dalam suatu aplikasi biosensor (Yang *et al.*, 2017).

Salah satu sifat penting dari Fe_3O_4 dalam aplikasi ini adalah permeabilitas magnetiknya, yang berubah berdasarkan frekuensi. Permeabilitas ini sangat sensitif pada rentang gelombang mikro, di mana resonansi magnetik dapat terjadi, serta

nanopartikel Fe_3O_4 memengaruhi indeks bias di permukaan tempat interaksi resonansi terjadi. Pelapisan nanopartikel pada lapisan tipis emas dapat dilakukan dengan teknik *spray* yang memungkinkan deposisi nanopartikel pada lapisan tipis secara presisi. Dengan adanya nanopartikel Fe_3O_4 menyebabkan terjadinya perubahan indeks bias pada bidang batas ditandai dengan adanya pergeseran kurva *Attenuated Total Reflection* (ATR). Perubahan konfigurasi berupa ketebalan lapisan nanopartikel juga dapat menyebabkan pergeseran sudut SPR (Putra *et al.*, 2021).

Nanopartikel Ag memiliki sifat plasmonik yang unik, terutama kemampuan untuk menghasilkan *localized surface plasmon resonance biosensing* (LSPR). LSPR terjadi ketika nanopartikel Ag terpapar cahaya dengan panjang gelombang tertentu, menyebabkan osilasi kolektif dari elektron bebas di permukaan nanopartikel sehingga menghasilkan peningkatan medan elektromagnetik di sekitar nanopartikel yang sangat sensitif terhadap perubahan indeks bias di sekitarnya. Perubahan dalam indeks bias di sekitar nanopartikel dapat menyebabkan pergeseran dalam spektrum LSPR. Ini membuat nanopartikel perak sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan, yang berguna untuk aplikasi biosensor. Sensor berbasis nanopartikel Ag menunjukkan sensitivitas tinggi dan kemampuan untuk mendeteksi target biomolekuler pada konsentrasi yang sangat rendah. Keunggulan ini menjadikan nanopartikel Ag sebagai komponen kunci dalam pengembangan sensor untuk aplikasi medis, lingkungan, dan keamanan pangan (Loiseau *et al.*, 2019).

Nanopartikel perak Ag memiliki struktur kristal yang umumnya berbentuk *face-centered cubic* (FCC) seperti pada **Gambar 2.3**. Struktur ini ditandai dengan bidang kristalografi seperti (111), (200), (220), dan (311) (Oktaviani *et al.*, 2015).



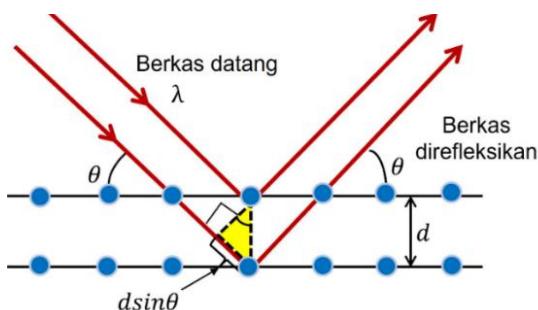
Gambar 2.3 *Face-centered cubic* (Kittel, 2005).

2.3 Karakterisasi Nanopartikel

2.3.1 X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan teknik penting yang digunakan untuk menganalisis struktur kristal dari material dengan cara mempelajari pola difraksi yang dihasilkan. Ketika sampel terpapar sinar-X yang memiliki energi tinggi, maka elektron-elektron pada kulit atomnya akan menyerap energi tersebut. Tetapi, jika energi paparan sinar-X tidak cukup untuk melepaskan elektron-elektron dari lintasannya, maka elektron-elektron ini akan menghamburkan kembali sinar-X dengan besaran energi yang sama (Setianingsih *et al.*, 2018).

Ilustrasi difraksi pada bidang kristal dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Ilustrasi difraksi pada bidang kristal (Cullity, 1956).

Prinsip dasar yang mendasari teknik XRD yaitu hukum Bragg. Hukum Bragg menghubungkan panjang gelombang sinar-X dengan sudut difraksi dan jarak antar bidang atom dalam kristal. Berdasarkan hukum Bragg, spektrum difraksi yang dihasilkan dapat dianalisis untuk menentukan parameter kristalografi material (Setianingsih *et al.*, 2018).

Syarat terjadinya difraksi harus memenuhi hukum Bragg, seperti pada Persamaan (2.1).

Dengan d adalah jarak antar bidang atom dalam kristal (\AA), λ adalah panjang gelombang sinar-X, dan θ adalah sudut difraksi yang menggambarkan posisi puncak (Gautreau and Savin, 1999).

Komponen dari XRD berupa sumber sinar-X, kolimator, sampel, dan detektor. Sumber sinar-X biasanya terdiri dari tabung sinar-X yang menggunakan elektroda logam yang saat terkena elektron berkecepatan tinggi, memancarkan sinar-X dengan panjang gelombang bergantung pada bahan targetnya. Kolimator berfungsi mengarahkan dan menyempitkan sinar-X menjadi berkas paralel. Kolimator adalah perangkat yang digunakan untuk membentuk berkas sinar-X menjadi lebih fokus dan sejajar, sehingga hanya sinar dengan sudut tertentu yang dapat mencapai sampel. Sampel yang dianalisis, biasanya berupa material padatan halus, ditempatkan pada pemegang sampel (*sample holder*) dan diposisikan sedemikian rupa sehingga berkas sinar-X dapat mengenai permukaannya dari berbagai sudut. Detektor berfungsi mengolah data difraksi yang dapat menentukan struktur kristal. Data dari detektor diolah menggunakan perangkat lunak khusus untuk menghasilkan pola difraksi. Pola ini kemudian dianalisis untuk menentukan struktur kristal, mengidentifikasi fase material, parameter kisi, ukuran kristalit, dan informasi kristalografi lainnya (Yusuf *et al.*, 2024).

Difraksi sinar-X dapat menentukan ukuran kristal dengan fase tertentu. Ukuran kristal ditentukan melalui puncak-puncak utama pada pola difraktrogram melalui pendekatan persamaan *Debye Scherrer* seperti pada Persamaan (2.2).

Dengan D adalah ukuran kristal, k adalah faktor bentuk kristal (0,9-1), λ adalah panjang gelombang sinar-X (0,15406 Å), β adalah nilai *Full Width at Half Maximum* (derajat), dan θ adalah sudut difraksi (derajat).

Persamaan *Debye Scherrer* menjelaskan bahwa nilai ukuran kristal yang dihasilkan berbanding terbalik dengan nilai FWHM, sedangkan nilai FWHM dipengaruhi oleh intensitas masing-masing bidang kristal. Saat intensitas semakin tinggi, maka nilai FWHM akan semakin kecil (Masruroh *et al.*, 2013).

