KINERJA PENGINDERAAN INDEKS BIAS NANOPARTIKEL SILIKA BERLAPIS PERAK UNTUK PENDETEKSIAN KOMPOSISI GLISEROL DI DALAM AIR

LEONARDHO ADITYA GIRI SETIAWAN
H1021191007

SKRIPSI

PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2025

KINERJA PENGINDERAAN INDEKS BIAS NANOPARTIKEL SILIKA BERLAPIS PERAK UNTUK PENDETEKSIAN KOMPOSISI GLISEROL DI DALAM AIR

LEONARDHO ADITYA GIRI SETIAWAN
H1021191007

Skripsi
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains pada Program Studi Fisika

PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2025

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir	: Kinerja Penginderaan Indeks Bias Nanopartikel Silika Berlapis Perak untuk Pendeteksian Komposisi Gliserol di Dalam Air
Nama Mahasiswa	: Leonardho Aditya Giri Setiawan
NIM	: H1021191007
Jurusan/Program Studi	: Fisika/Fisika
Tanggal Lulus	: 21 Januari 2025
SK Pembimbing	: No. 4185/UN22.8/TD.06/2023 /Tanggal 1 November 2023
SK Penguji	: No. 4214/UN22.8/TD.06/2024 /Tanggal 11 Desember 2024

Dosen Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Azrul Azwar, S.Si., M.Si.	Hasanuddin, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP198107302005011002	NIP198412162008121003

Dosen Penguji

Ketua Penguji	Anggota Penguji
Dr. Bintoro Siswo Nugroho, S.Si., M.Si.	Asifa Asri, S.Si., M.Si.
NIP198102062006041003	NIP199006052022032010

Pimpinan Sidang (merangkap anggota penguji)	Sekretaris Sidang (merangkap anggota penguji)
Dr. Azrul Azwar, S.Si., M.Si.	Hasanuddin, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP198107302005011002	NIP198412162008121003

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tanjungpura

Prof. Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si.
NIP197108022000031001

PERNYATAAN INTEGRITAS AKADEMIK

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Leonardho Aditya Giri Setiawan
NIM	: H1021191007
Program Studi/ Jurusan	: Fisika/Fisika
Fakultas	: Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

dengan ini menyatakan bahwa dokumen ilmiah Tugas Akhir yang disajikan ini tidak mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai Peraturan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2021. Apabila di kemudian hari dokumen ilmiah Tugas Akhir ini mengandung unsur pelanggaran integritas akademik sesuai ketentuan perundangan tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Demikian pernyatan ini untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Pontianak,



Leonardho Aditya Giri Setiawan
H1021191007

Kinerja Penginderaan Indeks Bias Nanopartikel Silika Berlapis Perak untuk Pendeteksian Komposisi Gliserol di Dalam Air

Abstrak

Penelitian ini berfokus pada analisis kinerja penginderaan indeks bias nanopartikel silika berlapis perak dengan variasi jari-jari inti silika (10 nm-40 nm) dan ketebalan lapisan perak (10 nm-40 nm) untuk mendeteksi komposisi gliserol di dalam air pada berbagai konsentrasi (0%, 20%, 50%, dan 100%). Sifat optik nanopartikel logam mulia, khususnya silika berlapis perak, sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel dan indeks bias medium sekitarnya. Penelitian ini bertujuan untuk memahami bagaimana variasi jari-jari silika dan perak, serta konsentrasi gliserol dalam air, mempengaruhi efisiensi hamburan cahaya (Q_{scat}), panjang gelombang resonansi (λ), dan lebar spektrum hamburan (FWHM).

Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi numerik dengan pendekatan kuasi-statik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan lapisan perak dan jari-jari silika meningkatkan efisiensi hamburan cahaya, serta menyebabkan pergeseran merah pada panjang gelombang resonansi. Konsentrasi gliserol yang berbeda juga mempengaruhi parameter-parameter ini secara signifikan. Analisis ini memberikan wawasan tentang optimalisasi desain nanopartikel untuk meningkatkan kinerja penginderaan indeks bias, yang relevan untuk pengembangan sensor gliserol yang lebih akurat dan efisien dalam berbagai aplikasi industri, seperti makanan, farmasi, dan kosmetik.

