Analisis Respon Optik Nanopartikel Berbentuk Bola Berlapis Non-Konsentris dengn Aproksimasi *Quasi-Static*

Riko Bintasa^a), Azrul Azwar^a), Bintoro S. Nugroho^a).

a)Jurusan FMIPA Universitas Tanjungpura Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak *Email: riko.bintasa@gmail.com

(Diterima 7 Maret 2022; Disetujui 1 April 2022; Dipublikasi 30 April 2022)

Abstrak

Telah dilakukan simulasi mengenai respons optik pada nanopartikel logam berbentuk bola berlapis dengan pendekatan *quasi-static*. Inti dari nanopartikel logam berlapis dianggap memiliki konstanta dielektrik yang sama dengan konstanta dielektrik lingkungan sehingga intimenjadi sebuah rongga di dalam nanopartikel berbentuk bola. Rongga di dalam nanopartikel berbentuk bola logam bisa diatur posisinya sehingga dapat menghasilkan bentuk nanopartikel logam berlapis dengan inti yang tidak konsentris terhadap lapisannya. Spektrum hamburan logam sangat dipengaruhi oleh pergeseran rongga di dalam nanopartikel. Ketika rongga beradapada posisi yang konsentris, spektrum yang hasilkan adalah spektrum dengan profil simetris atau profil Lorenztian, tetapi saat rongga berada pada posisi yang tidak konsentris, muncul spektrum baru yang memiliki bentuk asimetris atau dikenal dengan profil Fano. Kuat lemahnyaspektral Fano yang dihasilkan juga sangat bergantung pada besarnya nilai pergeseran rongga didalam nanopartikel. Nilai pergeseran rongga yang semakin besar membuat spektral Fano semakin melemah.

Kata Kunci : quasi-static, nanopartikel, konsentris, spektrum, simetris, Fano, Lorenztian.

1. Latar Belakang

Fenomena resonansi adalah fenomena yang sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Tanpa disadari dalam aktivitas sehari-hari kita hidup dan berdampingan dengan fenomena ini. Kehadiran fenomena resonansi ini tentunya memberikan banyak manfaat bagi kehidupan manusia, salah satunya adalah pemanfaatan gelombang bunyi yang menjadi faktor pendukung utama bagi sistem pendengaran manusia. Resonansi didefinisikan sebagai keadaan yang terjadi saat suatu sistem berosilasi karena pengaruh gaya eksternal yang diberikan pada sistem tersebut. Kondisi tersebut dapat terjadi ketika besarnya frekuensi gaya eksternal yang diberikan lebih besar atau mendekati frekuensi alami sistem tersebut [1]. Sejauh ini, ada duajenis bentuk resonansi dibedakan yang berdasarkan bentuk spektral yang dihasilkan. Resonansi yang pertama dikarakterisasikan berdasarkan bentuk profil yang simetris, dikenal sebagai profil Lorentzian dan resonansi yang kedua dikarakterisasikan berdasarkan bentuk

profil asimetris atau dikenal dengan istilah profil Fano [2]. Penginderaan optik menjadi salah satu aplikasi terpenting dari pemanfaatan gejala resonansi plasmon permukaan. Secara mendasar penginderaan berbasis optik ini memanfaatkan sensitivitas respons optik suatu bahan berukuran nano terhadap cahaya baik itu sensitivitas perubahan spektrum hamburan maupun spektrum serapan cahaya oleh struktur berukuran nano akibat perubahan bentuk, ukuran danindeks bias lingkungan [3]. Profil resonansiFano yang asimetris ini memiliki banyak keunggulan dibandingkan spektral Lorentzian yang memiliki profil simetris [4]. Bentuk spektral resonansi Fano yang lebih tajam dibandingkan dengan spektral resonansi Lorentzian menjadi salah satukeunggulannya [5] dan dengan spektral yang lebih tajam dapat meningkatkan sensitivitas dan intensitas hamburan cahaya yang lebih besar dari pada resonansi Lorenztian [6].

Interaksi antara cahaya dengan material logam berstruktur nano dapat menghasilkan bentuk spektrum hamburan dengan profil spektral Fano [7]. Spektrum hamburan yang dihasilkan sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan, ukuran dan bentuk struktur nano sehingga dengan sifat yang sensitif ini menjadikan bentuk spektral asimetri yang dihasilkan mudah direkayasa, dikendalikan dan untuk dimanipulasi sedemikian rupa supaya menghasilkan respon optik sesuai dengan apa yang diharapkan. Karakteristik spektral Fano yang sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan, ukuran serta bentuk struktur nano tersebut menjadi daya tarik yang sangat besar untuk diamati, diteliti dan dikembangkan.

