

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Surface Enhance Raman Spectroscopy (SERS) adalah alat yang sangat berguna dalam memonitor lingkungan (Xue et al., 2022) karena kemampuan mendeteksi berbagai jenis material secara in situ, rapid, mudah, tidak merusak, dan murah (Yu et al., 2024). SERS pertama kali dideteksi oleh Fleischmann pada tahun 1974 pada permukaan elektroda perak (Xue et al., 2022). SERS digunakan untuk mengarakterisasi senyawa apa pun dan mempelajari perilakunya pada tingkat molekuler berdasarkan pola vibrasinya (Steffi Antony & Shankar Hyam, 2023). SERS menjadi sangat menarik karena kemampuannya untuk secara signifikan meningkatkan sinyal Raman berkali lipat, memungkinkan deteksi molekul dengan sensitivitas yang luar biasa tinggi (Y. W. Cheng et al., 2020; Shen et al., 2024).

SERS bekerja dengan cara meningkatkan intensitas karakteristik peak molekul yang diamati dalam spektrum Raman normal (Dikmen et al., 2023). Sinyal Raman pada SERS diperkuat secara signifikan melalui interaksi molekul dengan permukaan logam nanostruktur yang memiliki sifat plasmonik (Oliveira et al., 2023). Peningkatan ini terjadi melalui dua mekanisme utama: mekanisme elektromagnetik (EM) yang terjadi karena adanya medan elektromagnetik yang diperkuat akibat resonansi plasmon permukaan lokal (LSPR) (Oliveira et al., 2023; Prakash et al., 2024) dan mekanisme *chemical enhancement* (CE) yang terjadi karena transfer muatan antara molekul dan permukaan logam, yang dapat meningkatkan probabilitas transisi vibrasi tertentu (Dou et al., 2020; Safar et al., 2023; H. Zhang et al., 2022). Kedua mekanisme ini bekerja secara sinergis untuk meningkatkan sinyal SERS (H. Cheng et al., 2023; Zheng et al., 2021).

Di antara kedua mekanisme ini, EM diidentifikasi sebagai mekanisme utama dalam peningkatan sinyal SERS (Li et al., 2023). EM sangat bergantung pada daerah *hotspot* yang dapat ditingkatkan oleh efek LSPR (Han et al., 2024; Kong et al., 2023) dan *surface plasmon polariton* (SPP) (Chen et al., 2022; Steffi Antony & Shankar Hyam, 2023) dari material plasmonik pada substrat SERS. Salah satu material plasmonik terbaik yang dapat menjadi pilihan dalam meningkatkan sinyal SERS adalah *silver nanopartikel* (Ag NP) (X. Yang et al., 2024). Di antara berbagai macam material plasmonik, Ag NP mendapat perhatian paling besar dalam meningkatkan sinyal SERS karena memiliki efek LSPR yang kuat, dan kinerja yang cukup stabil (Han et al., 2024; Sun et al., 2022).

Untuk meningkatkan CM, penambahan semikonduktor dapat menjadi pilihan. Interaksi transfer muatan antara metal nanopartikel dan semikonduktor telah dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan sinyal SERS (Wang et al., 2024). Ketika dieksitasi dengan sinar laser, semikonduktor menjembatani proses transfer electron antara

metal nanoparticle dan material analit yang kemudian menghasilkan peningkatan sinyal SERS (H. Cheng et al., 2023; Huang et al., 2022). Penambahan semikonduktor juga dapat meningkatkan stabilitas, biokompabilitas dan aktifitas fotokatalis dari substrate (H. Cheng et al., 2023).

