

BAB I

PENDAHULUAN

Pada Bab I dipaparkan uraian mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian, serta manfaat penelitian. Seluruh bagian dalam bab ini disusun untuk memberikan gambaran awal mengenai arah, ruang lingkup, dan fokus penelitian yang dilakukan.

1.1 Latar Belakang

Era modern ditandai dengan meningkatnya permintaan terhadap sumber energi terbarukan. Berdasarkan laporan dari *International Energy Agency, (2021)*, energi terbarukan memiliki peran krusial dalam upaya mengurangi emisi karbon global serta mitigasi perubahan iklim. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tahun 2021 mengungkapkan bahwa Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar, diperkirakan mencapai lebih dari 400.000 Mega Watt (MW). Dari jumlah tersebut, sekitar 50% atau 200.000 MW berasal dari energi surya. Namun, pemanfaatan energi surya saat ini masih tergolong rendah, yakni sekitar 150 MW atau hanya 0,08% dari total potensinya. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan besar antara potensi dan realisasi pemanfaatan energi surya di Indonesia.

Indonesia merupakan negara yang terletak di garis khatulistiwa dengan tingkat radiasi matahari yang tinggi. Rata-rata intensitas radiasi matahari di wilayah Indonesia mencapai 4,8 kWh/m²/hari dengan fluktuasi bulanan sekitar 9%. Berdasarkan data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) tahun 2022 menunjukkan bahwa wilayah timur Indonesia, seperti Papua dan Nusa Tenggara, memiliki intensitas tertinggi sekitar 5,5-5,8 kWh/m²/hari, sedangkan Jawa dan Sumatera berada di kisaran 4,5-5,0 kWh/m²/hari. Dengan paparan sinar matahari hampir sepanjang tahun rata-rata mencapai 2.000 jam per tahun, Indonesia dapat menjadi lokasi yang sangat potensial untuk pengembangan energi surya.

Potensi ini seharusnya dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk memenuhi kebutuhan energi, khususnya di daerah yang belum terjangkau listrik. Konsumsi energi di Indonesia terus mengalami peningkatan hingga tahun 2023, namun masih

ada sekitar 1,4 juta pemukiman yang belum mendapatkan akses listrik. Sebagian besar diantaranya berada di daerah terpencil, seperti Papua dengan persentase sebesar 96,23%, Nusa Tenggara Timur 97,85%, dan Maluku 98,32% (Kementerian ESDM, 2024).

Harga listrik di Indonesia mengalami kenaikan secara bertahap. Biaya pembangkitan listrik sel surya terus menurun, dari sekitar \$0,38/kWh pada 2010 menjadi \$0,068/kWh pada 2022, penurunan lebih dari 80%. Di Indonesia, LCOE (Levelized Cost of Electricity) dari PLTS skala utilitas telah mencapai Rp 950-1.100/kWh, lebih rendah dari beberapa pembangkit konvensional. Teknologi perovskite berpotensi menurunkan biaya lebih jauh karena menggunakan bahan yang lebih murah dan proses manufaktur yang lebih sederhana, dengan proyeksi LCOE mencapai Rp 650-800/kWh jika diproduksi massal (Shi dkk., 2023). Oleh karena itu, dukungan kebijakan pemerintah dapat ditetapkan untuk mempercepat pemanfaatan energi surya secara optimal.

Pemerintah telah menetapkan berbagai regulasi untuk mendorong pemanfaatan energi terbarukan. Berdasarkan Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), ditargetkan bahwa bauran energi nasional harus terdiri dari 23% energi terbarukan pada tahun 2025 dan meningkat menjadi 31% pada tahun 2050. Selain itu, Peraturan Menteri ESDM No. 4 Tahun 2020 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik juga memberikan insentif bagi pengembangan pembangkit listrik tenaga surya. Rencana Pembangunan Jangka Panjang (RPJP) menuju Indonesia Emas 2045 menetapkan target energi terbarukan minimal mencapai 48% dalam bauran energi nasional. Energi surya diproyeksikan menyumbang setidaknya 18% dari total kapasitas pembangkit listrik dengan target kapasitas terpasang mencapai 120 GW pada 2045 (BAPPENAS, 2022). Meskipun berbagai kebijakan telah disusun, kondisi aktual bauran energi Indonesia menunjukkan bahwa pencapaiannya masih jauh dari target yang ditetapkan.

Dewan Energi Nasional (DEN) menunjukkan bahwa pada tahun 2023, bauran energi Indonesia didominasi oleh batubara sebesar 40,46%, minyak bumi 30,18%, gas bumi 16,28% dan Energi Baru Terbarukan (EBT) 13,09%. Presentase Energi

Baru Terbarukan (EBT) meningkat 0,79% sehingga menjadi 13,09% pada tahun 2023 (Katadata Databoks, 2024). Namun realisasi tersebut masih di bawah target yang ditetapkan sebesar 17,87% (Kementerian ESDM, 2024). Kondisi ini menunjukkan perlunya akselerasi pemanfaatan energi terbarukan, di mana sel surya dapat menjadi salah satu opsi paling potensial untuk menjembatani kesenjangan tersebut.