Kata kunci: Nanopartikel silika berlapis perak, indeks bias, gliserol, efisiensi hamburan cahaya, panjang gelombang resonansi, FWHM, sensor gliserol

Refractive Index Sensing Performance of Silver-Coated Silica Nanoparticles for the Detection of Glycerol Composition in Water

Abstract

This research focuses on analyzing the refractive index sensing performance of silica nanoparticles coated with silver with silica core radius variations (10 nm-40 nm) and silver layer thickness (10 nm-40 nm) to detect glycerol composition in water at various concentrations (0%, 20%, 50%, and 100%). The optical properties of noble metal nanoparticles, particularly silica coated with silver, are greatly influenced by particle size and the refractive index of the surrounding medium. This study aims to understand how variations in the radius of silica and silver, as well as the concentration of glycerol in water, affect the light scattering efficiency (Q_{scat}), resonance wavelength (λ), and scattering spectrum width (FWHM).

The research method employed is numerical simulation with a quasi-static approach. The results show that increasing the thickness of the silver layer and the radius of silica enhances the light scattering efficiency and causes a redshift in the resonance wavelength. Different glycerol concentrations also significantly influence these parameters. This analysis provides insights into optimizing nanoparticle design to improve refractive index sensing performance, which is relevant for developing more accurate and efficient glycerol sensors in various industrial applications, such as food, pharmaceuticals, and cosmetics.

Keywords: Silica nanoparticles coated with silver, refractive index, glycerol, light scattering efficiency, resonance wavelength, FWHM, glycerol sensor

PRAKATA

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul "Kinerja Penginderaan Indeks Bias Nanopartikel Silika Berlapis Perak untuk Pendeteksian Komposisi Gliserol di Dalam Air". Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura. Saya menyadari bahwa skripsi ini tidak akan terwujud tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, saya ingin menyampaikan terima kasih kepada: Saya menyadari bahwa skripsi ini tidak akan terwujud tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, saya ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Diri saya sendiri, terima kasih telah bertahan dan terus melangkah meski dihadapkan pada berbagai rintangan, baik dalam perkuliahan maupun kehidupan pribadi. Segala tantangan, mulai dari tekanan akademis hingga persoalan di luar kampus, berhasil saya lewati hingga saat ini. Perjalanan ini penuh air mata, keraguan, dan kelelahan yang mungkin tidak banyak orang tahu, tetapi saya memilih untuk terus berkembang dan melangkah ke depan. Terima kasih telah percaya bahwa setiap langkah, sekecil apa pun, adalah bagian dari pertumbuhan yang menjadikan diri ini versi yang lebih baik setiap harinya.
2. Dengan penuh rasa hormat dan cinta, saya mengucapkan terima kasih yang mendalam kepada kedua orang tua dan adik saya, yang selalu menjadi sumber kekuatan, doa, dan semangat dalam hidup saya.
3. Keluarga besar saya yang lain, terima kasih atas doa, dukungan moral, kasih sayang, dan dukungan lainnya yang kalian berikan selama proses ini.
4. Bapak Dr. Azrul Azwar, S.Si., selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran yang berharga selama proses penyusunan skripsi ini.

5. Bapak Dr. Hasanuddin, S.Si., selaku dosen pembimbing kedua yang juga telah memberikan bimbingan dan masukan yang sangat bermanfaat.
6. Bapak Dr. Bintoro Siswo Nugroho, S.Si., M.Si., selaku dosen penguji pertama yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan skripsi ini.
7. Ibu Asifa Asri, S.Si., M.Si., selaku dosen penguji kedua yang juga telah memberikan masukan yang berharga.
8. Seluruh Bapak Ibu dosen Universitas Tanjungpura, terutama Bapak dan Ibu dosen Prodi Fisika yang telah memberikan ilmu pengetahuan, mendidik, dan membimbing saya selama perkuliahan.
9. Teman-teman seperjuangan, atas kebersamaan, semangat, dan bantuan yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
10. Seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan dan bantuan selama proses penyusunan skripsi ini.