2.3.2 Spektroskopi *Ultraviolet-Visible* (UV-Vis)

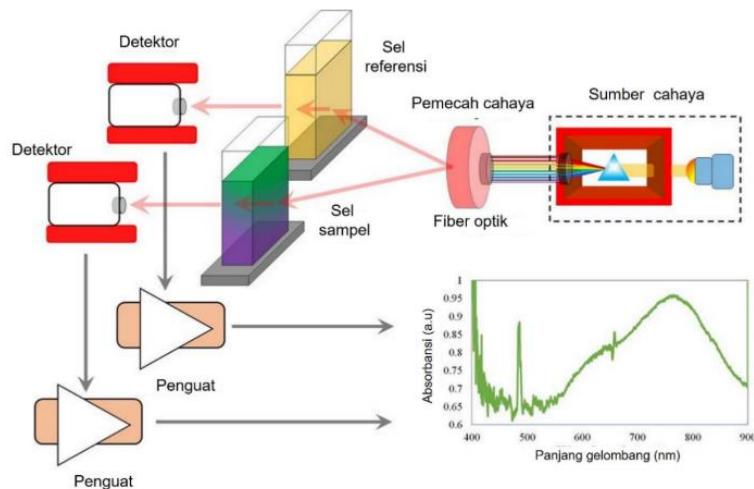
Spektroskopi UV-Vis merupakan teknik analisis yang digunakan untuk mengukur absorbansi cahaya dalam rentang panjang gelombang ultraviolet (UV) dan *visible* (Vis), yakni spektrum gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 210 nm sampai 900 nm. Pada spektroskopi UV-Vis, cahaya disorotkan pada sebuah material (padat, cair, atau gas) dan spektrum cahaya yang ditransmisikan dibandingkan dengan spektrum cahaya yang digunakan. Hal ini dilakukan karena interaksi cahaya dengan suatu material akan sangat beragam, mulai dari pemantulan (refleksi), hamburan, serapan (adsorpsi), pembiasan, transmisi, dan polarisasi. Jika material menyerap (absorpsi) cahaya, maka dapat terjadi perubahan gerakan muatan di dalam material tersebut. Absorpsi radiasi gelombang elektromagnetik pada rentang UV-Vis dengan transisi antar tingkat energi elektron. Transisi yang paling mungkin terjadi adalah dari *highest occupied molecular orbital* (HOMO) ke *lowest occupied orbital molecular* (LOMO) (Sani, 2019).

Prinsip dasar spektroskopi UV-Vis melibatkan transisi elektron dari tingkat energi dasar ke tingkat energi yang lebih tinggi ketika molekul menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu. Spektrum yang dihasilkan mencerminkan pola absorpsi molekul dan dapat dianalisis untuk mengidentifikasi zat atau mengukur konsentrasi zatnya. Dalam spektroskopi UV-Vis, energi yang bersesuaian dengan daerah UV-Vis yang diserap oleh molekul dapat menyebabkan transisi-transisi elektron dari keadaan dasar ke berbagai keadaan eksitasi (Rohman *et al.*, 2023).

Komponen dari UV-Vis berupa sumber cahaya, monokromator, kuvet (wadah sampel), dan detektor. Sumber cahaya berfungsi menghasilkan cahaya UV-Vis yang diperlukan untuk analisis. Monokromator berfungsi memilih panjang gelombang cahaya tertentu dari spektrum yang dihasilkan oleh sumber cahaya. Monokromator berfungsi untuk memisahkan cahaya putih (yang mengandung berbagai panjang gelombang) menjadi panjang gelombang tunggal yang diinginkan menggunakan kisi difraksi (prisma). Panjang gelombang yang dipilih oleh monokromator ini akan diarahkan ke sampel untuk analisis. Kuvet berfungsi untuk menampung sampel yang akan dianalisis. Kuvet biasanya terbuat dari kuarsa (untuk analisis di wilayah UV) atau kaca (untuk analisis di wilayah tampak). Kuvet harus bersifat transparan

terhadap cahaya UV-Vis, sehingga cahaya dapat melewati sampel di dalam kuvet tanpa terhalang. Kuvet ditempatkan pada jalur optik antara monokromator dan detektor. Detektor berfungsi mengukur intensitas cahaya yang telah melewati sampel dan mengubahnya menjadi sinyal listrik (Sunandar, 2024).

Skematik spektrofotometer UV-Vis dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Skematik Spektrofotometer UV-Vis (Gandomi *et al.*, 2018).

2.4 Sintesis Hijau (*Green Synthesis*)

Nanopartikel dapat disintesis dengan tiga cara yaitu: fisika, kimia, dan biologis. Umumnya cara yang digunakan untuk sintesis nanopartikel adalah metode fisika dan kimia. Akan tetapi, terdapat kekurangan dari masing-masing metode ini. Metode fisika memerlukan waktu yang lebih banyak untuk mencapai stabilitas termal, memerlukan banyak energi, dan menempati ruang yang besar jika terjadi pembakaran. Metode kimia pada umumnya menggunakan zat pereduksi yang keras seperti natrium borohidrida, natrium sitrat, dan pelarut organik. Reagen kimia ini menimbulkan masalah toksitas dan masalah lingkungan. Sehingga metode biologis lebih disukai dalam sintesis nanopartikel. Sintesis nanopartikel dengan metode biologis dapat dilakukan menggunakan bakteri, jamur, alga, tanaman, dan limbah pertanian. Nanopartikel dapat disintesis melalui teknologi hijau menggunakan ekstrak tumbuhan dan limbah pertanian yang hemat biaya, ramah

lingkungan, dan mudah ditangani (Nurhidayati *et al.*, 2023).

Salah satu tanaman yang paling banyak digunakan untuk sintesis hijau nanopartikel Fe_3O_4 adalah Moringa oleifera (MO) (Mabarroh *et al.*, 2022). Ekstrak MO mengandung senyawa fenolik dan flavonoid, mengandung gugus hidroksil (-OH) (Vongsak *et al.*, 2013). Larutan ekstrak MO mengurangi jumlah pereaksi kimia NH_4OH yang diperlukan untuk memasok gugus hidroksil (Mabarroh *et al.*, 2022). Pendekatan ini mengurangi sebagian penggunaan reagen kimia, seperti ammonium hidroksida (NH_4OH), yang biasa digunakan dalam proses pengendapan, sehingga penggunaan bahan tanaman dalam sintesis nanopartikel menjadi metode sintesis hijau. Pembentukan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ dibagi menjadi 4 tahap, yaitu pembentukan nanopartikel Fe_3O_4 , Ag, $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{APTMS}$, dan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$ (Jain and Mehata, 2017).