2. Metodologi

2.1 Model Nanopartikel dengan Rongga yang Tidak Konsentris

Nanopartikel berbentuk bola berlapis dengan posisi rongga yang letaknya tidak konsentris terhadap bola ditunjukan pada Gambar 1. R_1 dan R_2 merupakan jari-jari luar dan jari-jari dalam bola, E_0 merupakan energi gelombang datang, ϵ_0 , merupakan konstanta dielektrik di lingkungan sekitar, ϵ_1 adalah konstanta dielektrik pada lapisan bola dan dan ϵ_2 adalah konstanta dielektrik pada inti bola. L adalah jarak antar titik pusat inti dan lapisan.





Menyelesaikan persamaan Laplace untuk koordinat berbentuk bola akan menghasilkan ungkapan polarisabilitas seperti pada persamaan (1) sebagai berikut

$$P = 4\pi R_1^3 \left[\frac{\frac{Det_1 Det_2 A_1^c}{E_0 R_1} - \alpha \omega_1^2 \tilde{L}^2}{Det_1 Det_2 + \alpha (\omega^2 - \omega_2^2) \tilde{L}^2} \right]$$
(1)

Persamaan (1) merupakan persamaan polarisabilitas yang bergantung pada nilai frekuensi plasmon (ω_p) dari suatu bahan nanopartikel. Sedangkan nilai \tilde{L} menyatakan hubungan antara jari-jari bola dengan nilai pergeseran rongga di dalam nanopartikel bola. Kemudian menghitung spektrum hamburan cahaya oleh nanopartikel berikan oleh persamaan (2).

$$Q_{scatt} = \frac{k^2}{6\pi R_1^2} |P|^2$$
 (2)

 $k = 2\pi/\lambda$ dan *P* adalah polarisabilitas.

2.2 Tahapan Penelitian

3.1

Tahapan dalam penelitian ini ditunjukan pada Gambar 2. Sebagai berikut

Spektrum Hamburan Cahaya



Gambar 2. Diagram alir penelitian

3. Hasil dan Pembahasan



Gambar 3. Spektrum hamburan cahaya oleh nanopartikel emas dengan perubahan posisi letak rongga.

Gambar 3. Menunjukan nanopartikel berbahan emas dengan nilai pergeseran posisi rongga *L* sebesar 0 nm, 1 nm, 2 nm, 3 nm dan 4 nm. Pada saat rongga berada pada posisi konsentris (L = 0 nm), perhitungan spektrum hamburan menghasilkan dua puncak dengan spektral yang simetris. Puncak simetris yang lebih tingga terjadi pada daerah frekuensi rendah dan puncak yang lebih rendah terjadi pada daerah frekuensi tinggi. Ketika posisi rongga digeser dan menjadi tidak konsentris terhadap bola menghasilkan puncak baru dengan karakter spektral yang tidak simetris atau spektral Fano. Kemunculan spektraltidak simetris ini terjadi pada daerah frekuensi yang lebih tinggi. Semakin besar nilai pergeseran rongga, semakin tinggi pula puncak spektral tidak simetris yangdihasilkan tetapi spektral Fano semakin melemah dan puncak dengan spektral dengan profil simetris cenderung melemah.



3.2 Spektrum Hamburan Cahaya oleh Nanopartikel Berbahan Perak

Gambar 4. Spektrum hamburan cahaya oleh nanopartikel perakdengan perubahan posisi letak rongga.

Perhitungan spektrum hamburan pada nanopartikel berbentuk bola berongga pada nanopartikel berbahan perak ditunjukan pada Gambar 4. Spektrum Hamburan yang dihasilkan oleh nanopartikel berbahan perak memiliki karakter spektrum hamburan yang hampir sama seperti yang ditunjukan oleh karakter spektrum hamburan cahaya oleh nanopartikel berbahan emas. Perbedaan hanya menunjukan kemunculan puncakpuncak terjadi pada frekuensi yang berbeda. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan nilai ω_p antara nanopartikel berbahan emas dan naopartikel berbahan perak.



