

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim berdampak merusak di seluruh dunia, dengan emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO₂), sebagai penyebab utama. Sebagian besar emisi CO₂ berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, yang merupakan sumber energi utama. Kenaikan emisi CO₂ lebih dari 50 % sejak sebelum revolusi industri telah meningkatkan suhu bumi sebesar 1°C, dan jika tidak dikurangi, suhu ini akan terus naik. Oleh karena itu, diperlukan sumber energi alternatif, seperti energi terbarukan, untuk mengurangi emisi CO₂ (Touret dkk., 2022). Pada tahun 2021, hanya 16 % dari total produksi energi global berasal dari sumber emisi karbon rendah, dengan 7 % dari tenaga air dan 4 % dari sumber lainnya. Tenaga surya diakui sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang paling bersih dan melimpah, dengan potensi menghasilkan 430 quintillion joule energi setiap jam, sementara kebutuhan energi global tahunan sekitar 410 *quintillion joule* (Perez dan Perez, 2022). Namun, saat ini hanya 4,5 % dari total pembangkit listrik global yang berasal dari tenaga surya, menunjukkan bahwa potensi ini belum sepenuhnya dimanfaatkan. Saat ini, metode yang paling efektif dan umum digunakan untuk menghasilkan listrik dari sinar Matahari adalah dengan memanfaatkan efek fotovoltaik. Sel surya merupakan perangkat yang dapat mengubah energi cahaya Matahari langsung menjadi listrik melalui fenomena fotovoltaik (Bahtiar dan Sartika, 2019)

Sel surya telah berkembang dalam beberapa generasi. Sel surya generasi pertama berbasis *silicon*, sel surya berbasis silikon dikembangkan dengan menggabungkan silikon tipe-n dan tipe-p, baik dalam bentuk monokristalin maupun polikristalin, untuk membentuk sambungan p-n. Namun, biaya produksi sel surya silikon relatif tinggi di karenakan proses produksi kompleks dan memerlukan bahan baku yang mahal sehingga diperlukan sel surya generasi selanjutnya (Bogachuk dkk., 2020). Generasi kedua merupakan sel surya berbasis film tipis, yang menggunakan bahan semikonduktor seperti *silicon amorf*, *copper indium gallium selenide* (CIGS)

dan *cadmiumtelluride* (CdTe). Namun, penggunaan bahan-bahan ini terbatas pada substrat kaca dan polimer, serta memiliki efisiensi yang relatif rendah. Selain itu, beberapa bahan ini mengandung logam berat yang beracun, sehingga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (Laalioui dkk., 2020). Sel surya generasi ke-3 menggunakan bahan nano, polimer, dan organik, termasuk sel surya organik, *dye sensitized solar cells* (DSSC), dan sel surya perovskit hibrida. Diantara perangkat ini, sel surya perovskit menunjukkan potensi besar sebagai sumber energi alternatif karena efisiensinya yang jauh lebih tinggi. Sel surya ini memiliki sifat fotolistrik yang baik dan dapat dimodifikasi dengan mudah melalui doping dan pengaturan struktur. Sel surya dibuat dari bahan perovskit halida organik dan anorganik hibrida, proses pembuatannya murah dan sederhana, menggunakan teknik seperti *doctor-blading* dan *spin coating*. Sel surya perovskit telah mencapai efisiensi 25,2%, meningkat pesat dari 3,8% sejak pertama kali dikembangkan pada tahun 2009 (Fievez dkk., 2021).

