

Pengaruh Geometri dan Polarisasi Cahaya terhadap Resonansi Plasmon Nanopartikel *Ellipsoid Core-Shell* SiO₂@Ag dan SiO₂@Au

Noni Novianti, Abi Syaibah, Ikhwan Fikri Maulidan, Mulda Muldarisnur*

Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 1 April 2025
Direvisi: 6 Mei 2025
Diterima: 2 Juli 2025

Kata kunci:

Ellipsoid Logam
Nanopartikel Core-Shell
Polarisasi Cahaya
Resonansi Plasmon Permukaan
Spektrum Extinction

Keywords:

Metal Ellipsoid
Core-Shell Nanoparticle
Light Polarization
Surface Plasmon Resonance
Extinction Spectrum

Penulis Korespondensi:

Mulda Muldarisnur
Email: muldarisnur@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Studi ini menjelaskan perilaku optik nanopartikel elipsoidal *core-shell* SiO₂@Ag dan SiO₂@Au akibat perubahan polarisasi cahaya dan geometri nanopartikel. Partikel menunjukkan dua mode resonansi yang kuat, longitudinal dan transversal, yang dapat dikontrol dengan memutar polarisasi cahaya datang sebesar 90° dan dengan demikian dapat digunakan untuk aplikasi sebagai sensor dan perangkat saklar optik. Sementara panjang gelombang resonansi tidak tergantung pada arah polarisasi, nilai *extinction* maksimum menunjukkan perubahan signifikan. Nanopartikel SiO₂@Ag menunjukkan *extinction* maksimum yang lebih tinggi serta puncak resonansi pada panjang gelombang yang lebih pendek daripada SiO₂@Au. Lebih lanjut, peningkatan rasio diameter teras terhadap kulit menginduksi pergeseran biru yang diikuti peningkatan *extinction* maksimum. Ukuran partikel keseluruhan tidak mempengaruhi lokasi puncak resonansi tetapi meningkatkan intensitas *extinction*. Rasio sumbu pendek terhadap sumbu panjang yang lebih besar menyebabkan pergeseran biru pada resonansi longitudinal. Penemuan ini menunjukkan bahwa kontrol struktur *core-shell* dan morfologi dapat digunakan untuk merekayasa kinerja optik nanopartikel dalam berbagai aplikasi nanofotonik.

This study reports the optical behaviors of SiO₂@Ag and SiO₂@Au core-shell ellipsoidal nanoparticles in terms of polarization of light and geometrical parameter changes. The particles showed two strong modes of resonances, longitudinal and transversal, which could be controlled by rotating the polarization of incident light by 90° and thus could find applications as sensor and optical switch devices. While the resonant wavelength is independent of polarization direction, while maximum extinction values indicate pronounced changes. SiO₂@Ag nanoparticle exhibit higher maximum extinction as well as the peak of resonance at a shorter wavelength than SiO₂@Au. Furthermore, an increase in the ratio of core diameter to shell induces a blue-shift and increasing extinction value. The overall particle size has no influence on the location of the peak of the resonance but increases the extinction intensity. The larger ratio of short axis to long axis also brings about blue-shift in longitudinal resonances. The finding demonstrates that core-shell structure control and morphology control can be used to engineer nanoparticle optical performance in diverse nanophotonic applications.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Nanopartikel logam menarik minat para peneliti selama dua dekade terakhir karena sifat optik, listrik, dan magnetiknya yang dapat dikontrol sebagai fungsi dari ukuran dan morfologi melalui proses sintesis (Fu et al., 2018; Liu et al., 2018). Nanopartikel logam dikembangkan untuk berbagai aplikasi seperti devais optik (Khodadadi et al., 2023), penyerap cahaya pada sel surya (Muldarisnur, et al., 2023a; Perdana & Muldarisnur, 2020), fotokatalisis (Wang et al., 2023), sensor biokimia (Muldarisnur et al., 2023b), diagnostik medis (Acimovic et al., 2014), dan terapi fototermal (Turcheniuk et al., 2024). Saat ini, teknik penginderaan biokimia yang akurat dan serbaguna sangat dibutuhkan untuk keperluan analisis industri, lingkungan, medis, keamanan, dan pencegahan penyebaran virus. Di antara banyak pendekatan lainnya, penginderaan resonansi plasmon permukaan (SPR) saat ini dianggap lebih menjanjikan untuk mendeteksi spesies biologis dan kimia dalam sampel cair atau gas (Hamza, et al., 2022). Penginderaan SPR memungkinkan pengukuran secara langsung (*real time*), tanpa *tag-molecules* sebagai label, membutuhkan volume sampel sangat sedikit, dan dengan akurasi serta sensitivitas tinggi. Sensitivitas dan akurasi tinggi pada penginderaan SPR terjadi karena perubahan resonansi plasmonik akibat perubahan kecil pada indeks bias medium di sekitar nanopartikel (Muldarisnur et al., 2023b). Resonansi plasmon permukaan terjadi ketika elektron bebas pada logam berosilasi secara koheren saat disinari oleh gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang yang sesuai.