Pontianak, 15 Januari 2025

penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR LAMPIRAN xii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 4
BAB II DASAR TEORI 5
2.1 Nanopartikel dan Aplikasinya 5
2.2 Sifat Plasmonik dan Potensi Sensor Nanopartikel Logam 5
2.3 Sensor Berbasis Nanopartikel untuk Deteksi 7
2.4 Karakteristik Nanopartikel Silika 7
2.5 Karakteristik Nanopartikel Perak 8
2.6 Deteksi Kandungan Gliserol dalam Produk 8
2.7 Metode Deteksi Gliserol 9
2.8 Gliserol dan Penggunaannya dalam Industri 10
2.9 Bahaya Gliserol bagi Tubuh 11
2.10 Aproksimasi Kuasi-statik untuk Interaksi Cahaya dengan Nanopartikel Sferis 11
2.11 Perluasan Metode Aproksimasi Kuasistatik untuk Nanopartikel Berlapis 13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 15
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 15
3.2 Prosedur Kerja 15
3.2.1 Membaca dan Interpolasi Data Fungsi Dielektrik 15
3.2.2 Inisialisasi Parameter Awal 15

3.2.3 Menghitung Permitivitas Medium dan Perak 16
3.2.4 Menghitung Permitivitas Silika dan Koefisien Polarisasi 16
3.2.5 Menghitung Efisiensi Hamburan (Q_{scat}) 16
3.2.6 Analisis Spektrum dan Visualiasi 16
3.2.7 Analisis Sensitivitas Terhadap Konsentrasi Gliserol dan Ukuran Nanopartikel 16
3.2.8 Analisis Perbandingan Sensitivitas 17
3.2.9 Interpretasi Hasil Analisis Sensitivitas 17
3.3 Diagram Alir Penelitian 17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 19
4.1 Spektrum hamburan cahaya oleh nanopartikel SiO_2 berlapis perak 19
4.2 Pengaruh Ukuran Nanopartikel 21
4.2.1 Hubungan Antara Ukuran Nanopartikel dan Panjang Gelombang Resonansi (λ_p) 26
4.2.2 Efek Ukuran Nanopartikel pada Efisiensi Hamburan (Q_{scat}) 26
4.2.3 Sensitivitas dan *Figure of Merit* (FOM) 27
BAB V SIMPULAN DAN SARAN 28
5.1 Kesimpulan 28
5.2 Saran 29
DAFTAR PUSTAKA 30
LAMPIRAN 33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbandingan nilai indeks bias terhadap panjang gelombang untuk masing-masing konsentrasi gliserol. 9

Gambar 2.2 Ilustrasi interaksi gelombang cahaya dengan nanopartikel. Untuk nanopartikel yang diameternya jauh lebih kecil dari panjang gelombang cahaya yang mengenainya, medan listrik yang mengenai nanopartikel dapat dianggap konstan, sehingga berlaku aproksimasi kuasi-statik..... 11

Gambar 2.3 Sketsa nanopartikel bola berlapis. 13

Gambar 4. 1 Spektrum efisiensi hamburan cahaya oleh nanopartikel dengan R_1 = 10 dan R_2 = 20 untuk variasi konsentrasi gliserol 0%, 20%, 50%, dan 100%..... 19

Gambar 4. 2 Grafik perbandingan λ_p (nm) terhadap Konsentrasi Gliserol (%) untuk mencari nilai sensitivitas dengan R_1 = 10 dan R_2 = 20 untuk variasi konsentrasi gliserol 0%, 20%, 50%, dan 100%..... 20

Gambar 4. 3 Grafik perbandingan sensitivitas (nm/RIU) terhadap R_2 (nm) untuk variasi R_2. 21

Gambar 4. 4 Grafik perbandingan sensitivitas (nm/RIU) terhadap ΔR (nm) untuk variasi ΔR. 22

Gambar 4. 5 Grafik perbandingan FWHM (nm) terhadap R_2 (nm) untuk variasi R_2..... 23

Gambar 4. 6 Grafik perbandingan FWHM (nm) terhadap ΔR (nm) untuk variasi ΔR. 23

Gambar 4. 7 Grafik perbandingan nilai FOM terhadap konsentrasi gliserol (%) untuk variasi R_2 (nm). 25