Perovskite Solar Cell (PSC) berbasis *timbal triiodida metilammonium* (MAPbI_3) memberikan hasil yang kompetitif, diikuti oleh rekayasa komposisi perovskit untuk menghasilkan arus foto dan tegangan sirkuit terbuka (V_{oc}) yang lebih tinggi. Namun, ada kekhawatiran tentang ketidakstabilan *metilammonium* (MA) dan transformasi fase di MAPbI_3 , serta pemisahan fase dalam perovskit rekayasa komposisi, yang menyebabkan kebangkitan *formamidinium timbal triiodida* (FAPbI_3) untuk fabrikasi sel surya (Haris dkk., 2023). FAPbI_3 merupakan sel surya yang efisien dan banyak digunakan dengan celah pita yang cukup rendah (1,48 eV) serta mobilitas muatan yang tinggi (Hu dkk., 2023). Terlepas dari sifat elektroniknya yang menjanjikan, tantangan utamanya dalam memproses film tipis FAPbI_3 dimana kerangka kristal ini secara inheren tidak stabil dan rentan terhadap degradasi di bawah pengaruh eksternal seperti kelembapan, iradiasi cahaya, dan tekanan panas sehingga ketidakstabilan fase $\alpha\text{-FAPbI}_3$ fotoaktif, yang cenderung berubah menjadi fase ortorombik kuning foto-tidak aktif ($\beta\text{-FAPbI}_3$ pada suhu kamar. Mengatasi tantangan

ini, banyak strategi telah diusulkan untuk menstabilkan α -FAPbI₃ dan meningkatkan morfologi film tipis. (Jeong dkk., 2021a).

Pendekatan utama untuk meningkatkan stabilitas dan kinerja PSC meliputi doping organik dan anorganik, pengembangan sistem hibrida perovskit 2D/3D, dan pasivasi permukaan butir (Shao dkk., 2019). Doping dengan molekul organik terbukti efektif dalam mengoptimalkan kristalinitas dan morfologi struktur perovskit, dengan interaksi kuat antara dopan organik dan kisi anorganik yang meningkatkan sifat mekanik material. Pengikatan yang lebih baik ini mengurangi cacat struktural dan meningkatkan ketahanan terhadap stres eksternal. Selain itu, doping organik mendorong pembentukan film berkualitas tinggi selama proses fabrikasi, baik melalui penguapan maupun *spin coating* (Zheng dkk., 2021). Dalam studi sebelumnya, memasukkan *peniletilammonium iodida* (PEAI) ke dalam film perovskit MAPbI₃ yang disiapkan menggunakan metode *spin coating* (Dahlan dkk., 2023). Dapat diamati peningkatan yang nyata dalam kristalinitas fase dan stabilitas kisi dengan dimasukkannya PEA. PEA, garam organik yang biasa digunakan dalam PSC, menawarkan beberapa manfaat peningkatan kinerja, termasuk rekayasa antarmuka 2D/3D dan pasivasi cacat permukaan. Terdiri dari kation PEA⁺ dan anion I⁻, sifat ionik PEA dapat meningkatkan sifat listrik perovskit. Selain itu, keberadaan gugus *amonium* memfasilitasi interaksi dengan pelarut polar, mendorong pembentukan ikatan hidrogen dan integritas struktural (Jiang dkk., 2019). Sementara PEA sering digunakan untuk pasivasi permukaan untuk mengurangi keadaan perangkap dan mengurangi degradasi lingkungan, penelitian mengeksplorasi penggabungannya langsung ke kisi perovskit (Hardi dkk., 2023).

Perangka sel surya perovskit terdiri dari lima komponen utama, yaitu elektroda penghantar transparan *Transparent Conductive Oxide* (TCO), *Electron Transport Layer* (ETLs), lapisan aktif perovskit, *Hole Transport Layer* (HTL), dan elektroda logam (Saliba M dkk., 2016). Jika susunan perangkat mengikuti urutan tersebut, maka PSC termasuk dalam tipe n-i-p. Selain itu, sel surya perovskit juga dapat dirancang dengan struktur TCO/HTL/lapisan perovskit/ETL/elektroda logam, yang dikenal sebagai tipe

p-i-n (terbalik) (Hu dkk., 2023). Kinerja unggul PSC disebabkan oleh sifat optoelektronik perovskit yang menguntungkan, termasuk celah pita energi yang ideal, serta mobilitas elektron dan lubang yang memungkinkan jarak tempuh Panjang (Noman dkk., 2023). Material yang cocok sebagai HTL terus dikembangkan, termasuk SnO₂ sebagai semikonduktor dalam ETL. SnO₂ memiliki mobilitas elektron lebih tinggi dibandingkan TiO₂, dapat disintesis pada suhu rendah, dan mampu meningkatkan efisiensi transfer elektron dari lapisan *perovskite* ke lapisan ETL. Metode sintesis seperti *spin coating*, SnO₂ dapat mencapai efisiensi konversi energi hingga 19,9%, menunjukkan bahwa material ini sangat efektif dalam mengubah energi cahaya menjadi listrik (Desoky dkk., 2021).