2.5 Penelitian Terkait

Penelitian terkait dengan *surface plasmon resonance* (SPR) telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti, masing-masing memiliki karakteristik dan tujuan yang berbeda. Beberapa diantaranya digunakan sebagai dasar untuk membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

Adrianto *et al.*, (2022) melakukan penelitian sifat *Localized surface plasmon resonance* (LSPR) nanopartikel Ag menggunakan metode sintesis hijau. Pada penelitian ini, sifat LSPR dikaji setelah penambahan polivinilpirolidon (PVP) pada sintesis hijau nanopartikel Ag dan perak-polivinilpirolidon menggunakan ekstrak Moringa Oleifera (MO) dengan variasi konsentrasi PVP (1,70, 2,55, dan 4,25 ppm). Hasil karakterisasi menggunakan *Transmission Electron Microscopy* (TEM) menunjukkan nanopartikel Ag berbentuk bulat, memiliki struktur kristal *face centered cubic* (FCC), tersebar dengan ukuran rata-rata 22 nm, dan terjadi penurunan ukuran nanopartikel menjadi 20, 19, 15 nm akibat peningkatan konsentrasi PVP. PVP berperan penting dalam pengaturan ukuran kristal; semakin tinggi konsentrasi PVP, semakin sempit distribusi ukuran partikel. Hasil spektroskopi UV-Vis menunjukkan pita LSPR pada 326 nm bergeser menjadi 325,

323 dan 321 nm seiring dengan peningkatan konsentrasi PVP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pergeseran sudut LSPR ke arah sudut datang yang lebih besar karena Ag-PVP. Peningkatan konsentrasi PVP menyebabkan pergeseran besar pada sudut LSPR karena perubahan ukuran dan ketebalan lapisan PVP, yang mengubah konstanta dielektrik nanopartikel. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan PVP dapat membantu mengontrol sifat struktur mikro dan LSPR dari nanopartikel Ag-PVP hasil sintesis hijau dan berpotensi mengoptimalkan kinerja sensor berbasis SPR di masa mendatang.

Cuana *et al.*, (2022) melakukan penelitian sifat SPR nanopartikel Fe₃O₄/Kitosan menggunakan metode sintesis hijau. Pada penelitian ini, sifat SPR dikaji setelah penambahan kitosan pada sintesis hijau nanopartikel Fe₃O₄/Kitosan menggunakan ekstrak MO dengan variasi konsentrasi kitosan (20, 33, 43, dan 50%). Hasil karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD) menunjukkan nanopartikel yang dihasilkan memiliki struktur kristal *cubic inverse spinel* dan terjadi peningkatan ukuran kristalit akibat penambahan kitosan pada sintesis hijau Fe₃O₄ yaitu dari 7,2 nm menjadi 7,8 nm. Hasil spektroskopi UV-Vis menunjukkan pergeseran puncak serapan khas Fe₃O₄/Kitosan ke daerah panjang gelombang yang lebih besar dengan meningkatnya konsentrasi kitosan. Pengamatan fenomena SPR menunjukkan kurva SPR mengalami pergeseran sudut ke nilai yang lebih besar dengan meningkatnya konsentrasi kitosan. Nilai sudut SPR bergeser dari 0,17° menjadi 1,91°. Kitosan yang menutupi permukaan nanopartikel Fe₃O₄ menyebabkan indeks bias berubah sehingga meningkatkan pergeseran sudut SPR. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sifat SPR dari nanopartikel Fe₃O₄ meningkat secara signifikan melalui modifikasi dengan kitosan. Hasil ini juga menunjukkan bahwa penggunaan kitosan dalam nanopartikel Fe₃O₄ dapat meningkatkan sifat SPR, yang berpotensi untuk aplikasi biosensor berbasis SPR.

Wahyuni *et al.*, (2023) melakukan penelitian untuk mengamati sifat *Localized surface plasmon resonance biosensing by electro-optic* nanopartikel komposit Fe₃O₄/Ag menggunakan metode sintesis hijau. Pada penelitian ini, sifat SPR dikaji setelah penambahan Ag pada sintesis hijau nanopartikel komposit Fe₃O₄/Ag menggunakan ekstrak MO dengan konsentrasi AgNO₃ (20, 40, 60 mM). Hasil karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan penambahan konsentrasi Ag dapat

menyebabkan ukuran kristal bertambah. Peningkatan ukuran kristal Fe_3O_4 disebabkan oleh adanya proses pemanasan pada saat proses modifikasi dan mengindikasikan bahwa permukaan nanopartikel Fe_3O_4 hasil darisintesis hijau telah berhasil dimodifikasi dengan Ag. Hasil spektroskopi UV-Vis menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi Ag menyebabkan pergeseran puncak serapan khas Fe_3O_4 ke daerah panjang gelombang yang lebih besar. Pengamatan fenomena SPR menunjukkan pergeseran sudut LSPR ke nilai yang lebih besar dengan meningkatnya konsentrasi Ag pada Fe_3O_4 .

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika Material dan Instrumentasi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, yang bertempat di komplek FMIPA Sekip Utara Bls 21, Yogyakarta dan Laboratorium Fisika Universitas Ahmad Dahlan, yang bertempat di Jl. Ahmad Yani (Ringroad Selatan) Tamanan Banguntapan Bantul, Yogyakarta, pada bulan Juli-Desember 2024.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat-alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam melaksanakan penelitian ini adalah gelas ukur, gelas beaker, labu erlenmeyer, spatula besi, *hot plate/magnetic stirrer*, kertas whatman, pipet tetes, neraca analitik, lemari pendingin, *furnace*, *ultrasonic cleaner*, thermometer, meja magnet, prisma, laser merah (He-Ne) dengan panjang gelombang $\lambda = 623,8$ nm.

3.2.2 Bahan-Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah serbuk MO, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, Fe_3O_4 NPs, (3-Aminopropyl) triethoxysilane (APTMS), etanol, AgNO_3 , aquades, NH_4OH , Au, alkohol 70%.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian diawali dengan pembuatan sampel lalu dilakukan karakterisasi menggunakan XRD dan UV-Vis. Setelah itu, dilakukan pengamatan fenomena SPR.

3.3.1 Pembuatan Sampel

3.3.1.1 Pembuatan Larutan MO

Prosedur pembuatan larutan MO adalah:

1. Serbuk MO ditimbang sebanyak 5 gram
2. Aquades sebanyak 60 ml dipanaskan menggunakan *hot plate* pada suhu 100°C hingga mencapai suhu 60°C.
3. Serbuk MO dimasukkan ke dalam aquades dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam dengan kecepatan 600 rpm pada suhu 100°C. Suhu campuran larutan MO dijaga stabil pada suhu 60°C, *set timer* selama 1 jam.
4. Setelah 1 jam, *stirrer* dimatikan dan ditunggu hingga larutan mencapai suhu 30°C.
5. Larutan MO disaring menggunakan kertas whatman No. 1, diperoleh larutan MO 30 ml.
6. Larutan MO disimpan dalam wadah erlenmeyer yang ditutup menggunakan *plastic wrapping*.

3.3.1.2 Sintesis Hijau Fe₃O₄ NPs

Prosedur sintesis hijau Fe₃O₄ NPs adalah:

1. FeCl₃.6H₂O ditimbang sebanyak 4,054 gram dan FeSO₄.7H₂O ditimbang sebanyak 2,086 gram.
2. 7,5 ml aquades ditambahkan ke dalam masing-masing sampel dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit dengan kecepatan 600 rpm.