Substrat Ag NPs dapat secara signifikan meningkatkan sinyal Raman dibandingkan dengan substrat tanpa Ag NPs (Xu et al., 2021), (Huang et al., 2022). Namun, menggabungkan Ag NPs dengan material lain seperti semikonduktor atau nanopartikel logam lain yang memiliki sifat berbeda dapat menghasilkan material hibrida baru dengan properti optik yang unik (C S et al., 2023). Substrat dengan struktur hibrida metal nanopartikel /semikonduktor telah menunjukkan aktivitas SERS yang kuat (H. Cheng et al., 2023; Huang et al., 2022). Hibrida struktur metal nanopartikel /semikonduktor dapat menghasilkan hotspots yang berlimpah untuk EM dan juga meningkatkan efisiensi transfer elektron untuk CE (Huang et al., 2022; F. Yang et al., 2023). Hal ini menyebabkan substrate SERS menjadi lebih sensitif (Liao et al., 2024).

Oleh karena itu, pada penelitian ini kita membuat hibrida substrat Ag NP dengan menambahkan material yang memiliki sifat semiconductor diantaranya: GQD, TiO₂, dan CuFe₂O₄. Ketiga material ini memiliki keunikan masing masing. GQD memiliki struktur elektronik yang unik, kepadatan yang tinggi, efek keterbatasan kuantum, dan area permukaan yang luas —seluruh karakter ini berperan dalam meningkatkan efek resonansi dan interaksi transfer muatan substrate SERS (Sharma et al., 2024). TiO₂ merupakan semikonduktor yang murah, tidak beracun, stabilitas kimia yang baik dan memiliki kemampuan fotokatalis yang memungkinkan untuk menghasilkan substrate SERS yang memiliki sifat self-cleaning (Ma et al., 2024; Pięta et al., 2024). Spinel ferrites seperti CuFe₂O₄ memiliki stabilitas kimia, sifat magnetik, dielektrik dan sifat optik yang menarik. Disamping itu CuFe₂O₄ memiliki sifat redoks aktif yang bermanfaat untuk meningkatkan sinyal SERS (Kamal et al., 2022). Diharapkan hibrida substrate Ag NP/semiconductor ini dapat menghasilkan substrate SERS dengan performa yang lebih efektif untuk digunakan dalam deteksi berbagai pewarna industri.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah untuk penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik substrat hibrida berbasis Ag NPs?
2. Bagaimana kemampuan substrat hibrida berbasis Ag NPs untuk meningkatkan kinerja SERS?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik substrat hibrida berbasis Ag NPs
2. Menganalisis kemampuan substrat hibrida berbasis Ag NPs untuk meningkatkan kinerja SERS dalam deteksi pewarna industri.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Juni 2024 – Desember 2025 di Pusat Penelitian Fisika Maju (PPF)- Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) KST. Bt. Habibi-Serpong, Jalan Kawasan Puspatek No 441-442, Muncul, Setu, Kota Tangerang Selatan, Banten.

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Timbangan digital
2. Gelas piala ukuran 50ml dan 500ml
3. Spatula
4. Pinset
5. Magnetik stirrer + stirrer bar
6. Microwave
7. Botol sampel
8. EDX
9. Uv-Vis Spectrometer
10. Spectrometer Maya Pro 2000
11. Komputer
12. FE-SEM
13. Raman Probe