Gambar 4. 8 Grafik perbandingan nilai FOM terhadap konsentrasi gliserol (%) untuk variasi ΔR (nm). 26

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perbandingan antara variasi jari-jari nanopartikel silika (R_1) yang terus meningkat dengan panjang gelombang puncak spektrumnya atau λ_p (nm) dan Q_{scat} untuk konsentrasi gliserol 100%. 20

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kode Program Scilab yang Digunakan 33
Lampiran 2. Spektrum efisiensi hamburan cahaya oleh nanopartikel silika berlapis perak dengan variasi konsentrasi gliserol 0%, 20%, 50%, dan 100%..... 35
Lampiran 3. Grafik perbandingan λ_p (nm) terhadap Konsentrasi Gliserol (%) untuk variasi konsentrasi gliserol 0%, 20%, 50%, dan 100%..... 38

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nanopartikel banyak digunakan dalam berbagai keperluan industri dan rumah tangga, sebagaimana terlihat dari peningkatan volume produksinya (Bundschuh et al., 2018). Peningkatan ini kemungkinan dipengaruhi oleh sifat uniknya, seperti ukuran partikel, luas permukaan, reaktivitas, muatan, dan bentuk. Sifat-sifat tersebut memungkinkan nanopartikel diaplikasikan dalam berbagai bidang, termasuk kosmetik, farmasi, dan medis (Bundschuh *et al.*, 2018).

Nanopartikel dapat digunakan sebagai alat untuk mendeteksi berbagai zat atau kondisi dalam lingkungannya. Nanopartikel dimodifikasi dan disesuaikan untuk merespons terhadap substansi tertentu seperti senyawa kimia, biomolekul, atau bahkan perubahan lingkungan tertentu. Kemampuan unik nanopartikel untuk mengalami perubahan sifat fisik, optik, atau elektronik dalam kehadiran zat tertentu memungkinkan mereka menjadi sensor yang sensitif (Bundschuh *et al.*, 2018).

Dalam penelitian ini, pendeteksian komposisi gliserol dalam air menggunakan sensor berbasis nanopartikel silika yang dilapisi perak melibatkan proses yang memanfaatkan pemodelan matematis guna menggambarkan respons sensor terhadap gliserol. Dalam konteks ini, pengembangan rumus atau model matematis yang menggambarkan interaksi antara nanopartikel, lapisan perak, dan gliserol sangat penting. Rumus ini kemudian diintegrasikan ke dalam proses pemrograman untuk menghasilkan analisis yang disajikan dalam bentuk grafik dan data numerik. Proses ini memungkinkan kita untuk memahami respons sensor terhadap variasi konsentrasi gliserol, memberikan visualisasi dalam grafik serta hasil yang dapat dibandingkan untuk mengevaluasi kinerja sensor secara sistematis.

Lapisan perak pada nanopartikel silika menjadi kunci penting dalam pengembangan sensor yang efektif dan sensitif. Dalam konteks deteksi komposisi gliserol dalam air, lapisan perak bertindak sebagai penguat dalam respons sensor terhadap perubahan konsentrasi gliserol. Lapisan perak tidak hanya meningkatkan sensitivitas sensor terhadap gliserol tetapi juga memfasilitasi interaksi yang lebih

kuat antara nanopartikel silika dan senyawa yang ditargetkan. Sifat optik dari lapisan perak memungkinkan penggunaan cahaya sebagai elemen utama dalam proses deteksi, memperjelas visualisasi dan analisis respons sensor. Konduktivitas tinggi perak juga berperan dalam mendukung perubahan listrik yang terjadi akibat interaksi dengan gliserol, memungkinkan sensor untuk mendeteksi dengan presisi variasi konsentrasi zat tersebut. Dengan demikian, penggunaan lapisan perak pada nanopartikel silika tidak hanya memberikan stabilitas struktural dan kimia pada sensor, tetapi juga meningkatkan kemampuan sensor untuk mendeteksi gliserol dengan tingkat sensitivitas dan spesifisitas yang tinggi (Perez, 2012).