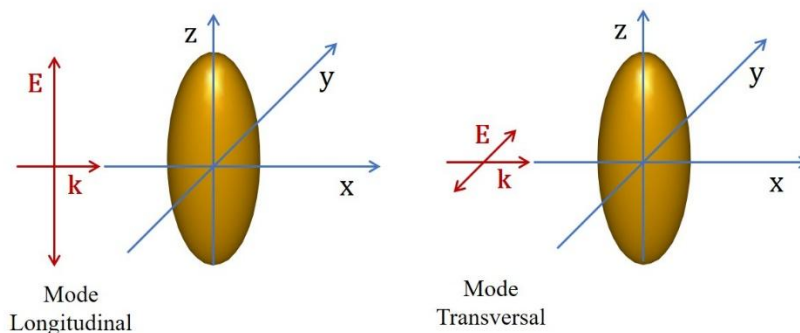
Meski menawarkan banyak kelebihan, sensor berbasis nanopartikel logam memiliki beberapa keterbatasan seperti keterbatasan kedalaman penetrasi medan *evanescent*, redaman intrinsik yang tinggi, dan keterbatasan rentang panjang gelombang resonansi (Farooq & Araujo 2018). Salah satu cara untuk mengatasi kelemahan ini adalah dengan menggunakan struktur *core-shell* dengan teras (*core*) berupa nanopartikel dielektrik seperti SiO₂ dan cangkang (*shell*) logam seperti perak atau emas. Struktur seperti ini dapat meningkatkan faktor kualitas resonansi dan memungkinkan kontrol panjang gelombang resonansi yang lebih fleksibel dengan menyesuaikan ukuran teras dan ketebalan cangkang. Teras dielektrik mengurangi redaman dan memperluas penetrasi medan *evanescent* yang dapat meningkatkan sensitivitas sensor (Anker et al., 2008). Disamping itu, cangkang logam memberikan perlindungan terhadap degradasi kimia, sehingga membuat sensor lebih tahan lama dalam berbagai kondisi lingkungan.

Pada penelitian ini dilaporkan sifat optik nanopartikel *core-shell* ellipsoid SiO₂@Au dan SiO₂@Ag. Nanopartikel *core-shell* ellipsoid sangat menjanjikan untuk berbagai aplikasi seperti sensor serta diagnostik dan terapi medis karena resonansi plasmoniknya dapat dimodulasi dari daerah cahaya tampak ke infra-merah dekat dengan variasi ukuran dan rasio aspek yang merupakan hasil bagi sumbu panjang (panjang) dibagi dengan sumbu pendek (lebar) dari ellipsoid (Muldarisnur et al., 2019b; Núñez-Leyva et al., 2021). Ellipsoid menunjukkan terjadinya pita serapan ganda akibat osilasi sepanjang kedua sumbu utama ellipsoid. Kehadiran kedua mode ini memberi mereka keuntungan dibandingkan bentuk nanopartikel lainnya (Muldarisnur et al., 2019a). Karakteristik ini dapat memperkuat peningkatan medan kuat yang meningkatkan respons optik untuk dua panjang gelombang dengan satu nanopartikel, hal yang tidak bisa diperoleh pada nanopartikel isotropik.