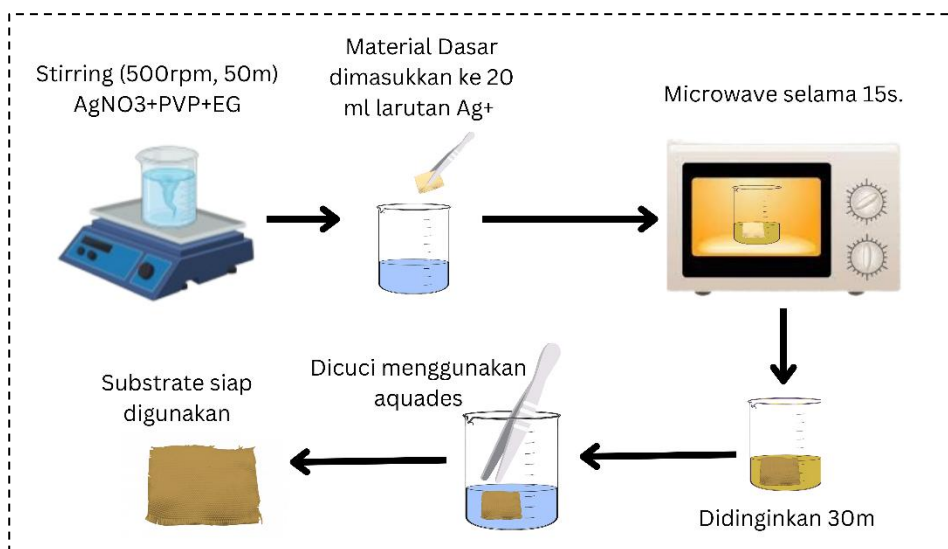
2.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Pelarut (Aquabides, Etanol, EG)
2. Substrat Dasar (Fiberglass (FG), dan Silikon (Si))
3. AgNO₃ (bubuk)
4. PVP
5. GQD (larutan)
6. CuFe₂O₄ (larutan)
7. TiO₂ (larutan)
8. Analite: Pewarna industri (Malachite Green, Eriochrome Black T, dan Methylene Blue)

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Sintesis Substrat Ag NPs @ FG



Gambar 2.1. Ilustrasi proses sintesis Ag NP diatas substrat dasar (FG atau Si)

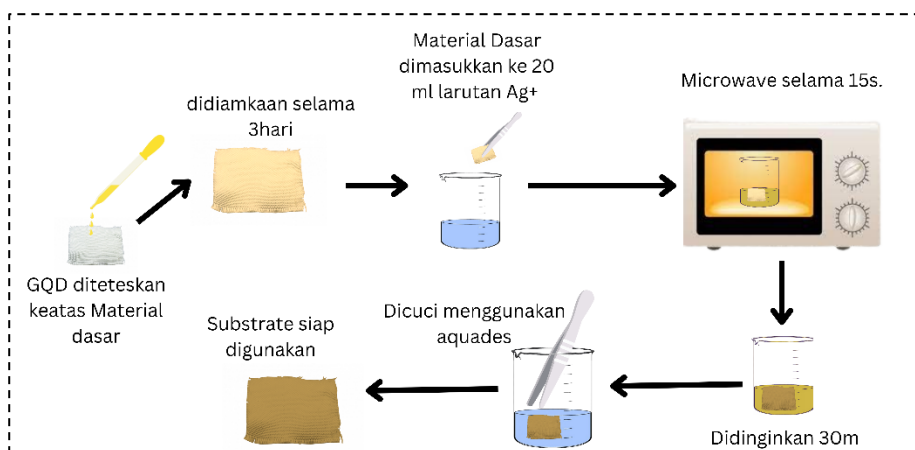
EG (200ml), AgNO₃ (100mg), dan PVP (150 mg) dicampurkan lalu diaduk dengan magnetic stirrer selama kurang lebih 50 menit untuk membentuk larutan Ag⁺. FG kemudian dimasukkan kedalam 20ml larutan Ag⁺ lalu dan dimikrowave selama 15 detik. Warna larutan yang bening akan berubah menjadi kuning keemasan hingga kuning ke abu-abuan menandakan terbentuknya silver nanopartikel (Ag NP). Lalu ditunggu sekitar 30 menit hingga larutan mendingin. Substrate dipisahkan dari larutan Ag NP lalu dicuci dengan menggunakan aquades. Lalu dikeringkan dengan cara diangin anginkan. Substrate siap digunakan.

2.3.2 Sintesis Substrat Hibrida Berbasis Ag NP

Proses Sintesis hibrida berbasis Ag NP bergantung pada pelarut dari material hibrida yang akan ditambahkan. Pada penelitian ini kita menambahkan 3 material hibrid berbeda yaitu GQD, TiO₂, CuFe₂O₄.

