

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Istilah “*perovskite*” dikaitkan dengan struktur kalsium titanium oksida (CaTiO_3), yang ditemukan oleh Gustav Rose (1779-1848) pada tahun 1839 di Pegunungan Ural, Rusia. Kemudian, Pangeran Lev Alekseyevich Perovski (1792-1856), seorang ahli mineralogi Rusia melakukan penelitian, sehingga material tersebut diberi nama sebagai “*perovskite*” (Roy *et al.*, 2020). *Perovskite* memiliki rumus kimia umum ialah ABX_3 , A adalah kation monovalen, B adalah kation logam divalen minor, dan X adalah anion halida (Sharif *et al.*, 2023). Pada tahun 2009, fenomena pengembangan *photovoltaic* (PV) yang dilakukan oleh Kojima dan rekan kerjanya, yang pertama kali menggunakan *perovskite* ke dalam bidang sel surya dengan memanfaatkan *perovskite* sebagai *liquid sensitizer* pada konfigurasi *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC), yaitu MAPbI_3 dan MAPbBr_3 dengan MA yaitu CH_3NH_3 , perangkat tersebut telah mencapai *power conversion efficiency* (PCE) MAPbI_3 sebesar 3.81% dengan dan *open-circuit voltage* (V_{oc}) sebesar 0.61 V dan MAPbBr_3 sebesar 3.2% dengan V_{oc} sebesar 0.96 V (Kojima *et al.*, 2009).

Pada tahun 2012, penelitian yang dilakukan oleh Kim dan rekan kerjanya membuat terobosan baru menggunakan nanokristal *perovskite* berbasis MAPbI_3 sebagai penyerap untuk membuat *mesoscopic perovskite solar cell* (MPSC) *solid-state* dan Spiro-OmeTAD sebagai *hole transport layer* (HTL). MPSC tersebut menggunakan arsitektur divais dan proses fabrikasi yang sederhana yang mirip dengan DSSC, serta menjadikan *perovskite solar cell* (PSC) sebagai salah satu teknologi fotovoltaik berbiaya rendah yang menjanjikan. Nanopartikel MAPbI_3 diendapkan pada film TiO_2 mesopori sebagai *electron transport layer* (ETL) dengan tebal sebesar 0.6 mm, yang menghasilkan PCE sebesar 9.7% dengan *short-circuit current density* (J_{sc}) sebesar 17.6 mA/cm^2 , dan V_{oc} sebesar 0.88 V. Serta penelitian tersebut menunjukkan bahwa ketebalan film TiO_2 berpengaruh terhadap kinerja divais, dengan ketebalan optimal sebesar 0.8 mm dapat meningkatkan V_{oc}

menjadi 0.9 V, namun semakin tebal film TiO_2 dapat menyebabkan penurunan V_{oc} (Kim *et al.*, 2012). Pada tahun 2013, penelitian yang dilakukan oleh Burschka dan rekan kerjanya terkait teknik pengendapan *perovskite* menggunakan metode *two step* dengan struktur mesoskopik ($\text{FTO}/\text{TiO}_2\text{-CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{Spiro-OmeTAD}/\text{Au}$) untuk pertama kalinya, yang menghasilkan efisiensi sebesar 15% dengan J_{sc} sebesar $20 \text{ mA}/\text{cm}^2$ dengan mengoptimalkan struktur TiO_2 dan memodifikasi kondisi pengendapan PbI_2 . Metode *two step* dilakukan dengan mengendapkan PbI_2 ke dalam nanopori TiO_2 terlebih dahulu, selanjutnya diikuti dengan perendaman pada larutan $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ (Burschka *et al.*, 2013).