II. METODE

Spektrum *extinction* nanopartikel SiO₂@Ag dan SiO₂@Au dengan variasi ukuran, rasio aspek, dan polarisasi cahaya dihitung menggunakan metode elemen batas (Hohenester & Trügler 2012). *Extinction* adalah penjumlahan hamburan dan absorpsi cahaya oleh nanopartikel, yang menunjukkan kehilangan energi total dari sumber cahaya yang masuk ke detektor. Persamaan Maxwell diselesaikan untuk kasus nanopartikel *core-shell* yang diasumsikan terdispersi dalam medium dielektrik homogen yaitu air dengan indeks bias 1,33 dengan mengabaikan kebergantungannya terhadap frekuensi. Konstanta dielektrik bergantung frekuensi dari perak dan emas diambil dari data eksperimental (Polyanskiy 2024). Nanopartikel logam dieksitasi dengan medan eksternal berupa gelombang datar (*plane wave*) dengan panjang gelombang antara 300 – 900 nm dengan variasi sudut polarisasi medan listrik terhadap sumbu ellipsoid. Iradiasi gelombang elektromagnetik mengakibatkan polarisasi elektron bebas dengan gaya pemulih Coulomb sebanding dengan ukuran partikel. Variasi periodik gaya pemulihan menghasilkan osilasi elektron bebas yang koheren. Untuk perhitungan, permukaan logam

didiskritisasi dan persamaan Maxwell diselesaikan menggunakan syarat kontinuitas medan dan potensial pada bidang batas.



Gambar 1 Nanopartikel *core-shell* elipsoid prolata dengan polarisasi medan listrik cahaya datang sejajar dengan sumbu panjang (mode longitudinal) dan sejajar sumbu pendek (mode transversal). Sumbu panjang sejajar dengan sumbu-z, sedangkan sumbu pendek berada pada bidang-xy.

Panjang sumbu panjang elipsoid divariasikan antara 10 - 60 nm, dengan kenaikan 5 nm, sedangkan rasio panjang sumbu pendek terhadap sumbu panjang adalah 0,4, 0,6, dan 0,8. Sebagian besar variasi dilakukan dengan asumsi rasio diameter teras dan cangkang adalah 0,8 kecuali saat rasio ini divariasikan antara 0,1 – 0,9. Gelombang datar berpropagasi dalam arah sumbu-x, dengan polarisasi medan listrik divariasikan membentuk sudut pada bidang-yz. Sudut 0° dan 180° terkait dengan polarisasi sejajar sumbu-y, sedangkan sudut 90° terkait dengan polarisasi sejajar sumbu-z seperti ditampilkan pada Gambar 1.

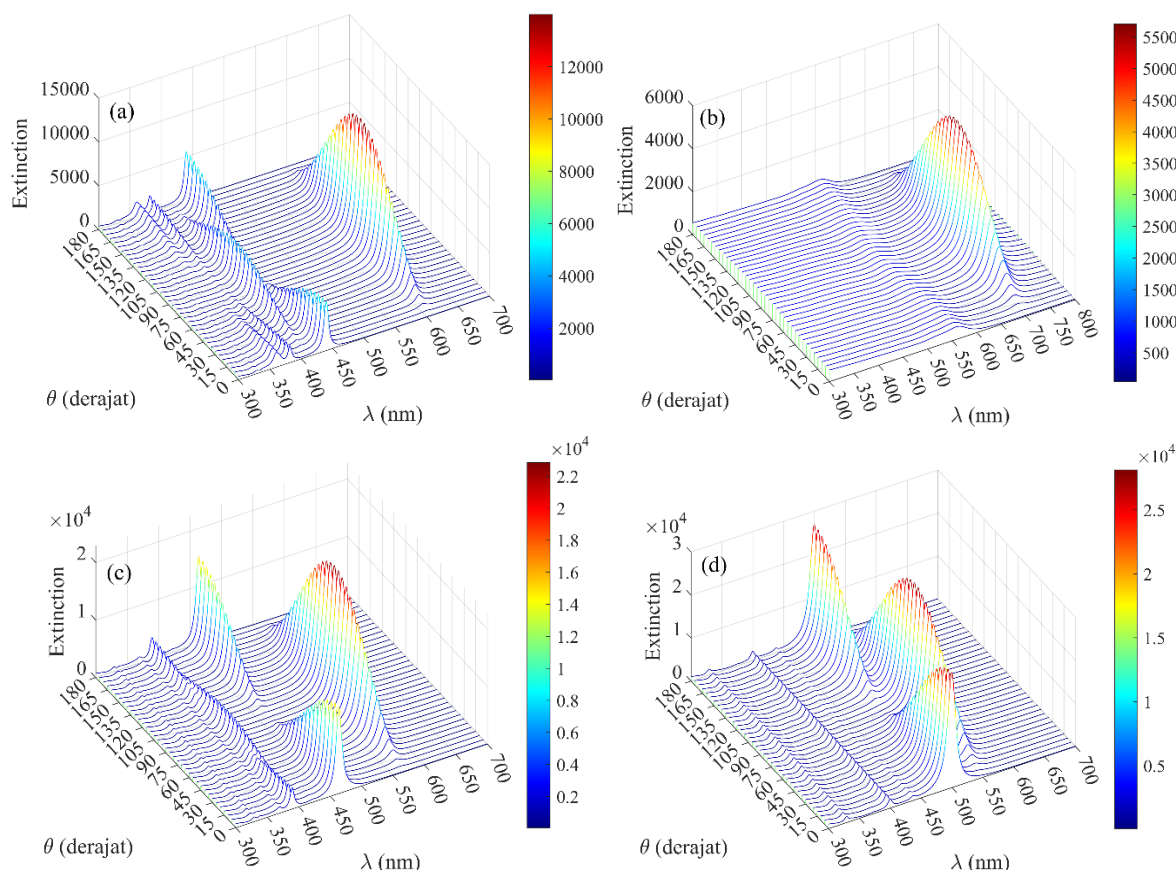
III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Pengaruh Polarisasi Gelombang Datar

