Fabrikasi Sel Surya Bulk Heterojunction Performa Tinggi dengan Efek Resonansi Plasmon dari Nanopartikel Emas dalam Struktur 2D Array

PPMI KK 2026

Priastuti Wulandari [1], Alexander A. P. Iskandar [1], Rahmat Hidayat [1], Herman [1], Agoes Soehianie [1], Eliza P. Hapsari [1], Muhammad Haidar Aziz [1], Alvin Fariz [1], dan Dinta [1]

[1] Kelompok Keilmuan Fisika Magnetik dan Fotonik, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

Abstrak

Dye-sensitized solar cell (DSSC) merupakan perangkat fotovoltaik generasi ketiga yang memiliki potensi pengembangan karena fabrikasinya sederhana dan biaya produksinya rendah, tetapi masih menghadapi keterbatasan efisiensi. Penelitian ini mengkaji pengaruh penambahan nanopartikel emas (AuNPs) dengan *capping agent* oleylamine (AuOA) dan 3-mercaptopropionic acid (AuMPA) terhadap sifat optik dan kimia Dye N-719 serta kinerja *dye-sensitized solar cell* (DSSC). Karakterisasi dilakukan menggunakan UV–Vis, FTIR, Raman, SEM, dan pengukuran J–V. Kedua AuNPs menunjukkan puncak LSPR pada 530,97 nm, dengan AuMPA memiliki stabilitas lebih baik dibandingkan AuOA. Penambahan AuNPs meningkatkan kinerja DSSC, ditunjukkan oleh kenaikan Jsc dari 16,93 menjadi 17,09 mA/cm^2, Voc dari 0,70 menjadi 0,71 V, dan efisiensi sebesar 0,16%.

Keyword: Dye Sensitized Solar Cell, Localized Surface Plasmon, Gold nanoparticles, N-719 .

Latar Belakang

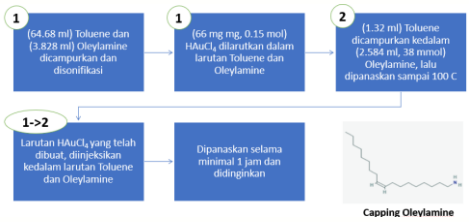
Permintaan listrik global yang terus meningkat mendorong pengembangan energi terbarukan, khususnya energi surya. Salah satu teknologi yang potensial adalah *dye-sensitized solar cells* (DSSCs) karena fabrikasinya sederhana dan biaya produksinya rendah. Namun, efisiensi dan kemampuan penyerapan cahayanya masih menjadi tantangan.

Salah satu strategi peningkatan kinerja DSSC adalah penambahan nanopartikel emas (AuNPs) yang memiliki fenomena *localized surface plasmon resonance* (LSPR). Resonansi ini menghasilkan penguatan medan elektromagnetik lokal yang berpotensi meningkatkan penyerapan cahaya. Meskipun demikian, interaksi antara AuNPs dan Dye, khususnya pengaruh *capping agent*, masih perlu dikaji lebih lanjut.

Penelitian ini membandingkan AuNPs dengan *capping agent* oleylamine (AuOA) dan 3-mercaptopropionic acid (AuMPA) untuk mengevaluasi pengaruh modifikasi permukaan nanopartikel terhadap sifat optik dan kimia Dye N-719 serta kinerja DSSC.

Metodologi Penelitian

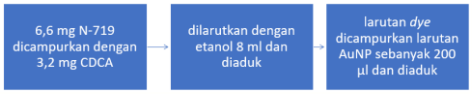
Sintesis Nanopartikel Emas dengan Capping Oleylamine (AuOA)



Sintesis Nanopartikel Emas dengan Capping 3-Mercaptopropionic Acid (AuMPA)



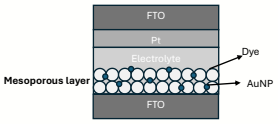
Preparasi Dye N-719 dengan Penambahan Koloid AuNP



Fabrikasi DSSC

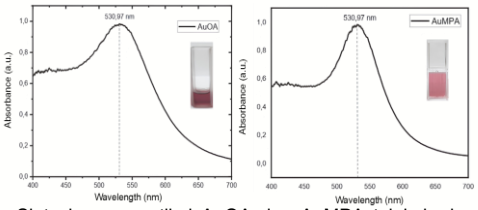


Struktur DSSC dengan Penambahan AuNPs



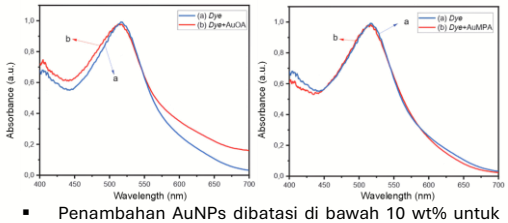
Hasil dan Diskusi

Spektrum Absorbansi AuOA dan AuMPA



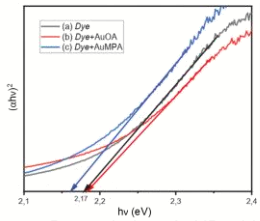
Sintesis nanopartikel AuOA dan AuMPA telah berhasil ditunjukkan dengan munculnya puncak *Localized Surface Plasmon Resonance* (LSPR) pada 530,97 nm.