3. 18 ml aquades dicampur ke dalam 12 ml NH₄OH sehingga diperoleh 30 ml larutan NH₄OH (10%).
4. Larutan FeCl₃.6H₂O dan FeSO₄.7H₂O dicampurkan, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 100°C dengan kecepatan 600 rpm hingga mencapai suhu 60°C. Lalu, diaduk kembali selama 15 menit, suhu dijaga tetap stabil pada suhu 60°C.
5. 10 ml MO dimasukkan dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 60°C dengan kecepatan 600 rpm selama 30 menit.
6. Larutan NH₄OH diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 60°C dengan kecepatan 600 rpm selama 15 menit.
7. Larutan NH₄OH dititrasi ke dalam campuran larutan MO dan FeCl₃.6H₂O dan FeSO₄.7H₂O pada suhu 60°C dan dengan kecepatan 600 rpm sebanyak 30 ml selama 90 menit.
8. Larutan didiamkan sampai mencapai suhu 35°C.
9. Dilakukan pencucian sebanyak 7 kali masing-masing selama 15 menit
 - 250 ml aquades dituangkan ke dalam endapan larutan, diletakkan pada meja magnet, didiamkan selama 15 menit sampai ada endapan.
 - Air dibuang.
10. Dilakukan pemanasan menggunakan *furnace* pada suhu 100°C selama 2 jam.
11. Nanopartikel Fe₃O₄ digerus dan ditimbang.

3.3.1.3 Sintesis Hijau Fe₃O₄/APTMS (3-Aminopropyl) trimethoxysilane (silika termodifikasi)

Prosedur sintesis hijau Fe₃O₄/APTMS adalah:

1. Fe₃O₄ ditimbang sebanyak 0,5 gram.
2. Fe₃O₄ ditambahkan 12 ml APTMS, 12 ml NH₄OH, 200 ml etanol, dan dilakukan sonifikasi selama 90 menit pada suhu 27°C.
3. Larutan diendapkan menggunakan meja magnet.
4. Pencucian dilakukan sebanyak 3 kali masing-masing selama 15 menit.
 - a. Larutan diletakkan di atas meja magnet dan didiamkan selama 15 menit.
 - Air dibuang (meja magnet tetap pada bagian bawah).

- b. Etanol 96% ditambahkan sebanyak 20 ml, diletakkan pada meja magnet, didiamkan selama 15 menit.
 - Air dibuang.
 - c. Langkah b diulangi.
- 5. Dilakukan pemanasan menggunakan *furnace* pada suhu 70°C selama 2 jam.
- 6. Nanopartikel Fe₃O₄/APTMS digerus dan ditimbang.

3.3.1.4 Sintesis Hijau Ag

Prosedur sintesis hijau Ag pada adalah:

1. AgNO₃ ditimbang sebanyak 1,36 gram
2. AgNO₃ ditambah 70 ml aquades, diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam dengan kecepatan 450 rpm. Setelah 1 jam, suhu dinaikkan ke 60°C.
3. Larutan MO 10 ml diteteskan ke dalam larutan AgNO₃ selama 30 menit.
4. Campuran larutan diaduk selama 30 menit dengan kecepatan 450 rpm pada suhu ruang dan diperoleh larutan AgMO.

3.3.1.5 Sintesis Hijau Fe₃O₄/Ag

Prosedur sintesis hijau Fe₃O₄/Ag adalah:

1. 80 ml AgMO, 100 ml ethanol 96% dan 0,4 gram Fe₃O₄/APTMS dicampurkan
2. Campuran larutan diaduk selama 4jam pada suhu ruang dengan kecepatan 600 rpm.
3. Pengendapan dilakukan menggunakan meja magnet selama 30 menit.
4. Pencucian dilakukan sebanyak 2 kali masing-masing selama 30 menit.
 - Setelah air dibuang, 200 ml ethanol dituang, diletakkan pada meja magnet, air dibuang.
 - Ethanol 200 ml ditambahkan, diletakkan pada meja magnet, air dibuang.
5. Pemanasan menggunakan *furnace* 60°C dilakukan selama 2 jam.
6. Nanokomposit Fe₃O₄/Ag digerus dan ditimbang.

3.3.2 Karakterisasi Sampel

3.3.2.1 *X-Ray Diffraction (XRD)*

Karakterisasi menggunakan XRD merek Shimadzu XD-3H untuk menentukan ukuran kristalit dan menganalisis struktur kristal sampel. Program *Materials Analysis Using Diffraction* (MAUD) digunakan untuk menganalisis spektrum XRD menggunakan metode penyempurnaan Rietveld. Kemudian diolah menggunakan software Origin sehingga diperoleh kurva XRD. Ukuran kristalit dari nanopartikel Fe₃O₄ dan nanokomposit Fe₃O₄/Ag dihitung menggunakan persamaan *Debye-Scherrer*.

3.3.2.2 *Ultraviolet-Visible (UV-Vis)*

Karakterisasi menggunakan UV-Vis bertujuan untuk mengetahui spektrum absorbansi sampel Fe₃O₄ dan Fe₃O₄/Ag. Analisis data menggunakan *software* Origin sehingga diperoleh nilai spektrum absorbansi sampel Fe₃O₄ dan Fe₃O₄/Ag.

3.3.3 Pengamatan Fenomena SPR

3.3.3.1 Pencucian Prisma

Prosedur pencucian prisma adalah:

1. Prisma dimasukkan ke dalam gelas beker.
2. Aseton dituangkan ke dalam gelas beker sampai menutupi prisma.
3. Sonifikasi selama 15 menit menggunakan *ultrasonic cleaner*, lalu larutan aseton dibuang.
4. Alkohol dituang ke dalam gelas beker sampai menutupi prisma.
5. Sonifikasi selama 15 menit menggunakan *ultrasonic cleaner*, lalu larutan alkohol dibuang.
6. Aquades dituang ke dalam gelas beker sampai menutupi prisma.
7. Sonifikasi selama 15 menit menggunakan *ultrasonic cleaner*.

8. Larutan aquades dibuang.
9. Prisma dikeringkan menggunakan *hair dryer*.

3.3.3.2 Deposisi Lapisan Emas (Au) pada Prisma

Penelitian ini menggunakan empat prisma, masing-masing dilapisi emas pada permukaannya menggunakan *vacuum evaporator* di Laboratorium Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta. Setiap prisma dideposisikan dengan emas seberat 0,025 gram, sehingga total massa emas yang digunakan adalah 0,1 gram.

3.3.3.3 Deposisi Nanokomposit Fe₃O₄/Ag

Prosedur deposisi nanokomposit Fe₃O₄/Ag pada permukaan sistem Prisma/Au adalah:

1. Nanokomposit Fe₃O₄/Ag ditimbang dengan variasi massa 0,025 gram; 0,05 gram; 0,075 gram; 0,1 gram dan dimasukkan ke dalam masing-masing gelas beker.
2. Alkohol 70% sebanyak 5 ml ditambahkan ke dalam masing-masing variasi massa nanokomposit Fe₃O₄/Ag.
3. Larutan disonifikasi selama 30 menit.
4. Larutan dimasukkan ke dalam botol *spray*.
5. Larutan dideposisi ke prisma berlapis Au menggunakan metode *spray*.