Gambar 2 memperlihatkan kurva extinction nanopartikel elipsoid prolata dengan struktur *core-shell*. Dua puncak resonansi terlihat jelas untuk semua variasi rasio sumbu pendek terhadap sumbu panjang. Puncak resonansi longitudinal pada panjang gelombang 607 nm, 569 nm, dan 551 nm untuk rasio 0,4, 0,6, dan 0,8 secara berurutan terjadi ketika orientasi medan listrik gelombang datang sejajar sumbu-z (sudut polarisasi 0° atau 180°). Sedangkan puncak resonansi transversal pada panjang gelombang 441 nm, 465 nm, dan 500 nm untuk rasio 0,4, 0,6, dan 0,8 secara berurutan terjadi ketika orientasi medan listrik gelombang datang sejajar sumbu-y (sudut polarisasi 90°). Maksimum resonansi longitudinal dan transversal terjadi pada sudut polarisasi berbeda 90°. Spektrum extinction nanopartikel SiO₂@Ag dan SiO₂@Au, memiliki kemiripan, perbedaan terlihat pada panjang gelombang resonansi, lebar pita resonansi, dan teramatinya puncak frekuensi tinggi pada SiO₂@Ag. Hal ini disebabkan, Ag memiliki konduktivitas yang lebih tinggi dan redaman akibat absorpsi transisi inter-band yang lebih rendah.

Resonansi plasmon muncul ketika medan listrik cahaya yang datang menyebabkan osilasi kolektif elektron bebas pada permukaan nanopartikel. Ketika polarisasi cahaya sejajar sumbu pendek (mode transversal), gaya pemulih untuk osilasi elektron relatif lebih besar karena perpindahan elektron lebih pendek. Oleh karena itu, osilasi berada pada frekuensi yang lebih tinggi, dan resonansi berada pada panjang gelombang yang lebih pendek. Sebaliknya, ketika polarisasi cahaya berada di sepanjang sumbu panjang (longitudinal), elektron mengalami perpindahan yang lebih besar sebelum gaya pemulih mengembalikannya, sehingga frekuensi osilasi lebih rendah dan resonansi terjadi pada panjang gelombang yang lebih panjang. Hal ini memberikan dua mode resonansi yang berbeda dalam bentuk nanopartikel anisotropik seperti elipsoid: mode longitudinal dan mode transversal. Fenomena ini memungkinkan kontrol panjang gelombang resonansi dengan menyesuaikan orientasi partikel atau arah polarisasi cahaya, yang sangat berguna dalam aplikasi seperti sensor optik, teknologi fototermal, dan

spektroskopi. Puncak resonansi longitudinal dan transversal makin mendekat satu sama lain pada saat rasio sumbu pendek terhadap sumbu panjang membesar. Ketika rasio panjang sumbu pendek terhadap sumbu panjang nanopartikel elipsoid prolata (SiO₂@Ag atau SiO₂@Au) besar, yaitu bentuk nanopartikel cenderung ke arah bola sempurna, maka puncak longitudinal dan transversal dari resonansi plasmon permukaan terlokalisasi (LSPR) akan cenderung menjadi identik. Hal ini disebabkan karena perbedaan lokal medan listrik sepanjang sumbu panjang dan pendek berkurang saat bentuk partikel cenderung ke arah simetrik.