Pada tahun 2013, untuk pertama kalinya aplikasi divais MPSC yang dapat dicetak (*printable*) dan tanpa adanya HTL (*HTL free*) dikembangkan oleh Ku dan rekan kerjanya berdasarkan arsitektur *triple mesoscopic layer* dan menggunakan elektroda karbon berupa *carbon black/graphite*, yang menghasilkan efisiensi sebesar 6.64% dengan J_{sc} sebesar $12.4 \text{ mA}/\text{cm}^2$. Divais tersebut berevolusi dari monolitik DSSC, yang terdiri *electron transport layer* berupa *mesoporous layer* (mp-TiO_2), *spacer layer* berpori berupa (*zirconium dioxide*) ZrO_2 dan *conductive carbon contact* berpori. Lapisan-lapisan tersebut dicetak ke substrat kaca *fluorine-doped tin oxide* (FTO) yang dilapisi dengan *compact layer* (c-TiO_2) dan dilakukan proses *annealing* suhu yang tinggi untuk menghilangkan pengikat organik sebelum infiltrasi *perovskite*, selanjutnya substrat yang sudah difabrikasi dicelupkan ke larutan MAPbI_3 dengan metode *one step* untuk membentuk *heterojunction* $\text{MAPbI}_3/\text{TiO}_2$ dan MAPbI_3 bertindak sebagai penangkap cahaya dan berperan sebagai *hole conductor* (Ku *et al.*, 2013). Pada tahun 2015, penelitian yang dilakukan oleh Yang dan rekan kerjanya terkait pengaruh ukuran nanopartikel TiO_2 pada sel surya *perovskite* mesoskopik berbasis MAPbI_3 yang dapat dicetak, yang memengaruhi terhadap kinerja divais. Penelitian tersebut menyatakan bahwa nilai J_{sc} semakin meningkat seiring dengan meningkatnya ukuran nanopartikel TiO_2 , yakni diameter partikel dari 15 nm menjadi 20 nm menghasilkan nilai J_{sc} dari $21.1 \text{ mA}/\text{cm}^2$ menjadi $23.3 \text{ mA}/\text{cm}^2$. Namun, dengan ukuran nanopartikel TiO_2 yang lebih meningkat sebesar 30 nm menyebabkan nilai J_{sc} mengalami penurunan. Serta

penelitian tersebut menyatakan bahwa porositas dapat memengaruhi kinerja sel surya, dengan pengurangan porositas menyebabkan *fill factor* yang lebih rendah (Yang *et al.*, 2015). Dari penelitian sebelumnya, hal tersebut menunjukkan bahwa material TiO_2 cocok dijadikan *electron transport layer* untuk sel surya *perovskite* mesoskopik. Material TiO_2 memiliki keunggulan dalam stabilitas kimia dan termal yang dapat menahan degradasi, memiliki *conductive bandgap* yang selaras dengan bahan penyerap *perovskite*, sehingga dapat mengurangi rekombinasi antara *electron* dengan *hole* dan memungkinkan ekstraksi elektron yang efektif. Selain itu, material TiO_2 ialah material berbiaya rendah dan sumber daya yang berlimpah, serta dianggap ramah lingkungan, karena toksisitas yang rendah. Material TiO_2 memiliki polimorf dan fleksibilitas pada karakteristik yang dapat disesuaikan melalui metode deposisi, ketebalan lapisan, penggunaan senyawa aditif, morfologi, dan sifat fisik lainnya (Fatima *et al.*, 2024). Akan tetapi, penggunaan *perovskite* berbasis MAPbI_3 pada sel surya menghadapi beberapa masalah seperti stabilitas yang buruk dan celah pita yang lebih lebar sebesar 1.55 eV. Untuk solusi tersebut, *perovskite* berbasis FAPbI_3 dengan FA yaitu $\text{HC}(\text{NH}_2)_2$, yang dianggap memiliki stabilitas yang lebih baik dan celah pita yang lebih ideal sebesar 1.48 eV (Zheng *et al.*, 2022). Pada tahun 2014, penelitian yang dilakukan oleh Lee dan rekan kerjanya memperoleh divais dengan efisiensi sebesar 16.01% melalui rekayasa nano struktur komposit TiO_2 - FAPbI_3 pada sel surya *perovskite* mesoskopik (Lee *et al.*, 2014). Namun, dalam mengomersialkan sel surya *perovskite* dengan fabrikasi skala besar diperlukan stabilitas dan reproduktivitas yang efisien, sehingga PSC hibrida organik-anorganik yang menggunakan kation organik seperti MA^+ dan FA^+ tidak cocok untuk komersialisasi PSC, karena mudah mengalami degradasi dan mudah bereaksi dengan molekul air, serta dapat menyebabkan ketidakstabilan perangkat PSC. Toleransi lingkungan PSC dapat ditingkatkan melalui kation anorganik seperti CS^+ (Ullah *et al.*, 2021).