3.3 Spektrum Hamburan Cahaya oleh Nanopartikel Berbahan Tembaga

Gambar 5. Spektrum hamburan cahaya oleh nanopartikel tembaga dengan perubahan posisi letak rongga.

Gambar 5. menunjukan hasil perhitungan spektrum hamburan cahaya pada bahan tembaga. Hasil perhitungan hamburan spectrum cahaya pada bahan tembaga menunjukan bahwa ketika rongga berada pada posisiyang konsentris terhadap bola, muncul dua puncak dengan spektral simetris. Puncak simetris yang lebih tinggi muncul pada daerah frekuensi rendah dan puncak yang lebih rendah muncul pada daerah frekuensitinggi. Ketika rongga mulai digeser sehingga menghasilkan posisi yang tidak konsentris terhadap bola, memunculkan puncak baru dengan spektral asimetris, Semakin besar nilai pergeseran posisi rongga, semakin melemah spektral Fano yang dihasilkan. Puncak baru yang dihasilkan memiliki tinggi yang sangat signifikan dibandingkan dengan puncak dengan spektral simetris. Pada bahan tembaga memiliki karakter puncak yang sedikit berbeda di bandingkan bahan lainnya. Puncak dengan spectral asimetris terjadi pada saat L = 2 nm. Apabila nilai pergeseran posisi rongga semakin di perbesar, puncak dengan spektral asimetris akan semakin melemah diikuti dengan melemah spektral asimetris dan puncak dengan spektral simetris.



3.4 Spektrum Hamburan Cahaya oleh Nanopartikel Berbahan Aluminium



Gambar 6. menunjukan hasil perhitungan untuk nanopartikel berbahan aluminium. Pada bahan aluminium hanya muncul satu puncak simetris ketika rongga berada pada posisi yang konsentris terhadap bola. Ketika rongga mulai digeser muncul dua puncak baru dengan spektral asimetris. Puncak dengan spektral asimetris ini muncul pada frekuensi yang lebih kecil dari puncak simetris dan muncul pada frekuensi yang lebih besar dari puncak simetris. Semakin besar nilai pergeseran posisi rongga maka puncak dengan spektral asimetris semakin meningkat. Peningkatan tinggi puncak diikuti dengan melemahnya spektral asimetris yang dihasilkan. Puncak dengan spektral simetris cenderung melemah.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi yang telah dilakukan, diketahui bahwa pergeseran letak rongga mempengaruhi spektrum yang dihasilkan oleh nanopartikel. Puncak dengan spektral asimetris akan muncul ketika rongga berada posisi yang tidak konsentris terhadap bola. Semakin besar nilai pergeseran rongga, maka tinggi puncak dengan spektral simetris tersebut akan semakin meningkat dan spektral fano akanssemakin berkurang.

5. Daftar Pustaka

- Sugiyanto, A. Kajian Fenomena Resonansi Gelombang pada Beberapa Alat Musik dan Animasinya dalam Ponsel Menggunakan Flashlite. 2011, 22–23,2011.
- Joe, Y. S., Satanin, A. M., & Kim, C.
 Classical analogy of Fano resonances. Physica Scripta, 74(2), 259–266,2006.
- [3] Khan, A. D. Multiple Fano resonancesin bimetallic layered nanostructures. International Nano Letters, 4(2),2014.
- [4] Miroshnichenko, A. E., Flach, S., & Kivshar, Y. S. Fano resonances in nanoscale structures. Reviews of Modern Physics, 82(3), 2257– 2298,2010.
- [5] Zhao, W., Ju, D., & Jiang, Y. Sharp Fano

Resonance within Bi-periodic Silver Particle Array and Its Application as Plasmonic Sensor withUltra-high Figure of Merit. Plasmonics, 10(2), 469– 474,2015.

[6] Zhu, Z., Bai, B., You, O., Li, Q., & Fan,
 S. Fano resonance boosted cascaded optical field enhancement in aplasmonic nanoparticle-in-cavity nanoantenna array and its SERS application. Light:

Science and Applications,1–7,2015.

 [7] Luk'Yanchuk, B., Zheludev, N., Maier, S. A., Halas, N. J., Nordlander, P., Giessen, H., & Chong, C. T. The Fano resonance in plasmonic nanostructures and metamaterials. Nature Materials, 9(9), 707–715,2010.