1. Sintesis substrat Ag NP + GQD @FG

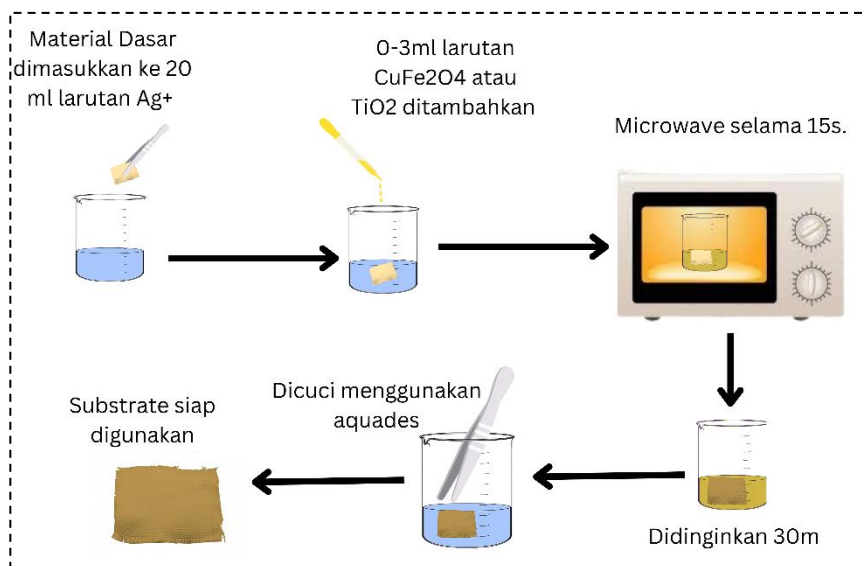
Karena pelarut dari GQD adalah etanol, terlebih dahulu 1 ml GQD ditetaskan di atas substrat dasar dan didiamkan selama 3 hari hingga etanol menguap. GQD di atas substrat dasar yang dalam hal ini FG kemudian di lapisi dengan Ag NP dengan metode yang sebelumnya dengan menggunakan *microwave* rumahan. Larutan yang dihasilkan berwarna kuning hingga hijau kehitaman tergantung konsentrasi GQD pada substrat. Substrat di dalam larutan didinginkan. Setelah dingin dipisahkan dari larutan lalu dicuci dan dikeringkan dan siap digunakan. Ilustrasi proses sintesis Ag NP + GQD @FG ditunjukkan pada gambar 2.2



Gambar 2.2. Ilustrasi proses sintesis Ag NP + GQD @FG

2. Sintesis substrat Ag NP+CuFe₂O₄@FG dan Ag NP+TiO₂@FG

Karena pelarut dari TiO₂ dan CuFe₂O₄ adalah ethilene glicol yang sama dengan pelarut untuk sintesis Ag NP. maka bisa langsung dicamperkan ketika proses reduksi Ag⁺ menjadi Ag⁰ menggunakan microwave (Gambar 2.3). 20 ml larutan Ag⁺ ditambahkan dengan 0-3ml larutan CuFe₂O₄ kemudian substrat dasar dimasukkan. Kemudian dimasukkan kedalam microwave selama kurang lebih 15 detik. Larutan yang dihasilkan untuk TiO₂ berwarna kuning terang sedangkan untuk CuFe₂O₄ berwarna coklat gelap sampai hitam. Setelah larutan mendingin substrat diangkat dan dicuci menggunakan aquabides lalu di angin anginkan hingga kering. Substrat siap digunakan.