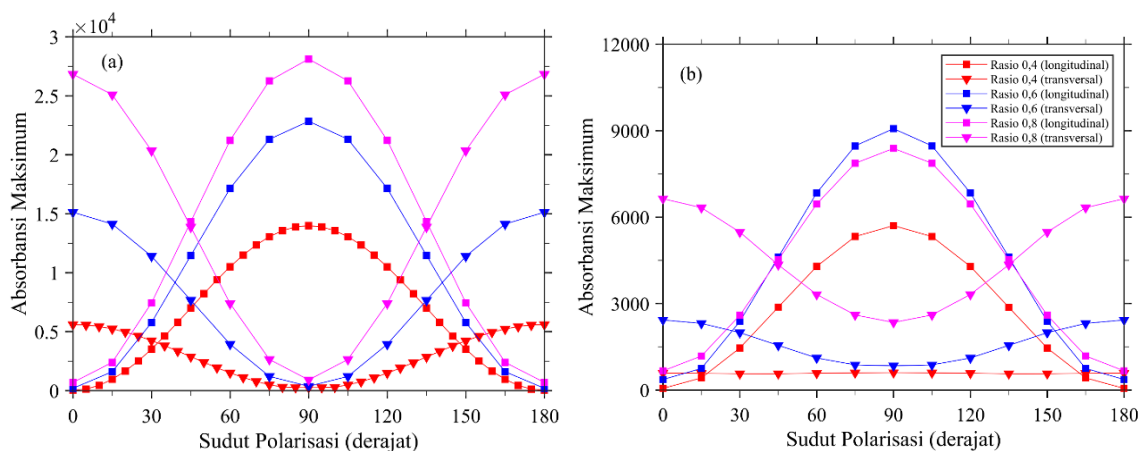


Gambar 2 Kurva extinction dari nanopartikel SiO₂@Ag dan SiO₂@Au sebagai fungsi polarisasi medan listrik untuk tiga variasi rasio antara sumbu pendek terhadap sumbu panjang, (a) SiO₂@Ag dengan rasio 0,4, (b) SiO₂@Au dengan rasio 0,4, (c) SiO₂@Ag dengan rasio 0,6, dan (d) SiO₂@Ag dengan rasio 0,8. Skala warna menunjukkan nilai extinction.

Pada kasus bentuk elipsoid prolata (memanjang), anisotropi bentuk menyebabkan elektron yang berosilasi sepanjang sumbu panjang mengalami gaya pemulih yang lebih lemah dibandingkan dengan sumbu pendek, sehingga menghasilkan dua puncak resonansi yang berbeda. Namun, ketika bentuk nanopartikel mendekati bulat (rasio sumbu pendek terhadap sumbu panjang mendekati satu), osilasi elektronik menjadi hampir isotropik karena distribusi medan menjadi seragam di semua arah. Akibatnya, panjang gelombang resonansi untuk mode longitudinal dan transversal menjadi hampir identik, menyebabkan kedua puncak resonansi mendekati atau bahkan bergabung menjadi satu. Morfologi *core-shell* juga memengaruhi perilaku resonansi melalui kontras indeks bias dan efek plasmon hibridisasi, efek utamanya berasal dari perubahan geometri partikel.

Ketika rasio sumbu pendek terhadap sumbu panjang semakin besar, medan lokal yang dialami oleh elektron bebas dalam kedua arah menjadi semakin seragam. Sehingga kekuatan interaksi medan elektromagnetik luar terhadap mode longitudinal dan transversal menjadi lebih seimbang, sehingga extinction maksimum dari kedua mode makin mendekati sama, walaupun puncak resonansinya tetap berada pada panjang gelombang yang berbeda sebagaimana terlihat pada Gambar 3. Secara fisika, hal ini menunjukkan bahwa perbedaan respons optik antara dua arah utama osilasi lemah karena geometri partikel yang semakin simetris. Meskipun nilai panjang gelombangnya selalu berbeda (karena orientasi