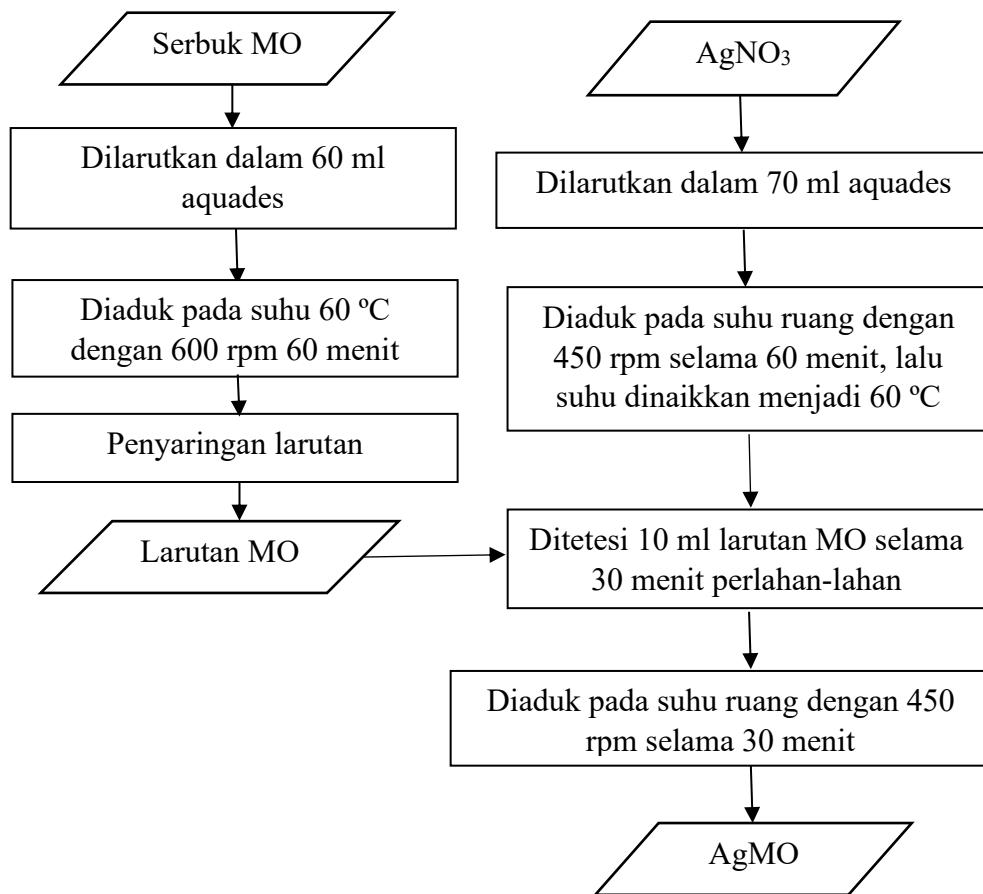
Prisma berlapis Au yang dideposisi Fe₃O₄/Ag akan menjadi sistem empat lapisan, yaitu prisma/Au Thin Film/Fe₃O₄/Ag/udara. Deposisi nanokomposit Fe₃O₄/Ag pada permukaan prisma berlapis Au menggunakan 4 prisma yang berbeda untuk masing-masing variasi massa.

3.3.3.5 Pengambilan Data *Surface Plasmon Resonance (SPR)*

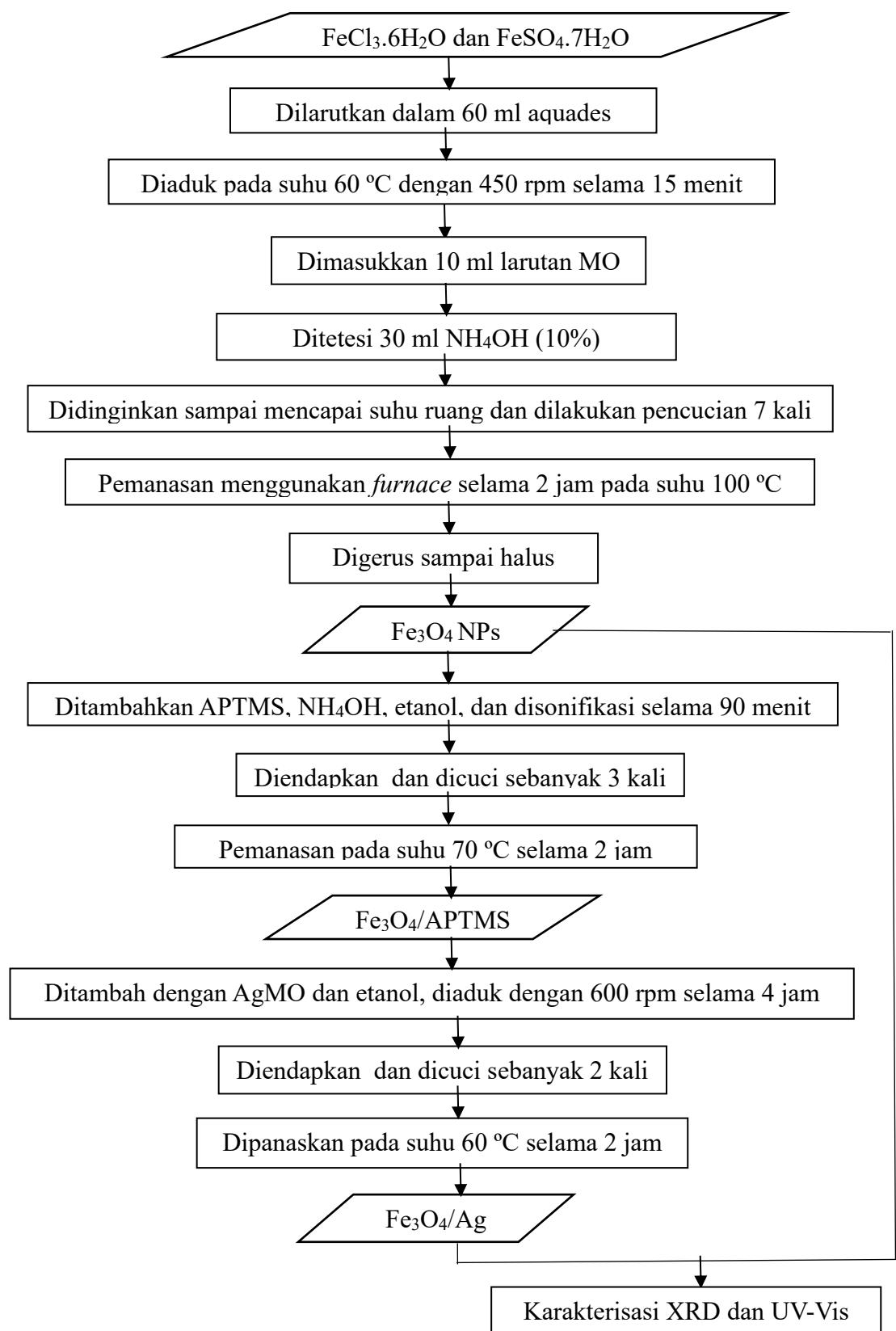
Pengamatan fenomena SPR dilakukan menggunakan metode *Attenuated Total Reflection* (ATR) dengan konfigurasi Kretschmann. Pada pengamatan ini akan diketahui adanya fenomena SPR yang ditandai dengan pergeseran sudut SPR yang terjadi akibat penambahan Fe₃O₄/Ag pada . Pengamatan fenomena SPR dilakukan pada sistem prisma/Au Thin Film/Fe₃O₄/Ag/udara pada masing-masing variasi massa Fe₃O₄/Ag. Pengambilan data dilakukan dengan variasi sudut datang dari 34° hingga 54°.