Yoo dan Nam melakukan pencampuran FA_{0.9}Cs_{0.1}PbI_{2.9}Br_{0.1} yang diberi perlakuan PEAI 4 mM. metode yang dilakukan dalam penelitian ini PEAI sebagai precursor di mana dilapisi setelah lapisan perovskit. Data diperoleh dari sampel untuk pengukuran disimpan dilingkungan sekitar dengan kelembaban relatif sekitar 20 % dan suhu 25°C sebelum dan sesudah pengukuran tegangan arus. Perangkat yang diberi perlakuan PEAI menunjukkan 95 % dari PCE awal setelah 120 jam dengan PCE awal 18.56 % menjadi 17.63 % (Yoo dan Park, 2018). Namun, stabilitas pada penelitian ini masih rendah. Penelitian lain menunjukkan bahwa film perovskit berbasis timah (Sn) dapat secara efektif mengatasi berbagai masalah yang dihadapi oleh perovskite berbasis Sn. Dengan menambahkan *ethylammonium iodida* (EAI) ke dalam film perovskit timah 2D/3D, yang terdiri dari PEA₂FASn₂I₇, perangkat dengan komposisi EA_{0.08} 2D/3D berhasil mencapai efisiensi konversi daya (PCE) sebesar 8,4% dan tegangan open circuit (V_{oc}) sebesar 0,51 V. Selain itu, PCE perangkat ini tetap stabil pada 7,87% selama lebih dari 700 detik. Namun, Kelemahan dari perangkat yang dibuat adalah belum mampu meningkatkan nilai tegangan (V_{oc}) pada perovskit selain itu stabilitas masih sangat rendah (Shao dkk., 2019).

Penelitian ini akan mencoba mengatasi kelemahan stabilitas dari perovskit. Pembuatan perangkat PSC menggunakan bahan perovskit FAPbI₃, serta menambahkan

PEAI dengan variasi konsentrasi 0 mg (kontrol), 1 mg, 2 mg, 3 mg, dan 4 mg melalui metode *spin coating*. Penelitian ini akan melibatkan pengujian perangkat di bawah lampu untuk menganalisis nilai I-V dan pengujian dalam kondisi tanpa cahaya akan dilakukan untuk mengukur arus gelap dan densitas perangkat. Dengan pendekatan ini, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi PSC yang lebih efisien dan tahan lama, serta mendukung transisi menuju sumber energi terbarukan yang lebih berkelanjutan.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh penambahan PEAI terhadap performa kerja PSC FAPbI₃ di bawah cahaya dan tanpa cahaya serta meningkatkan stabilitas sel surya.
2. Menganalisis pengaruh penambahan PEAI pada karakteristik material FAPbI₃ menggunakan teknik Spektrofotometer UV-Vis, XRD, dan FESEM guna untuk memahami hubungan antara struktur dan performa sel surya.

1.3 Manfaat Penelitian

1. Meningkatkan stabilitas perangkat pada PSC FAPbI₃ dengan penambahan PEAI yang diharapkan dapat mendukung penelitian sel surya selanjutnya terkait pengembangan sel surya dengan performa yang lebih baik.
2. Menyediakan dasar ilmiah bagi pengembangan teknologi energi terbarukan yang lebih murah, efisien, dan stabil untuk digunakan di masa depan.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

1. Studi komposisi material perovskit FAPbI₃ sebelum dan sesudah penambahan PEAI, mencakup perubahan struktur kristal dan morfologi material menggunakan XRD dan FESEM.
2. Evaluasi dampak penambahan PEAI terhadap kinerja fotovoltaik PSC, termasuk pengukuran parameter V_{oc} , J_{sc} , FF , dan PCE , untuk melihat seberapa besar peningkatan efisiensi dan stabilitas perangkat yang dihasilkan.