Dalam penelitian ini, gliserol dipilih sebagai fokus deteksi dari nanopartikel karena keberadaannya yang umum dalam berbagai produk konsumen sehari-hari, seperti makanan, kosmetik, dan farmasi. Gliserol dapat ditemukan dalam semua lemak dan minyak alami sebagai ester lemak dan merupakan intermediat penting dalam metabolisme organisme hidup. Ia sepenuhnya larut dalam air dan banyak alkohol serta dalam banyak senyawa heterosiklik (Christoph *et al.,* 2006). Meskipun gliserol umumnya digunakan dalam berbagai aplikasi karena sifatnya yang relatif aman, paparan berlebihan atau kontaminasi yang tidak diinginkan dapat menyebabkan iritasi pada kulit, gangguan pencernaan, atau bahkan efek negatif pada organ dalam tubuh. Oleh karena itu, pengembangan sensor yang mampu mendeteksi gliserol dengan sensitivitas tinggi menjadi esensial dalam memastikan kontrol terhadap paparan yang berpotensi membahayakan kesehatan manusia (Samul *et al.*, 2014).

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dipaparkan, permasalahan yang ingin dijawab adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sensitivitas deteksi konsentrasi gliserol dalam air menggunakan nanopartikel silika berlapis perak dipengaruhi oleh ukuran nanopartikel (variasi jari-jari inti silika dan ketebalan lapisan perak)?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi gliserol terhadap pergeseran panjang gelombang resonansi (λ_p) pada spektrum hamburan cahaya?

3. Bagaimana nilai *Figure of Merit* (FOM) dapat digunakan sebagai indikator untuk mengevaluasi kinerja sensor secara keseluruhan?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya berfokus pada penggunaan nanopartikel silika berlapis perak sebagai sensor untuk mendeteksi konsentrasi gliserol. Nanopartikel logam lainnya atau metode deteksi lain tidak dipertimbangkan.
2. Perhitungan efisiensi hamburan dan serapan cahaya akan dilakukan dalam rentang panjang gelombang 400 nm-700 nm. Rentang di luar rentang ini tidak akan dipertimbangkan.
3. Penelitian ini terbatas pada variasi ukuran nanopartikel dengan jari-jari inti silika (R_1) 10 nm-40 nm dan lapisan selubung perak (ΔR) 10 nm-40 nm.
4. Penelitian ini hanya menguji konsentrasi gliserol 0%, 20%, 50%, dan 100%. Rentang konsentrasi gliserol yang lebih luas mungkin perlu diuji untuk memvalidasi hasil penelitian ini.
5. Data eksperimen yang digunakan adalah silika (Arosa and de la Fuente 2020), perak (Ciesielski et al. 2017), dan gliserol (Gupta et al. 2022).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi jari-jari inti silika dan ketebalan lapisan perak terhadap panjang gelombang resonansi (λ_p) serta efisiensi hamburan cahaya (Q_{scat}) untuk memahami fenomena pergeseran merah pada spektrum hamburan cahaya.
2. Menyelidiki pengaruh variasi konsentrasi gliserol (0%, 20%, 50%, dan 100%) terhadap pergeseran panjang gelombang resonansi (λ_p) serta menentukan sensitivitas pendeteksian gliserol.
3. Menganalisis hubungan antara parameter R_2 dan ΔR dengan sensitivitas dan performa sensor guna menentukan konfigurasi optimal untuk meningkatkan kinerja sensor.

4. Menentukan hubungan antara nilai *Figure of Merit* (FOM) dengan parameter R_2, ΔR, dan konsentrasi gliserol sebagai indikator utama peningkatan performa sensor.
5. Mengevaluasi efektivitas nanopartikel silika berlapis perak dalam mendeteksi variasi komposisi gliserol dalam air.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan kontribusi pada pengembangan sensor berbasis nanopartikel yang lebih sensitif, akurat, dan selektif untuk deteksi gliserol.
2. Meningkatkan pemahaman tentang interaksi antara nanopartikel logam dengan cahaya dan pengaruh lingkungan sekitar terhadap sifat optik nanopartikel.
3. Memberikan alternatif metode deteksi gliserol yang lebih cepat, sederhana, dan hemat biaya dibandingkan dengan metode konvensional.
6. Berpotensi diaplikasikan dalam berbagai bidang industri, seperti makanan, farmasi, dan kimia, untuk pengendalian kualitas dan pemantauan proses produksi.