3.4 Diagram Alir

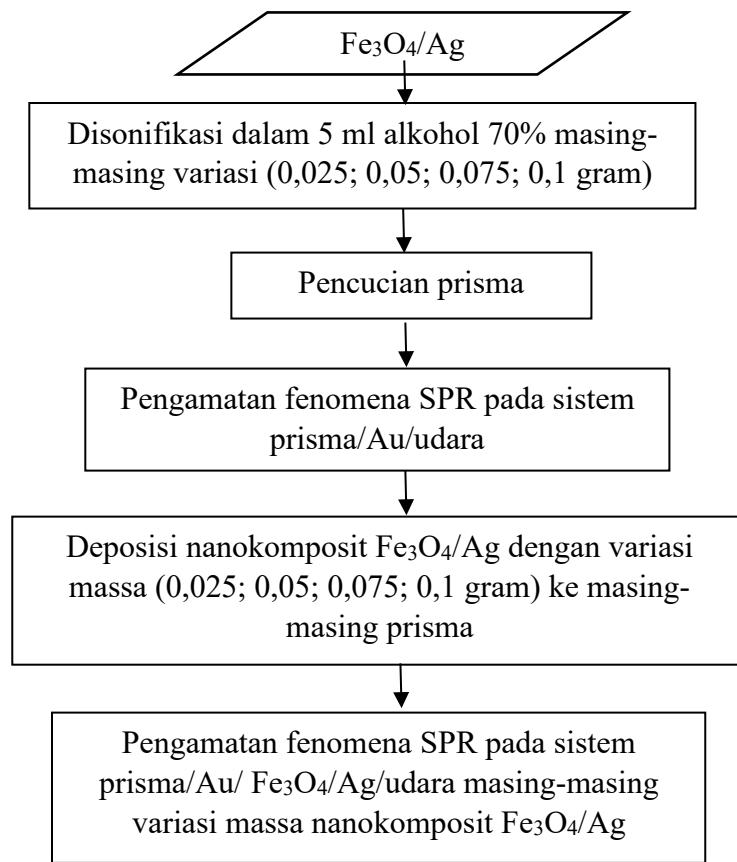
Diagram alir pada penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.1** sampai **Gambar 3.3**.



Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan Larutan MO dan AgMO.



Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Ag}$.



Gambar 3.3 Diagram Alir Pengamatan fenomena SPR.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil karakterisasi XRD, penambahan Ag pada Fe₃O₄ tidak mengubah struktur kristal Fe₃O₄ secara langsung, tetapi menyebabkan ukuran kristalit semakin besar, dari 37,1 nm menjadi 41,1 nm. Fe₃O₄ memiliki struktur spinel invers dengan *Space Group* No. 227 (Fd -3m) dan Ag memiliki struktur *face-centered cubic* (FCC).
2. Berdasarkan hasil karakterisasi UV-Vis, penambahan Ag pada Fe₃O₄ menyebabkan spektrum absorbansi bergeser ke panjang gelombang yang lebih panjang. Fe₃O₄ tidak memiliki spektrum absorbansi dan setelah ditambahkan Ag 100mM, spektrum absorbansi diperoleh pada panjang gelombang 661 nm.
3. Penambahan nanokomposit Fe₃O₄/Ag pada lapisan tipis Au dapat menyebabkan pergeseran sudut SPR ke kanan menuju sudut datang yang lebih besar dan menaikkan reflektansi. Selain itu, peningkatan massa nanokomposit Fe₃O₄/Ag juga dapat menyebabkan pergeseran sudut SPR ke kanan menuju sudut datang yang lebih besar dan menaikkan reflektansi.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, perlu adanya penyempurnaan untuk penelitian selanjutnya dalam upaya pengembangan teknologi biosensor dengan mengontrol parameter lain seperti tekanan *spray* untuk memperoleh ketebalan nanokomposit Fe₃O₄/Ag yang lebih homogen dan terdeposisi secara merata di atas permukaan lapisan tipis Au, sehingga hasilnya lebih konsisten.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrianto, N., Panre, A. M., Istiqomah, N. I., Riswan, M., Apriliani, F., and Suharyadi, E. 2022. Fe₃O₄ Localized surface plasmon resonance properties of green-synthesized silver nanoparticles. *Nano-Structures & Nano-Objects*. Vol. 31. Pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2022.100895>.
- Amirjani, A., Firouzi, F., and Haghshenas, D. F. 2020. Predicting the size of silver nanoparticles from their optical properties. *Plasmonics*. Vol. 15. No. 1. Pp. 1-6. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11468-020-01121-x>.
- Archana, V., Prince, J. J., and Kalainathan, S. 2021. Simple one-step leaf extract-assisted preparation of α-Fe₂O₃ nanoparticles, physicochemical properties, and its sunlight-driven photocatalytic activity on methylene blue dye degradation. *Journal of Nanomaterials*. Vol. 2021. No. 3. Pp. 1-25. [doi:10.1155/2021/8570351](https://doi.org/10.1155/2021/8570351).
- Camacho, S. E. F., Benitez, E. J. S., Garcia, A. G., Arellano, L. M. A., and Robles, J. F. P. 2019. How to decrease the agglomeration of magnetite nanoparticles and increase their stability using surface properties. *Colloids and Surfaces A*. Vol. 574. Pp. 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.04.016>.
- Cuana, R., Panre, A. M., Istiqomah, N. I., Tumbelaka, R. M., Sunaryono., Wicaksono, S. T., and Suharyadi, E. 2022. Green synthesis of Fe₃O₄/Chitosan nanoparticles utilizing moringa oleifera extracts and their surface plasmon resonance properties. *ECS Journal of Solid State*. Vol. 11. No. 8. Pp. 1-9. [doi 10.1149/2162-8777/ac8b36](https://doi.org/10.1149/2162-8777/ac8b36).
- Cullity, B. D. 1956. *Elements of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company. California.
- Cullity, B. D and Graham, C. D. 2009. *Introduction to Magnetic Materials*, 2nd Edition. IEEE Wiley. Hoboken.
- Darmawan, M. Y., Istiqomah, N. I., Adrianto, N., Tumbelaka, R. M., Nugraheni, A. D., and Suharyadi, E. 2023. Green synthesis of Fe₃O₄/Ag composite nanoparticles using moringa oleifera: exploring microstructure, optical, and

magnetic properties for magnetic hyperthermia applications. *Results in Chemistry*. Vol. 6. Pp. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2023.100999>.

Darton, N. J., Ionescu, A., and Liandro, J. 2019. *Magnetic nanoparticles in biosensing and medicine*. Cambridge University Press. Inggris.