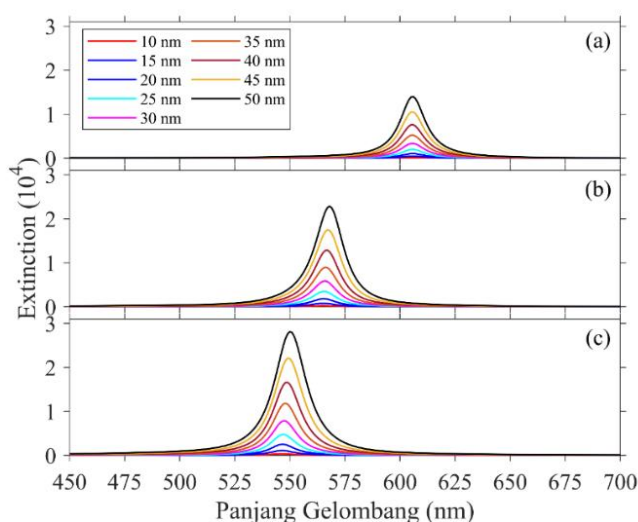
osilasi yang masih berbeda), efisiensi penyerapan dan hamburannya juga menjadi semakin mirip, karena kontras medan lokal dan distribusi muatan antar dua mode itu berkurang.



Gambar 3 Extinction maksimum nanopartikel: (a) SiO₂@Ag dan (b) SiO₂@Au untuk puncak resonansi longitudinal (segi empat) dan transversal (segi tiga). Warna berbeda menunjukkan variasi rasio antara panjang sumbu pendek terhadap sumbu panjang, 0,4 (merah), 0,6 (biru), dan 0,8 (magenta).

3.2 Pengaruh Ukuran Nanopartikel

Pada nanopartikel ellipsoid dengan struktur *core-shell* SiO₂@Ag dan SiO₂@Au, panjang sumbu utama tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap panjang gelombang resonansi longitudinal (lihat Gambar 4). Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa frekuensi resonansi dari mode longitudinal terutama ditentukan oleh rasio antara sumbu panjang dan sumbu pendek, dibanding nilai absolut dari panjang sumbu tersebut. Resonansi plasmon memiliki sifat geometrik yang bergantung pada bentuk relatif, bukan pada ukuran absolut ketika berada dalam batas ukuran *sub-wavelength*. Oleh karena itu, perluasan sumbu panjang tanpa modifikasi sumbu pendek tidak memengaruhi lokasi puncak resonansi. Namun, hal ini meningkatkan jumlah elektron bebas yang mampu beresonansi di sepanjang sumbu, sehingga mengakibatkan peningkatan *extinction* maksimum karena menguatnya interaksi antara medan elektromagnetik dan elektron bebas.



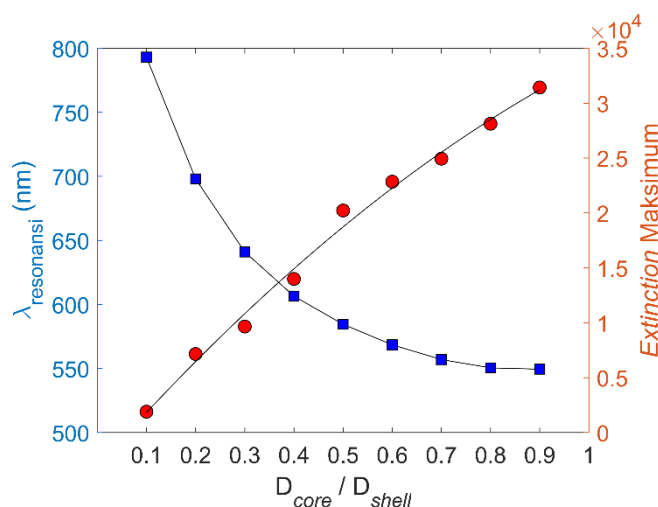
Gambar 4 Kurva *extinction* nanoparticle *core-shell* SiO₂@Ag dengan panjang sumbu panjang bervariasi seperti pada legenda dan rasio panjang sumbu pendek terhadap sumbu panjang adalah: (a) 0,4, (b) 0,6, dan (c) 0,8.

Ketika rasio sumbu pendek terhadap sumbu panjang menjadi semakin besar, nanopartikel menjadi kurang anisotropik. Dalam konteks ini, gaya pemulihan elektrostatis yang berpengaruh terhadap osilasi elektron sepanjang sumbu longitudinal meningkat akibat pengurangan perbedaan geometri yang sebelumnya memperpanjang osilasi. Fenomena ini mengakibatkan peningkatan frekuensi resonansi longitudinal, yang pada gilirannya menyebabkan pergeseran panjang gelombang resonansi ke arah yang lebih pendek (*blue-shift*). Selain itu, bentuk yang lebih simetris berkontribusi pada

peningkatan efisiensi resonansi, mengingat bahwa medan lokal menjadi lebih homogen dan tidak terdispersi, sehingga *extinction* maksimum mengalami peningkatan.

