

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Keberadaan energi saat ini berperan penting dalam kehidupan manusia dan pertumbuhan ekonomi di suatu negara. Fenomena krisis energi hampir dirasakan oleh seluruh negara di dunia. Hal ini terjadi karena kebutuhan energi setiap harinya terus meningkat namun tidak diimbangi dengan ketersediaan energi yang ada (Garain dkk., 2021). Pada tahun 2030 diperkirakan tingkat konsumsi energi dunia akan bertambah sebesar 1,6% per tahun (Kemenlu, 2019). Kebutuhan akan sumber energi terbarukan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan menjadi perhatian penting untuk saat ini yang masih bergantung pada penggunaan energi fosil (Hossain dkk., 2023). Sifat energi fosil yang terbatas dan dampak emisi karbon yang ditimbulkan bagi lingkungan membuat bumi tidak mampu menahan populasi emisi karbon hingga menyebabkan terjadinya penipisan sumber daya, pemanasan global, perubahan iklim dan polusi udara. Transisi menuju energi terbarukan dapat mengurangi dampak negatif dari penggunaan energi fosil hal ini bertujuan untuk memastikan ketersediaan energi bersih di masa mendatang (Marcelle, 2022).

Penggunaan energi terbarukan merupakan sumber energi alternatif yang dapat diperbarui, berkelanjutan, dan tidak berdampak bagi lingkungan. Sumber energi terbarukan meliputi tenaga surya, air, angin, panas bumi, bioenergi. Indonesia mempunyai banyak potensi sumber energi terbarukan. Namun potensi tersebut belum dimanfaatkan dengan baik, hal ini diungkapkan Badan Energi Terbarukan Internasional (IRENA) dalam laporan Indonesia Energy Transition Outlook yang dirilis pada oktober 2022. IRENA menyatakan bahwa perkiraan total potensi energi energi terbarukan Indonesia mencapai 3.692 gigawatt (GW). Namun hingga tahun 2021, kapasitas terpasang hanya mencapai 10,5 GW atau setara dengan sekitar 0,3% dari total potensi yang tersedia (Ahdiat, 2022). Salah satu sumber energi terbarukan adalah energi surya dengan potensi 2.898 GW namun kapasitas terpasangnya sekitar 0,2 GW (Ahdiat, 2022).

Salah satu pemanfaatan energi surya yaitu sebagai pembangkit listrik melalui sel surya. Penggunaan energi surya sebagai sel surya memiliki banyak keuntungan yaitu tidak menghasilkan emisi karbon dan mengurangi resiko kerusakan lingkungan (Cao J dkk., 2021).

Sel surya memanfaatkan energi surya sebagai sumber energi untuk menghasilkan listrik dengan kemampuan *photovoltaic*. Sel surya Perovskite (PSC) adalah jenis sel surya organik generasi ketiga yang mulai dikembangkan oleh lembaga-lembaga penelitian. Sel surya generasi pertama adalah sel surya berbasis silikon, sedangkan sel surya generasi kedua adalah sel surya berbasis material lapisan tipis.

Sel surya generasi pertama dan kedua menggunakan efek fotovoltaiik yang artinya proses produksi energi listrik bertumpu pada material semikonduktor yang digunakan. Sedangkan sel surya generasi ketiga menggunakan efek fotoelektrokimia. Perbedaannya adalah penggunaan elektrolit pada sel surya generasi ketiga. *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) merupakan pelopor dari sel surya generasi ketiga yang ditemukan oleh M. Gratzel di EPFL (Faishal, 2018).

Saat ini, sel surya Perovskite memiliki efisiensi yang lebih tinggi dari DSSC dan mendekati efisiensi sel surya lapisan tipis (Sabbah dkk., 2022). Material Perovskite bertindak sebagai elektrolit untuk menyerap cahaya matahari yang akan mengeksitasi hole (muatan positif) dan elektron (muatan negatif). Elektron akan menuju lapisan transportasi elektron yang bertindak sebagai n-type semikonduktor. Sementara hole akan menuju lapisan transportasi lubang (*hole*) sebagai p-type semikonduktor (Sarkar dkk., 2022).

Dalam beberapa kurun waktu terakhir, sel surya Perovskite berbasis timbal telah menunjukkan kinerja yang sangat baik. Hal ini didukung dengan peningkatan nilai efisiensi konversi daya (PCE). Sampai saat ini nilai efisiensi yang ditunjukkan sel surya Perovskite berbasis timbal telah mencapai 25,2% dari awal penemuan 3,8% di tahun 2009 (Basak dkk., 2021). Peningkatan ini telah menjadi perhatian dunia karena membawa sel surya Perovskite berbasis timbal sebagai pesaing sel surya generasi pertama atau generasi silicon (Hossain dkk., 2023).