Dizaji, A.N., Yilmaz, M., Piskan, E. 2015. Silver or gold deposition onto magnetite nanoparticles by using plant extracts as reducing and stabilizing agents. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*. Vol. 44. No. 4. Pp. 1109-1115. <https://doi.org/10.3109/21691401.2015.1019672>.

Gandomi, Y. A., Aaron, D. S., Houser, J. R., Daugherty, M. C., Clement, J. T., Pezeshki, A. M., and Mench, M. M. 2018. Critical review- experimental diagnostics and material characterization techniques used on redox flow batteries. *Journal of The Electrochemical Society*. Vol. 165. No. 5. Pp. A970-A1010. [doi: 10.1149/2.0601805jes](https://doi.org/10.1149/2.0601805jes).

Gautreau, R and Savin, W. 1999. *Fisika Modern*. Erlangga. Jakarta.

Ghaseminezhad, S. M and Shijaosadati, S. A. 2016. Evaluation of the antibacterial activity of Ag/Fe₃O₄ nanocomposites synthesized using starch. *Carbohydrate Polymers*. Vo. 144. Pp. 454-463.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.007>.

Ghazanfari, M., Johar, F., and Yazdani, A. 2014. Synthesis and characterization of Fe₃O₄@Ag core- shell: structural, morphological, and magnetic properties. *Journal of Ultrafine Grained and Nanostructured Materials*. Vo. 47. No. 2. P p. 97-103. <https://doi.org/10.7508/jufgnsm.2014.02.006>.

Guo, S., Dong, S., and Wang, E. 2009. A General route to construct diverse multifunctional Fe₃O₄/Metal hybrid nanostructures. *Chemistry-A European Journal*. Vol. 15. No. 10. Pp. 1-9. [DOI:10.1002/chem.200801942](https://doi.org/10.1002/chem.200801942).

Homola, J., Yee, S. S., and Gauglitz, G. 1999. Surface plasmon resonance sensors. *Sensor Actuators B- Chemical*. Vol. 54. No. 1-2. Pp. 3-15.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0925-4005\(98\)003219](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-4005(98)003219).

Homola, J. 2006. *Surface Plasmon Resonance Based Sensors*. Springer. Berlin.

Husain, S., Arifin, M., Suharyadi, E., and Abraha, K. 2012. Pengamatan fenomena surface plasmon resonance (SPR) pada sistem lapisan tipis perak-nanopartikel magnetik Fe₃O₄ untuk aplikasi biosensor. *Prosiding Seminar Nasional Material*. Vol. 1. No. 1. Pp. 125-128.

Jafari, A., Shayesteh, S. F., and Boustani, K. 2014. Dependence of structural phase transition and lattice strain of Fe₃O₄ nanoparticles on calcination temperature. *Indian Journal of Physics*. Vol. 89. No. 6. Pp. 551 - 560. <https://doi.org/10.1007/s12648-014-0627-y>.

Jain, S and Mehata, M. S. 2017. Medicinal plant leaf extract and pure flavonoid mediated green synthesis of silver nanoparticles and their enhanced antibacterial property. *Scientific Reports*. Vol. 7. No. 15867. Pp. 1- 13. DOI: [10.1038/s41598-017-15724-8](https://doi.org/10.1038/s41598-017-15724-8).

Kittel, C. 2005. *Introduction to Solid State Physics*. John Wiley & sons. Berkeley.

Loiseau, A., Asila, V., Aullen, G. B., Lam, M., Salmain, M., and Boujday, S. 2019. Silver-based plasmonic nanoparticles for and their use in biosensing. *Biosensor*. Vo. 9. No. 2. Pp. 1-39. <https://doi.org/10.3390/bios9020078>.

Liu, X., Li, L., Liu, Y. Q., Shi, X. B., Li, W. J., Yang, Y., and Mao, L. G. 2014. Ultrasensitive detection of deltamethrin by immune magnetic nanoparticles separation coupled with surface plasmon resonance sensor. *Biosensor and Bioelectronics*. Vol. 59. Pp. 1- 7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bios.2014.03.020>.

Mabarroh, N., Alfansuri, T., Wibowo, N. A., Istiqomah, N. I., Tumbelaka, R. M., and Suharyadi, E. 2022. Detection of green-synthesized magnetite nanoparticles using spin-valve GMR-based sensor and their potential as magnetic labels. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. Vol. 560. Pp. 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2022.169645>.

Mandala, S. H. S., Liu, T. J., Chen, C. M., Liu, K. K., Januar, M., Chang, Y. F., and Liu, K. C. 2021. Enhanced plasmonic biosensor utilizing paired antibody and label-free Fe₃O₄ nanoparticles for highly sensitive and selective detection of parkinson's α synuclein in serum. *Biosensors*. Vol. 11. No. 10. P p. 1-17. <https://doi.org/10.3390/bios11100402>.

Masruroh., Manggara, A. B., Papilaka, T., and Triandi, R. T. 2013. Penentuan ukuran kristal (crystallite size) lapisan tipis PZT dengan metode XRD melalui pendekatan persamaan Debye Scherrer. *Chemistry*. Vol. 1. No. 2. Pp . 24-29. <https://doi.org/10.18551/erudio.1-2.4>.

Mitra, S and Basak, M. 2022. , Diverse bio-sensing and therapeutic applications of plasmon enhanced nanostructures. *Materials Today*. Vol. 57. Pp. 225-261. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2022.05.023>.

Monazam, E. R., Breault, R. W., and Ranjani, S. 2014. Kinetics of magnetite (Fe₃O₄) oxidation to hematite (Fe₂O₃) in air for chemical looping

combustion. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. Vol. 53. No. 34. Pp. 13320–13328.
<https://doi.org/10.1021/ie501536s>.

Nguyen, M. D., Tran, V. T., Xu, S., and Lee, T.R. 2021. Fe₃O₄ Nanoparticles: structures, synthesis, magnetic properties, surface functionalization, and emerging applications. *Applied Sciences*. Vo. 11. No. 23. Pp. 1-34.
<https://doi.org/10.3390/app112311301>.

Nikolic, V., Milic, M., Jovanovic, S., and Girman, V. 2017. Fe₃O₄ Nanoparticles as additives for GAMMA-Ray shielding: structural and surface characterization. *Scientific Technical Review*. Vo. 67. No. 2. Pp. 20-26.
<http://dx.doi.org/10.5937/str1702020N>.

Nurhidayati., Basit, A., Tito, S. I., dan Rahmawati, N. U. S. 2023. *Peluang dan Prospek Teknologi Nano dalam Sistem Produksi Pertanian di Indonesia*. Unisma Press. Malang.

Oktaviani, D. T., Cahya, D. F., and Amrullah, A. 2015. Sintesis nano Ag dengan metode reduksi kimia. *Jurnal Sains dan Teknologi*. Vol. 13. No. 2. Pp. 101-114. <https://doi.org/10.15294/sainteknol.v13i2.5242>.

Oktivina, M., Nurrohman, D. T., Rinto, A. N. Q. Z., Suharyadi, E., and Abraha, K. 2017. Effect of Fe₃O₄ magnetic nanoparticle concentration on the signal of surface plasmon resonance (SPR) spectroscopy. *Materials Science and Engineering*. Vol. 202. No. 1. Pp. 1-7. [doi:10.1088/1757-899X/202/1/012032](https://doi.org/10.1088/1757-899X/202/1/012032).