3.3 Pengaruh Rasio *Core* terhadap *Shell*

Gambar 5 menunjukkan pergeseran biru puncak resonansi mode longitudinal dan peningkatan *extinction* maksimum ketika rasio antara ukuran teras (*core*) terhadap cangkang (*shell*) semakin besar. Pada nanopartikel *core-shell* berbentuk elipsoid, seperti teras dielektrik dan kulit logam, mode resonansi plasmon longitudinal sangat dipengaruhi oleh interaksi antara material teras dan kulit logam. Ketika rasio diameter teras terhadap diameter keseluruhan (teras + kulit) meningkat mendekati satu, itu berarti ketebalan kulit logam berkurang. Di sini, elektron bebas dalam kulit mengalami gaya pemulihan elektrostatik yang lebih besar karena berada di dekat batas dielektrik (teras), membuat osilasi kolektif mereka lebih kompak (padat).



Gambar 5 Panjang gelombang resonansi mode longitudinal dan nilai maksimum *extinction* nanopartikel *core-shell* SiO₂@Ag dengan variasi rasio diameter teras (*core*) terhadap cangkang (*shell*).

Efek dari fenomena ini adalah peningkatan frekuensi resonansi, yang menyebabkan resonansi longitudinal puncak bergerak ke arah panjang gelombang cahaya yang lebih pendek (pergeseran biru). Selain itu, lapisan logam yang lebih tipis membuat medan listrik lokal di sekitar kulit lebih terlokalisasi serta intens, oleh karena itu, interaksi antara nanopartikel dan cahaya bertambah. Akibatnya, nilai *extinction* (penyerapan total dan hamburan total) maksimum meningkat, karena peningkatan tajam dalam medan elektromagnetik lokal yang disebabkan oleh resonansi plasmon. Secara fisika, fenomena ini mencerminkan peningkatan efisiensi resonansi plasmon karena respons struktur cangkang yang lebih sensitif terhadap medan eksternal untuk geometri *core-shell* dengan rasio diameter hampir satu.

IV. KESIMPULAN

Nanopartikel elipsoid *core-shell* menunjukkan dua puncak resonansi utama, yaitu mode longitudinal dan transversal, yang dapat diatur melalui perubahan polarisasi cahaya datang sebesar 90°, sehingga berpotensi besar digunakan sebagai sensor dan saklar optik. Meskipun panjang gelombang resonansi kedua mode ini tidak berubah terhadap polarisasi, nilai *extinction* maksimum dapat berubah. Nanopartikel SiO₂@Ag dan SiO₂@Au memiliki respons terhadap polarisasi yang serupa, namun SiO₂@Ag menunjukkan maksimum *extinction* yang lebih tinggi serta puncak resonansi pada panjang gelombang yang lebih pendek. Selain itu, peningkatan rasio diameter *core* terhadap *shell* menyebabkan pergeseran resonansi ke arah panjang gelombang yang lebih pendek (*blue-shift*) disertai peningkatan *extinction* maksimum. Sementara itu, peningkatan ukuran keseluruhan nanopartikel tidak memengaruhi posisi puncak resonansi longitudinal, melainkan hanya meningkatkan nilai *extinction*. Semakin besar rasio antara sumbu pendek terhadap sumbu panjang menghasilkan pergeseran *blue-shift* pada resonansi longitudinal, menunjukkan pengaruh kuat bentuk geometri terhadap sifat optik nanopartikel.