Persaingan ini didukung dengan keunggulan dari sel surya Perovskite yang menunjukkan proses fabrikasi sederhana, biaya pabrikan yang relatif rendah namun menunjukkan hasil yang menjanjikan (Basyoni dkk., 2021). Keberadaan sel surya Perovskite saat ini masih didominasi oleh sel surya berbasis timbal yang dianggap paling efisien namun berbahaya bagi lingkungan.

Upaya terus dilakukan untuk mengurangi kandungan timbal (Pb) pada sel surya Perovskite untuk mendapatkan hasil yang optimal dan lebih ramah lingkungan. Sebuah penelitian oleh Singh dkk (2021) berhasil menunjukkan kemampuan sel surya Perovskite dengan lapisan perovskite yang tidak mengandung Pb dengan Sn sebagai material pengganti melalui simulasi numerik menggunakan SCAPS-1D. Oleh karena itu, pengurangan komponen timbal sangat penting dalam penerapan sel surya Perovskite dengan mengganti timbal dengan elemen yang tidak berbahaya seperti Ti(IV), Ge(II), Sn(II), Bi(III), dan Sb(III) (Kumar dkk., 2020).

Temuan dari penelitian sebelumnya perovskite, berbasis Sn (II) menunjukkan hasil terbaik dibandingkan dengan pengganti timbal lainnya karena sifat elektroniknya yang mirip dengan perovskite timbal (K.Xu dkk., 2020). Beberapa perovskite bebas timbal telah dilaporkan, termasuk metilamonium timah bromida ( $\text{MaSnBr}_3$ ), formamidinium cesium timah iodida ( $\text{FACsSnI}_3$ ), cesium timah iodida ( $\text{CsSnI}_3$ ), formamidinium timah iodida ( $\text{FASnI}_3$ ), dan metilamonium timah iodida ( $\text{MaSnI}_3$ ) (Ke dkk., 2019).

Alternatif material bebas timbal yang paling menjanjikan adalah  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  ( $\text{MaSnI}_3$ ). Material  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$  ( $\text{MaSnI}_3$ ) digunakan sebagai lapisan aktif karena memiliki struktur yang stabil (Liu dkk., 2019). Selain itu,  $\text{MaSnI}_3$  menunjukkan responsif cahaya yang baik (Waleed dkk., 2016), difusi pembawa yang panjang (X. Lu dkk., 2016), dan mobilitas pembawa yang tinggi (L.Ma dkk., 2016). Selain itu,  $\text{MaSnI}_3$  memiliki celah pita yang lebih sempit dari  $\text{MAPbI}_3$  (~ 1,3 eV), memungkinkan untuk jangkauan yang lebih luas dari spektrum yang terlihat untuk diserap (Lee dkk., 2017). Namun,  $\text{MaSnI}_3$  juga memiliki keterbatasan atau tantangan seperti rentan terhadap oksidasi  $\text{Sn}^{2+}$  menjadi  $\text{Sn}^{4+}$ , yang dapat mengurangi stabilitas, efisiensi dan interaksi kation organik dengan kerangka anorganik (Dahliya dkk., 2021).

Dengan menambahkan timah fluorida ke dalam kerangka Perovskite  $\text{MaSnI}_3$  dapat membantu mengurangi oksidasi  $\text{Sn}^{2+}$  menjadi  $\text{Sn}^{4+}$  yang mengarah pada peningkatan stabilitas bahan Perovskite. Sebagai tambahan dari timah fluorida telah ditemukan efek menguntungkan pada timah dan timah / timah Perovskite halida, dalam meningkatkan stabilitas (Devi dkk, 2019). Dibandingkan dengan sel surya *chalcogenide*, yang didasarkan pada bahan-bahan seperti Cu (In, Ga)  $\text{Se}_2$  atau CdTe, Sel surya Perovskite berbasis  $\text{MaSnI}_3$  menunjukkan efisiensi tertinggi yaitu 27,43% dengan menempatkan  $\text{Cu}_2\text{O}$  sebagai lapisan transportasi *hole* (Singh dkk., 2021).

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja sel surya yaitu ketebalan lapisan sel surya seperti absorber dan transportasi. Jika terlalu besar nilai ketebalannya maka electron memerlukan waktu yang lebih lama untuk tereksitasi ke energi yang lebih tinggi. Sedangkan jika terlalu kecil nilai ketebalannya maka memungkinkan sering terjadinya rekombinasi. Oleh karena ini diperlukan pengukuran ketebalan lapisan untuk mendapatkan hasil yang optimum.

Selain itu energi afinitas elektron juga mempengaruhi kinerja sel surya. Energi afinitas elektron merupakan energi yang diperlukan agar elektron memiliki energi yang cukup untuk berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Nilai energi afinitas elektron juga perlu dipertimbangkan agar memungkinkan sel surya menyerap cahaya dengan efisien. Jika nilai ini terlalu besar akan meningkatkan laju mobilisasi elektron yang semakin tinggi sehingga menyebabkan rekombinasi meningkat. Jika terlalu kecil nilai efisiensi sel surya akan menurun karena tidak ada elektron yang berpindah dari pita valensi ke pita konduksi.