Spektrum absorpsi Dye N-719 sebelum dan setelah penambahan AuNP



- Penambahan AuNPs dibatasi di bawah 10 wt% untuk menjaga stabilitas Dye N-719.
- **AuOA:** Menyebabkan pelebaran spektrum absorpsi, mengindikasikan tumpang tindih spektral dan kemungkinan pembentukan agregat awal.
- **AuMPA:** Tidak menunjukkan perubahan spektrum signifikan, mengindikasikan kompatibilitas dan stabilitas yang lebih baik dalam larutan N-719.

Tauc Plot Dye N-719 dengan Penambahan AuOA dan AuMPA



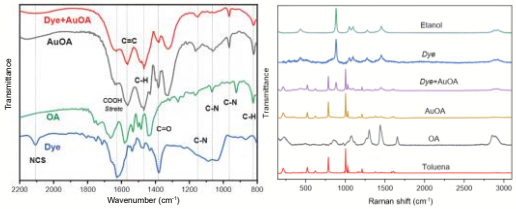
Celah pita optik (*optical band gap*) dianalisis menggunakan metode *Tauc plot* dari spektrum absorpsi

Nilai *band gap*:

- N-719: 2,17 eV
- N-719 + AuOA: 2,18 eV
- N-719 + AuMPA: 2,16 eV

- Penambahan AuNPs tidak mengubah *band gap* N-719 secara signifikan.
- AuNPs berperan terutama dalam peningkatan sifat optik, bukan modifikasi struktur elektronik Dye.

Spektrum FTIR dan Raman Dye N-719, Oleylamine, AuOA, dan N-719 dengan Penambahan AuOA



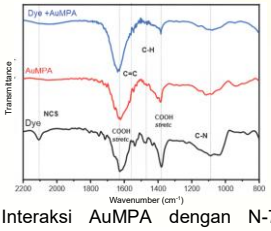
FTIR

- Pergeseran pita vibrasi C–H dan C–N turut mengindikasikan adanya interaksi antarmolekul.
- Hasil ini menunjukkan bahwa AuOA berinteraksi dengan N-719 dan berpotensi memengaruhi konfigurasi ikatan serta struktur elektronik Dye.

Raman

Hasil Raman konsisten dengan FTIR, menunjukkan adanya interaksi molekuler AuOA dengan N-719 yang memengaruhi karakteristik struktural dan vibrasi Dye.

Spektrum FTIR dan Raman Dye N-719, AuMPA, dan N-719 dengan Penambahan AuMPA



Penambahan AuMPA menyebabkan pergeseran pita vibrasi regangan gugus karboksil (–COOH) pada N-719.

Interaksi AuMPA dengan N-719 terindikasi melalui pergeseran pita vibrasi gugus –COOH dan C–N, dengan perubahan spektral yang relatif moderat sehingga struktur N-719 tetap terjaga.

Citra SEM

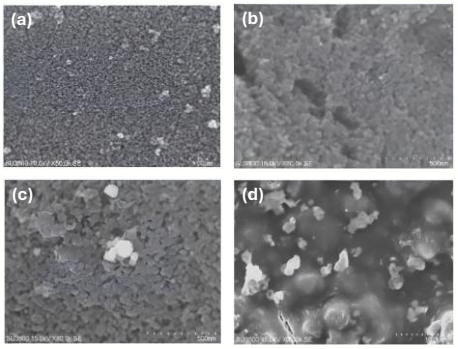
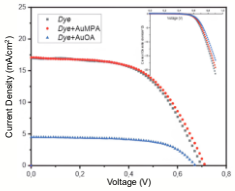


Figure 10a–b: Adsorpsi N-719 tidak menyebabkan perubahan morfologi yang signifikan pada lapisan mesopori TiO_2.

Figure 10c–d: Partikel putih pada permukaan TiO_2 mengindikasikan keberadaan AuNPs setelah penambahan AuMPA dan AuOA.

Karakteristik J–V DSSC dengan Penambahan AuNPs sebelum dan setelah penyimpanan selama 5 bulan



- Penambahan AuMPA meningkatkan efisiensi DSSC sebesar 0,16%.
- Penambahan AuOA menurunkan efisiensi DSSC sebesar 4,78%, diduga akibat agregasi nanopartikel dan gangguan struktur kimia Dye N-719.

Kesimpulan

- AuOA dan AuMPA memiliki puncak plasmonik pada 530,97 nm. Namun, AuMPA mampu mempertahankan kestabilan spektrum absorbansi N-719.
- Analisis FTIR menunjukkan adanya interaksi antara nanopartikel emas dan molekul Dye N-719.
- Karakterisasi SEM mengonfirmasi keberadaan AuNPs pada lapisan mesopori TiO_2, dengan ukuran rata-rata AuMPA sekitar 52 nm.
- Penambahan AuMPA meningkatkan kinerja DSSC (Jsc = 17,09 mA/cm²; Voc = 0,71 V), sedangkan penambahan AuOA menyebabkan penurunan kinerja perangkat secara signifikan.