

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan populasi dunia yang terus meningkat secara langsung mendorong peningkatan kebutuhan energi. Sampai saat ini, kebutuhan energi sebagian besar masih bergantung pada sumber daya fosil, seperti gas alam, batubara, dan minyak bumi, yang mencakup sekitar 87,7% dari total pemakaian energi dunia. Meskipun merupakan sumber energi utama, pemanfaatan bahan bakar fosil menyebabkan dampak lingkungan yang signifikan, salah satunya adalah pemanasan global yang semakin mengancam (Roy dkk., 2022). Untuk mengatasi tantangan ini, transisi menuju sumber energi berkelanjutan yang lebih ramah lingkungan menjadi sangat penting. Salah satu opsi yang menjanjikan adalah memanfaatkan energi matahari sebagai sumber daya energi melalui dua pendekatan utama yaitu mengubah sinar matahari menjadi energi panas (termal) atau menjadi listrik menggunakan panel fotovoltaik (Rifky dkk., 2023).

Energi matahari merupakan salah satu sumber energi terbarukan dengan peluang yang menjanjikan. Salah satu teknologi yang dapat memanfaatkan energi matahari secara langsung adalah teknologi sel surya, yang berfungsi untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi listrik melalui proses fotovoltaik. Namun demikian, kontribusi energi matahari terhadap pasokan listrik global saat ini masih tergolong rendah, yaitu kurang dari 4,5%. Rendahnya kontribusi ini disebabkan oleh efisiensi sel surya yang belum optimal dan biaya produksi yang masih relatif tinggi (Rudiyanto dkk., 2023). Meskipun menghadapi berbagai kendala, teknologi sel surya terus menunjukkan perkembangan pesat dalam mengatasi keterbatasan tersebut.

Teknologi sel surya telah berkembang melalui beberapa generasi dengan karakteristik yang berbeda. Generasi pertama menggunakan silikon sebagai bahan utama untuk mengonversi energi matahari menjadi listrik, namun menghadapi kendala berupa biaya fabrikasi yang relatif tinggi. Untuk mengatasi masalah

tersebut, generasi kedua dikembangkan dengan memanfaatkan material berbasis lapisan tipis seperti silikon amorf, copper indium gallium selenide (CIGS), dan cadmium telluride (CdTe), yang bertujuan menekan biaya produksi. Meskipun demikian, efisiensi sel surya generasi kedua masih terbatas sehingga belum mampu memenuhi kebutuhan energi secara optimal (Jayawardena dkk., 2013).

Sebagai alternatif, generasi ketiga sel surya hadir dengan efisiensi yang lebih tinggi dan biaya produksi yang lebih rendah. Generasi ini mencakup berbagai inovasi teknologi, termasuk sel surya berbasis tembaga, timah sulfida, seng, *dye-sensitized solar cells* (DSSC), polimer, organik, serta *perovskite solar cells* (PSC). Keberagaman material dan teknologi dalam generasi ini telah memperluas potensi pemanfaatan energi matahari secara global.

Di antara berbagai teknologi sel surya generasi ketiga, *perovskite solar cells* (PSC) menjadi sorotan utama sebagai salah satu inovasi yang paling menjanjikan. Teknologi ini memiliki sejumlah keunggulan, termasuk kemampuan penyerapan cahaya yang sangat tinggi, mobilitas pembawa muatan yang efisien, masa pakai pembawa muatan yang panjang, dan proses produksi yang relatif sederhana (Bakr dkk., 2017). Keunggulan ini menjadikan PSC mampu mencapai efisiensi konversi daya (PCE) yang tinggi dengan biaya produksi yang lebih rendah dibandingkan teknologi lain. Namun, meskipun potensi PSC sangat besar, stabilitas materialnya masih menjadi tantangan utama. Degradasi material selama penggunaan jangka panjang menghambat langkah menuju komersialisasi, terutama bila dibandingkan dengan kinerja sel surya berbasis silikon yang telah terbukti lebih stabil. Stabilitas merupakan salah satu parameter pengujian kinerja perangkat *perovskite*, selain *power conversion efficiency* yang sering dipakai dalam penelitian (Tan dkk., 2017).

*MethylAmmonium Lead Iodide* (MAPbI<sub>3</sub>) merupakan material kunci dalam pengembangan *perovskite solar cells* (PSC) karena efisiensi konversi energinya yang tinggi dan biaya produksinya yang rendah serta proses fabrikasi yang mudah. Karakteristik ini menjadikan MAPbI<sub>3</sub> sebagai kandidat unggul dalam teknologi *perovskite*.

Teknik *spin-coating* dengan penambahan anti-*solvent* telah terbukti menjadi pendekatan yang efektif untuk meningkatkan kualitas bahan MAPbI<sub>3</sub>,

menghasilkan film dengan permukaan yang halus dan ukuran kristal yang lebih besar. Pengoptimalan lebih lanjut melalui doping atau penerapan lapisan transportasi elektron (ETL) berbasis  $\text{SnO}_2$  telah menunjukkan potensi besar dalam menyelaraskan energi dan meningkatkan efisiensi transfer muatan. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan kinerja perangkat secara keseluruhan tetapi juga merupakan langkah strategis dalam mengatasi tantangan stabilitas yang sering dihadapi oleh  $\text{MAPbI}_3$  dalam aplikasi sel surya *perovskite* (PSC).

Keunggulan ETL berbasis  $\text{SnO}_2$  semakin diperkuat dengan inovasi berupa penambahan lapisan pelindung berbasis  $\text{SnO}_2$  dan doping dengan cesium iodida (CsI). Ašmontas dkk. (2022) menunjukkan bahwa doping CsI dengan fraksi molar sebesar 10% meningkatkan kualitas kristal, stabilitas termal, dan efisiensi perangkat *perovskite*. Sementara fraksi molar CsI lebih dari 10% menyebabkan segregasi fasa, yang menurunkan efisiensi akibat peningkatan rekombinasi muatan yang secara tidak langsung menurunkan kinerja perangkat.