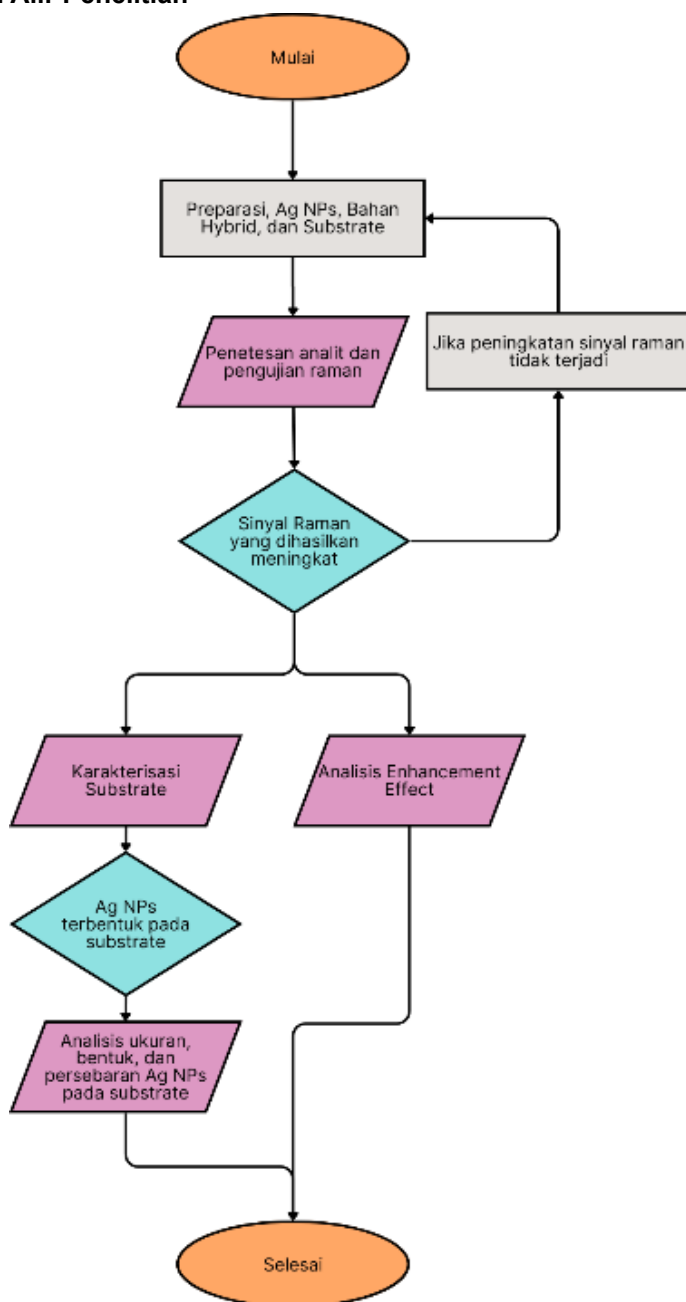


Gambar 2.2. Ilustrasi proses sintesis Ag NP+TiO₂@FG dan Ag NP+CuFe₂O₄@FG

2.3.3 Karakterisasi Substrat Hibrida Berbasis Ag NPs

Substrat Hibrida Berbasis Ag NPs kemudian di karakterisasi menggunakan *Field-Emission Scanning Electron Microscopy* (FE-SEM) digunakan untuk memvisualisasikan morfologi permukaan dan nanostruktur, memberikan wawasan mendetail tentang keseragaman dan distribusi ukuran partikel. *Energy Dispersive X-ray* (EDX) mapping dilakukan untuk mengonfirmasi komposisi unsur serta distribusi spasial nanopartikel perak pada substrat. Selain itu, pengukuran absorbansi dilakukan untuk mengevaluasi sifat optik substrat dan memahami perilaku plasmoniknya. Untuk pengukuran Raman, *Near-Infrared Surface-Enhanced Raman Spectroscopy* (NIR SERS) dengan panjang gelombang 785nm digunakan untuk mengevaluasi sensitivitas dan efek peningkatan pada substrat.

2.4 Bagan Alir Penelitian



Gambar 2.3 Bagan Alir Penelitian