Secara umum, ada tiga jenis utama halida anorganik, yaitu CsPbI_3 , CsPbBr_3 , dan CsPbCl_3 . CsPbI_3 memiliki celah pita optimal sebesar 1.73 eV, namun bahan tersebut mengalami transisi fase yang tidak diinginkan ke fase non-*perovskite*

akibat adanya uap air (Liang *et al.*, 2016). Selain itu, CsPbCl_3 memiliki celah pita yang terlalu lebar sebesar 3.0 eV dan tidak diinginkan dalam aplikasi sel surya. Dalam permasalahan yang terjadi, terdapat CsPbBr_3 yang memiliki celah pita yang lebih ideal sebesar 2.3 eV, serta karakteristik menunjukkan CsPbBr_3 memiliki stabilitas yang lebih unggul dalam kondisi sekitar tanpa perubahan apapun baik warna maupun bentuknya (Ullah *et al.*, 2021), mobilitas elektron yang sangat tinggi sebesar $1000 \text{ cm}^2 \text{Vs}^{-1}$, dan waktu hidup elektron sebesar 2.5 μs . *Perovskite* berbasis CsPbBr_3 dianggap sebagai aplikasi fotovoltaik yang menjanjikan (Kulbak, Cahen and Hodes, 2015). Dalam meningkatkan kualitas kristal *perovskite* anorganik dengan memanfaatkan suhu tinggi dan sublimasi-rekristalisasi CsPbBr_3 bertujuan untuk memfasilitasi kontruksi antarmuka antara CsPbBr_3 dan karbon secara efektif dapat meningkatkan kualitas kristal *perovskite* anorganik, serta dapat mengatasi kristalisasi pada *spacer layer* dan ETL pada divais *printable mesoscopic all-inorganic perovskite solar cell* (p-MAPSC) dengan struktur (FTO/c-TiO₂/mp-TiO₂/ZrO₂/carbon/*perovskite*). Pelapisan *perovskite* tersebut menggunakan metode *dip-coating* dengan metode *two step*, yang selanjutnya diberikan perlakuan *post-annealing*. Penelitian tersebut menghasilkan efisiensi dengan *without high-temperature treatment* sebesar 5.04% dan V_{oc} sebesar 1.22 V, namun ketika diberikan *high-temperature treatment* efisiensi meningkat mencapai 8.34% dan V_{oc} sebesar 1.54 V (Zhu *et al.*, 2024).

Dalam mengoptimalkan kinerja divais p-MAPSC berbasis CsPbBr_3 , tidak hanya dipengaruhi oleh optimasi *perovskite*, tetapi diperlukan optimasi lebih lanjut kembali pada lapisan TiO₂ mesopori yang memiliki peranan penting dalam peningkatan kinerja sel surya *perovskite* mesoskopik, karena lapisan tersebut sebagai tempat infiltrasi *perovskite* (Yang *et al.*, 2015). Serta lapisan mp-TiO₂ bertindak sebagai *hole blocking layer* dan *electron transport layer*. Meskipun banyak penelitian tentang alternatif ETL untuk divais lain, akan tetapi material TiO₂ sejauh ini merupakan satu-satunya material *n-type* yang diuji untuk *triple-mesoscopic carbon perovskite solar cell* (m-CPSC). Penyelarasan pita dan stabilitas termal merupakan karakteristik penting pada ETL m-CPSC karena lapisan harus