Operasi temperatur kerja pada sel surya menjadi faktor krusial, karena temperatur memengaruhi pergerakan electron dalam lapisan sel surya untuk menghasilkan arus listrik. Suhu yang terlalu tebal membuat energi kinetic yang dimiliki electron semakin tinggi sehingga sulit untuk electron untuk terperangkap dalam lapisan aktif.

Oleh karena itu, peneliti menggunakan material  $\text{MaSnI}_3$  pada Sel surya Perovskite bebas timbal berbasis dengan target peningkatan nilai efisiensi diatas 27,43%. Pengembangan sel surya perovskite bebas timbal dengan mengganti timbal (Pb) dengan timah (Sn) untuk menghindari penggunaan bahan berbasis

timbal yang beracun. Kinerja dari sel surya Perovskite bebas timbal dimodelkan melalui penggunaan simulator SCAPS-1D dengan persamaan Poisson dan Kontinuitas. Parameter analisa berupa efek dari ketebalan lapisan aktif, ketebalan lapisan transportasi muatan, energi afinitas elektron pada lapisan ETL, energi afinitas elektron pada lapisan HTL lubang, variasi temperatur operasi sel surya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, diperoleh rumusan masalah dalam penelitian ini adalah “Bagaimana mengoptimisasi struktur Perovskite sel surya bebas timbal dengan material  $\text{MaSnI}_3$  sebagai lapisan aktif agar menunjukkan nilai efisiensi tertinggi diatas 27,43%?”. Adapun pertanyaan pendukung rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana efek ketebalan lapisan absorber terhadap efisiensi sel surya perovskite berbasis  $\text{MaSnI}_3$  ?
2. Bagaimana efek ketebalan lapisan transportasi terhadap efisiensi sel surya perovskite berbasis  $\text{MaSnI}_3$ ?
3. Bagaimana efek afinitas energi electron pada lapisan transportasi terhadap efisiensi sel surya perovskite berbasis  $\text{MaSnI}_3$ ?
4. Bagaimana efek operasi temperature terhadap efisiensi sel surya perovskite berbasis  $\text{MaSnI}_3$ ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, tujuan penelitian skripsi ini sebagai berikut:

1. Memperoleh struktur Perovskite sel surya bebas timbal berbasis  $\text{MaSnI}_3$  yang optimal dengan nilai efisiensi tertinggi lebih besar dari 27,43% .
2. Untuk mengetahui efek ketebalan lapisan absorber terhadap efisiensi sel surya perovskite berbasis  $\text{MaSnI}_3$
3. Untuk mengetahui efek ketebalan lapisan transportasi terhadap efisiensi sel surya perovskite berbasis  $\text{MaSnI}_3$
4. Untuk mengetahui efek afinitas elekton pada lapisan transportasi terhadap efisiensi sel surya perovskite berbasis  $\text{MaSnI}_3$
5. Untuk mengetahui efek operasi temperature terhadap efisiensi sel surya perovskite berbasis  $\text{MaSnI}_3$

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai optimasi struktur perovskite sel surya bebas timbal dengan material  $\text{MaSnI}_3$  sebagai lapisan aktif menggunakan perangkat lunak SCAPS 1D. Oleh karena itu, diharapkan mampu meningkatkan performa sel surya perovskite bebas timbal dengan menganalisis dan mengoptimalkan berbagai parameter struktural dan material dalam sel surya seperti Voc, Jsc, FF, dan PCE. Hal ini akan memiliki dampak positif dalam pengembangan teknologi sel surya yang lebih ramah lingkungan dan efisien.

#### **1.5 Sistematika Penulisan**

Penelitian ini terdiri dari lima bab yaitu pendahuluan, kajian pustaka, metodologi penelitian, hasil dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran. Pada bab satu yaitu pendahuluan yang berisi mengenai latar belakang dilakukannya penelitian, rumusan masalah, tujuan dari penelitian, manfaat dari penelitian dan sistematika penulisan. Kemudian bab dua membahas mengenai kajian pustaka yang berisi mengenai teori – teori yang berhubungan dengan penelitian. Bab ketiga yaitu metodologi penelitian yang berisikan metode yang diterapkan pada penelitian. Selanjutnya, bab empat yaitu hasil dan pembahasan yang membahas mengenai hasil analisis variasi ketebalan lapisan aktif dan lapisan transportasi, variasi afinitas energi pada lapisan transportasi, dan variasi operasi temperatur pada sel surya Perovskite bebas timbal. Dan yang terakhir yaitu bab lima membahas mengenai kesimpulan dari penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.