DAFTAR PUSTAKA

- Acimovic, S. S., Ortega, M. A., Sanz, V., Berthelot, J., Garcia-Cordero, J. L., Renger, J., Maerkl, S. J., Kreuzer, M. P., & Quidant, R. (2014). LSPR Chip for Parallel, Rapid, and Sensitive Detection of Cancer Markers in Serum. *Nano Letters*, 14(5), 2636–2641, <https://doi.org/10.1021/nl500574n>
- Anker, J. N., Hall, W. P., Lyandres, O., Shah, N. C., Zhao, J., & Duyne, R. P. V. (2008). Biosensing with plasmonic nanosensors. *Nature Materials*, 7, 442–453, <https://doi.org/10.1038/nmat2162>
- Farooq, S., & Araujo, R. E. d. (2018). Engineering a Localized Surface Plasmon Resonance Platform for Molecular Biosensing. *Open Journal of Applied Sciences*, 8, 126–139, <https://doi.org/10.4236/ojapps.2018.83010>
- Fu, X., Cai, J., Zhang, X., Li, W.-D., Ge, H., & Hu, Y. (2018). Top-down fabrication of shape-controlled, monodisperse nanoparticles for biomedical applications. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 132, 169–187, <https://doi.org/10.1016/j.addr.2018.07.006>
- Hamza, M. E., Othman, M. A., & Swillam, M. A. (2022). Plasmonic Biosensors: Review. *Biology*, 11(5), 621, <https://doi.org/10.3390/biology11050621>
- Hohenester, U., & Trügler, A. (2012). MNPBEM – A Matlab toolbox for the simulation of plasmonic nanoparticles. *Computer Physics Communications*, 183, 370–381, <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2011.09.009>
- Khodadadi, M., Moshiri, S. M. M., Nozhat, N., & Khalily, M. (2023). Controllable hybrid plasmonic integrated circuit. *Scientific Reports* volume, 13, 9983, <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37228-4>
- Liu, J., He, H., Xiao, D., Yin, S., Ji, W., Jiang, S., Luo, D., Wang, B., & Liu, Y. (2018). Recent Advances of Plasmonic Nanoparticles and their Applications. *Materials*, 11(10), 1833, <https://doi.org/10.3390/ma11101833>
- Muldarisnur, M., Fahendri, F., Perdana, I., Abdullah, Z., & Yusfi, M. (2023a). Light absorption enhancement in organic solar cell using non-concentric Ag:SiO₂ core-shell nanoparticles. *Communications in Science and Technology*, 8(1), 50–56, <https://doi.org/10.21924/cst.8.1.2023.1076>
- Muldarisnur, M., Fridayanti, N., Oktorina, E., Zeni, E., Elvaswer, E., & Syukri, S. (2019a). Effect of nanoparticle geometry on sensitivity of metal nanoparticle based sensor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 578(1), 012036, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/578/1/012036>
- Muldarisnur, M., Oktorina, E., Fridayanti, N., Zeni, E., Elvaswer, E., & Syukri, S. (2019b). Size and aspect ratio dependency of sensitivity of ellipsoidal metal nanoparticle based liquid sensor. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 578, 012035, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/578/1/012035>
- Muldarisnur, M., Perdana, I., Elvaswer, E., & Puryanti, D. (2023b). Mapping of Sensing Performance of Concentric and Non-Concentric Silver Nanoring. *Emerging Science Journal*, 7(4), 1083–1099, <https://doi.org/10.28991/ESJ-2023-07-04-04>
- Núñez-Leyva, J. M., Kolosovas-Machuca, E. S., Sánchez, J., Guevara, E., Cuadrado, A., Alda, J., & González, F. J. (2021). Computational and Experimental Analysis of Gold Nanorods in Terms of Their Morphology: Spectral Absorption and Local Field Enhancement. *Nanomaterials*, 11, 1696, <https://doi.org/10.3390/nano11071696>
- Perdana, I., & Muldarisnur, M. (2020). Pengaruh Variasi Periodisitas Nanopartikel Ag-SiO₂ terhadap Peningkatan Absorpsi Cahaya Matahari pada Sel Surya Organik. *Jurnal Fisika Unand*, 9(2), 202–208, <https://doi.org/10.25077/jfu.9.2.202-208.2020>
- Polyanskiy, M. N. (2024). Refractiveindex.info database of optical constants. *Sci. Data*, 11(94), 1–19, <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02898-2>
- Turcheniuk, K., Dumych, T., Bilyy, R., Turcheniuk, V., Bouckaert, J., Vovk, V., Chopyak, V., Zaitsev, V., Mariot, P., Prevarskaya, N., Boukherroub, R., & Szunerits, S. (2024). Expression of concern: Plasmonic photothermal cancer therapy with gold nanorods/reduced graphene oxide core/shell nanocomposites. *RSC Advances*, 14(52), 38578, <https://doi.org/10.1039/d4ra90135e>

Wang, T., Wang, H.-J., Lin, J.-S., Yang, J.-L., Zhang, F.-L., Lin, X.-M., Zhang, Y.-J., Jin, S., & Li, J.-F. (2023). Plasmonic photocatalysis: Mechanism, applications and perspectives. *Chinese Journal of Structural Chemistry*, 42(9), 100066, <https://doi.org/10.1016/j.cjsc.2023.100066>