melalui beberapa langkah suhu *annealing* yang tinggi (Meroni *et al.*, 2021). Lapisan mesopori tersebut difabrikasi menggunakan metode *screen printing* yang memerlukan keahlian dengan teknik yang akurat untuk menghasilkan ketebalan lapisan mesopori yang optimal (Kajal *et al.*, 2021). Kemudian, pada divais p-MAPSC diperlukan TiO_2 jenis *transparent* dibandingkan dengan TiO_2 jenis *opaque*, karena lapisan TiO_2 yang transparan memungkinkan cahaya melewati lapisan dengan mudah untuk mencapai lapisan perovskite dan memiliki partikel yang lebih kecil. Sedangkan, TiO_2 *opaque* biasanya hanya dipakai pada divais DSSC karena mengandung partikel besar atau aditif pemantul, sehingga tidak cocok untuk struktur divais p-MAPSC. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut dalam mengembangkan dan mengoptimalkan potensi aplikasi divais *printable mesoscopic all-inorganic perovskite solar cell* berbasis CsPbBr_3 dengan struktur (FTO/c- TiO_2 /mp- TiO_2 /ZrO₂/carbon/perovskite) melalui eksplorasi pengaruh lapisan tipis mp- TiO_2 yang menggunakan variasi jenis pasta TiO_2 *transparent* (18NR-T dan 90-T) dan variasi konsentrasi larutan mp- TiO_2 .

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi jenis pasta dan konsentrasi lapisan tipis mp- TiO_2 melalui hubungan antara ketebalan dengan sifat optik terhadap kinerja *printable mesoscopic all-inorganic perovskite solar cell* berbasis CsPbBr_3 ?
2. Bagaimana pengaruh variasi jenis pasta lapisan tipis mp- TiO_2 melalui sifat mikrostruktur terhadap kinerja *printable mesoscopic all-inorganic perovskite solar cell* berbasis CsPbBr_3 ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian p-MAPSC terfokus pada pemilihan lapisan tipis mp- TiO_2 yang optimal sebagai *electron transport layer* menggunakan dua jenis pasta TiO_2 *transparent* berupa pasta TiO_2 18NR-T dan pasta TiO_2 90-T. Serta setiap pasta

divariasikan menggunakan konsentrasi larutan yang berbeda dengan pelarut *terpineol* berupa rasio 1:3; 2:3; dan 3:3.

2. Hasil kinerja p-MAPSC dilihat melalui pengukuran J-V menggunakan alat *sun simulator* dengan intensitas cahaya sebesar 1000 W/m^2 (A.M 1.5G), yang mencakup kurva J-V, nilai *power conversion efficiency* daya (PCE), *open-circuit voltage* (V_{oc}), *short-circuit current density* (J_{sc}), dan *fill factor* (FF) yang dipengaruhi oleh variasi pasta dan konsentrasi lapisan tipis mp-TiO₂ melalui karakteristik material berupa ketebalan lapisan, sifat optik, fase kristal, ukuran partikel, dan porositas.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Dapat mengoptimalkan kinerja *printable mesoscopic all-inorganic perovskite solar cell* berbasis CsPbBr₃ dengan mengetahui pengaruh variasi pasta dan konsentrasi lapisan tipis mp-TiO₂ melalui hubungan antara ketebalan lapisan dengan sifat optik.
2. Dapat mengoptimalkan kinerja *printable mesoscopic all-inorganic perovskite solar cell* berbasis CsPbBr₃ dengan mengetahui pengaruh sifat mikrostruktur lapisan tipis mp-TiO₂.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Mengoptimalkan kinerja *printable mesoscopic all-inorganic perovskite solar cell* berbasis CsPbBr₃ dengan mengetahui pengaruh variasi pasta dan konsentrasi lapisan tipis mp-TiO₂ melalui hubungan antara ketebalan lapisan dengan sifat optik
2. Mengoptimalkan kinerja *printable mesoscopic all-inorganic perovskite solar cell* berbasis CsPbBr₃ dengan mengetahui pengaruh sifat mikrostruktur lapisan tipis mp-TiO₂.