Lebih lanjut, temuan oleh Duan dkk. (2023) mendukung hasil ini dengan menunjukkan bahwa doping cesium pada material  $\text{MAPbI}_3$  ( $\text{Cs}_{0,1}\text{MA}_{0,9}\text{PbI}_3$ ) mampu meningkatkan kinerja dari segi waktu hidup pembawa muatan. *Perovskite*  $\text{MAPbI}_3$  yang didoping dengan 10%  $\text{Cs}^+$  merupakan pilihan terbaik untuk meningkatkan waktu hidup elektron-hole pada sel surya *perovskite*. Hal ini karena materialnya lebih stabil dan mampu mentransportasikan muatan dengan lebih baik. Dengan doping ini, waktu hidup elektron-hole ( $\tau_2$ ) meningkat dari 652,8 ps (tanpa doping) menjadi 1502 ps, sehingga pembawa muatan memiliki lebih banyak waktu untuk bergerak sebelum mengalami rekombinasi *non-radiatif*. Ini menunjukkan bahwa jumlah cacat struktural dalam material berkurang secara berkala, yang pada akhirnya meningkatkan kinerja sel surya *perovskite* (PSC).

Upaya untuk meningkatkan kinerja PSC terus berkembang, termasuk strategi seperti modifikasi lapisan ETL (Alias dkk., 2021), pasivasi lapisan *perovskite*, penambahan dopan pada ETL dan pencarian material yang optimal untuk lapisan transportasi hole (HTL) (Chouhan dkk., 2019). Salah satu material unggulan untuk ETL adalah  $\text{SnO}_2$ , yang menurut Jiang dkk. (2017) dalam *Nature Energy*, memiliki mobilitas elektron yang lebih tinggi daripada  $\text{TiO}_2$  dan dapat

disintesis pada temperatur rendah. Dengan metode *spin-coating*, SnO<sub>2</sub> mampu mencatatkan efisiensi konversi energi (PCE) hingga 19,9%, sehingga menjadi dasar yang kuat untuk pengembangan lebih lanjut.

Selain itu, modifikasi terbaru oleh Anla dkk. (2023) yang menambahkan *penethylammonium iodide* (PEAI) pada *perovskite* MAPbI<sub>3</sub> meningkatkan stabilitas terhadap kelembapan (RH 65–90%) dan suhu (25–33°C). Perangkat mempertahankan efisiensi awal (15,75%) selama 4 hari tanpa transformasi fasa. Namun, penelitian ini hanya membahas efek PEAJ, tetapi tidak membandingkannya dengan doping lain seperti CsI, RbI, atau aditif lain yang berpotensi memiliki efek lebih baik.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang kinerja *perovskite*. Beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja *perovskite* diantaranya fraksi molar cesium iodida (%), konsentrasi *penethylammonium iodide* (PEAJ) dengan lapisan ETL berbasis SnO<sub>2</sub> dan *lifetime* rekombinasi elektron-hole. Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan kinerja PSC berbasis MAPbI<sub>3</sub> dengan pengujian tegangan keluaran, arus keluaran, daya keluaran dan uji stabilitas yang dipengaruhi oleh variasi konsentrasi cesium iodida (0 mg/mL, 2 mg/mL, 3 mg/mL, dan 5 mg/mL) menggunakan *Gamry Interface 1000 Potentiostat* yang dikombinasikan dengan *solar simulator* AM 1,5G sebagai sumber cahaya untuk menghasilkan kurva I-V yang memberikan data secara empiris dalam mempengaruhi kinerja PSC dan memahami hubungan antara morfologi yang dihasilkan dengan kinerja PSC.

## 1.2 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh penambahan CsI terhadap kinerja sel surya *perovskite* (PSC) berbasis MAPbI<sub>3</sub> di bawah penyinaran cahaya dengan sumber cahaya *solar simulator* AM 1,5G dengan daya 100 mW/cm<sup>2</sup>.
2. Menguji daya tahan perangkat sel surya *perovskite* tanpa enkapsulasi serta memahami dampak degradasi akibat paparan sinar UV terhadap perangkat *perovskite* yang telah dimodifikasi dengan CsI melalui pengujian karakteristik tegangan dan arus serta daya maksimum menggunakan *Gamry Interface 1000 Potentiostat*.



### 1.3 Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh variasi penambahan Cesium Iodida (CsI) dalam mempengaruhi kinerja sel surya *perovskite* MAPbI<sub>3</sub>, terutama dalam pengujian parameter seperti tegangan, arus, faktor pengisian (FF), dan efisiensi konversi daya (PCE).
2. Menjadi kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dalam memahami daya tahan dan degradasi perangkat sel surya *perovskite* tanpa enkapsulasi akibat paparan sinar UV, melalui pengujian karakteristik tegangan, arus, dan daya maksimum menggunakan *Gamry Interface 1000 Potentiostat*.

### 1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Studi komposisi material *perovskite* MAPbI<sub>3</sub> sebelum dan sesudah penambahan CsI, mencakup perubahan struktur kristal, sifat optik dan morfologi material menggunakan XRD, UV-VIS dan FESEM.
2. Evaluasi dampak penambahan CsI terhadap kinerja fotovoltaik PSC, termasuk pengujian parameter  $V_{oc}$ ,  $J_{sc}$ , FF, PCE, dan daya keluaran untuk melihat seberapa besar pengaruh terhadap kinerja yang dihasilkan.