Panre, A. M., Yahya, I. M., Juharni, J., dan Suharyadi, E. 2021. Magneto-optic surface plasmon resonance properties of core-shell Fe₃O₄/Ag. *Adv. Nat. Sains. Nanosci. Nanoteknologi*. Vol. 12. No. 4. Pp. 1-9.
<http://dx.doi.org/10.1088/2043-6262/ac4996>.

Putra, R.A., Muhammad, Y., Zulkarnain, J., Adi Rahwanto. 2021. *Biosensor Berbasis Surface Plasmon Resonance*. Deepublish. Yogyakarta.

Rajabiah, N. 2016. Surface Plasmon resonance (SPR) phenomenon of the oxidizing and reducing polypyrrole. *Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro*. Vol. 5. No. 2. Pp. 149-154. [doi: http://dx.doi.org/10.24127/trb.v5i2.247](http://dx.doi.org/10.24127/trb.v5i2.247).

Raveendran, P., Fu, J., and Wallen, S. L. 2003. Completely green synthesis and stabilization of metal nanoparticles. *J. AM. CHEM SOC*. Vol. 125. No. 46. Pp. 13940-13941. <https://doi.org/10.1021/ja029267j>.

Reddy, N. V., Li, H., Hou, T., Bethu, M. S., Ren, Z., and Zhang, Z. 2021. Phytosynthesis of silver nanoparticles using perilla frutescens leaf extract:

characterization and evaluation of antibacterial, antioxidant, and anticancer activities. *International Journal of Nanomedicine*. Vol. 125. Pp. 15-29. <http://doi.org/10.2147/IJN.S265003>.

Riswan, M., Widianto, E., Istiqomah, N. I., Driyo, C., Arifin, I., and Suharyadi, E. 2024. Tuning optical properties of Au thin film using electric field for surface plasmon resonance biosensor application. *Optical Materials*. Vol. 150. Pp. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2024.115221>.

Rohman, A., Irnawati., dan Riswanto, Florentinus Dika Octa. 2023. *Analisis Farmasi dengan Spektroskopi UV-Vis dan Kemotrika*. UGM Press. Yogyakarta.

Sani, R.A. 2019. *Karakterisasi Material*. Bumi Aksara. Jakarta.

Setianingsih, T., Sutarno., dan Masruroh. 2018. *Prinsip Dasar dan Aplikasi Metode Difraksi Sinar-X untuk Karakterisasi Material*. UB Press. Malang.

Song, Y., Sun, M., Wu, H., Zhao, W., Wang, Q. 2022. Temperature sensor based on surface plasmon resonance with TiO₂-Au-TiO₂ triple structure. *Materials*. Vol. 15. No. 21. Pp. 1-13. <https://doi.org/10.3390/ma15217766>.

Sunandar, I. H. 2024. Penggunaan Spektrometer dalam Penilaian Kualitas Pangan. Azizah Karya Bersama. Padang.

Tudos, A. J and Schasfoort, R. B. M. 2008. *Introduction to Surface Plasmon Resonance*. Handbook of Surface Plasmon Resonance. RSC Publishing Cambridge. United Kingdom.

Tung, L., Nguyen, X. C., Huy, L. T., Lan, N. T., Phan, V. N., Hoa, N. Q., Vinh, L. K., Thinh, N. V., Tai, L. T., Ngo, D. T., Molhave, K., Huy, T. Q., and Le, A. T. 2016. Synthesis, characterizations of superparamagnetic Fe₃O₄/Ag hybrid nanoparticles and their application for highly effective bacteria inactivation. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. Vol. 16. No. 6. P p. 5902-5912. <https://doi.org/10.1166/jnn.2016.11029>.

Vongsak, B., Sithisarn, P., Mangmool, S., Thongpraditchote, S., Wongkrajang, Y., and Gritsanapan, W. 2013. Maximizing total phenolics, total flavonoids contents and antioxidant activity of moringa oleifera leaf extract by the appropriate extraction method. *Industrial crops and products*. Vol. 44. Pp. 566-571. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.indcrop.2012.09.021>.

Wahyuni, S., Riswan, M., Adrianto, N., Dharmawan, M.Y., Tumbelaka, R. M., Cuana, R., Istiqomah, N. I., Jiananda, A., Garcia, S., and Suharyadi, E. 2023. Localized surface plasmon resonance properties dependence of green-synthesized Fe₃O₄/Ag composite nanoparticles on Ag concentration and an

electric field for biosensor application. *Photonics and Nanostructures Fundamentals and Applications*. Vol. 57. Pp. 1-14.
<https://doi.org/10.1016/j.photonics.2023.101191>.

Wang, X., Wang, X., Liu, Y., Chu, T., Dai, C., Yang, Y., and Zhang, Y. 2021. Surface plasma enhanced fluorescence combined aptamer sensor based on silica modified silver nanoparticles for signal amplification detection of cholic acid. *Microchemical Journal*. Vol. 168. No. 1-6.
<https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106524>.

Wu, B and Wang, Q. 2008. Design optimization of highly sensitive LSPR enhanced surface plasmon resonance biosensors with nanoholes. *Chinese Optics Letters*. Vol. 6. No. 5. Pp. 323-326. [1671-7694/2008/050323-04](https://doi.org/10.1007/s11051-008-0503-2).

Yang, J., Fan, L., Xu, Y., and Xia, J. 2017. Iron oxide nanoparticles with different polymer coatings for photothermal therapy. *Journal of Nanoparticle Research*. Vol. 19. No. 333. Pp. 1-12. [doi 10.1007/s11051-017-4031-3](https://doi.org/10.1007/s11051-017-4031-3).

Yusuf, Y., Khasanah, D.U., Syafaat, F.Y., Pawarangan, I., Sari, M., dan Mawuntu, V.J. 2024. *Hidroksiapatit Berbahan Dasar Biogenik*. UGM Press. Yogyakarta.

Zeng, S., Baillargeat, D., Ho, H. P., and Yong, K.T. 2014. Nanomaterials enhanced surface plasmon resonance for biological and chemical sensing applications. *Chem Soc Rev*. Vol. 43. No. 10. Pp. 3426-3452. [doi: 10.1039/c3cs60479a](https://doi.org/10.1039/c3cs60479a).

Zhan, S., Li, C., Tian, H., Ma, C., Liu, H., Luo, J., and Li, M. 2019. Synthesis, characterization and dye removal behavior of core-shell Fe₃O₄/Ag/polyoxometalates ternary nanocomposites. *Nanomaterials*. Vol. 9. No. 9. Pp. 1-13. <http://dx.doi.org/10.3390/nano9091255>.

Zhou, C., Zou, H., Su, C., Ren, D., Chen, J., and Li, Y. 2018. Signal amplification strategies for DNA-based surface plasmon resonance biosensors. *Biosensors and Bioelectronic*. Vol. 117. Pp. 678-689.
<https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.06.062>.