Sel surya merupakan salah satu teknologi energi terbarukan yang memiliki potensi besar karena mampu mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik (Sark dkk., 2020). Pemanfaatan teknologi ini menjadi salah satu solusi pengembangan energi terbarukan yang hingga kini terus ditingkatkan, baik dari segi efisiensi maupun penurunan biaya produksi (Sulistianto dkk., 2019). Di antara berbagai jenis teknologi sel surya, *perovskite solar cell* semakin mendapat perhatian karena menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan teknologi sel surya konvensional berbasis silikon kristalin.

Sel surya berbasis perovskite menunjukkan kemajuan yang signifikan dibandingkan dengan teknologi sel surya konvensional. *National Renewable Energy Laboratory* (2023) menyatakan bahwa dalam waktu yang relatif singkat, efisiensi konversi energi sel surya perovskite telah mencapai lebih dari 25%. Dalam satu dekade terakhir, efisiensi konversi energi sel surya perovskite telah meningkat secara drastis dari sekitar 3,8% pada tahun 2009 menjadi lebih dari 25,5% pada tahun 2021, yang hampir sebanding dengan sel surya silikon komersial.

Perovskite solar cell memiliki sejumlah keunggulan, antara lain efisiensi konversi energi yang tinggi, biaya produksi yang relatif rendah, serta fleksibilitas dalam proses fabrikasi (Kojima dkk., 2009). Namun, kelemahan utama teknologi ini terletak pada ketahanannya yang rendah terhadap degradasi termal dan oksidasi, sehingga dapat memperpendek umur pakai dan menurunkan kinerja sel surya dalam jangka panjang. Pada perovskite hibrida organik–anorganik, meskipun efisiensi yang dihasilkan tergolong tinggi, material ini rentan mengalami degradasi ketika berada pada suhu tinggi maupun kondisi lingkungan ekstrem. Degradasi tersebut dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti paparan bahan kimia, suhu tinggi, kelembaban, dan radiasi sinar ultraviolet (UV).

Upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut mendorong berkembangnya penelitian pada perovskite anorganik yang tidak mengandung kation organik. Salah satu kandidat material yang menjanjikan adalah CsPbBr₃, yang memiliki ketahanan lebih baik terhadap suhu tinggi dan kelembaban dibandingkan perovskite organik–anorganik. Material CsPbBr₃ memiliki *direct bandgap* sekitar 2,3 eV, sehingga sesuai untuk aplikasi *single-junction solar cell* maupun sebagai lapisan atas pada *tandem solar cell*. Selain itu, CsPbBr₃ juga menunjukkan fotostabilitas yang tinggi, dimana sel surya berbasis material ini mampu mempertahankan lebih dari 99% efisiensi awal setelah diuji selama 1500 jam di bawah pencahayaan terus-menerus (Ullah dkk., 2021). Meskipun demikian, peningkatan stabilitas ini tidak otomatis menghasilkan efisiensi tinggi, sehingga diperlukan strategi optimasi lain dalam proses fabrikasinya.

Stabilitas yang dimiliki CsPbBr₃ belum sepenuhnya menghasilkan efisiensi sel surya yang tinggi, karena umumnya efisiensinya masih lebih rendah dibandingkan perovskite organik–anorganik. Salah satu faktor yang memengaruhi kinerjanya adalah konsentrasi prekursor yang digunakan dalam proses deposisi. Konsentrasi yang terlalu rendah dapat menghasilkan lapisan film tipis dengan kemampuan penyerapan cahaya yang terbatas, sedangkan konsentrasi yang terlalu tinggi berpotensi membentuk lapisan tebal yang meningkatkan resistansi *transport muatan* (Du dkk., 2022). Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk mengeksplorasi variasi konsentrasi prekursor sebagai salah satu upaya meningkatkan efisiensi sekaligus mempertahankan stabilitas material.

Penelitian ini berfokus pada variasi konsentrasi PbBr₂ dan CsBr untuk membentuk film CsPbBr₃ menggunakan metode *two-step sequential deposition*. Variasi konsentrasi tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat optik, morfologi, dan kinerja sel surya sel surya yang berkontribusi pada nilai efisiensi sel surya. Konsentrasi larutan diperkirakan memengaruhi homogenitas, kerapatan film, serta mekanisme transportasi muatan, sehingga berpotensi meningkatkan performa sel surya. Berdasarkan kajian literatur, penelitian sebelumnya belum secara spesifik melaporkan variasi konsentrasi larutan CsPbBr₃ sehingga penelitian ini memiliki kebaruan dalam mengeksplorasi sekaligus

mengoptimasi konsentrasi bahan terhadap efisiensi sel surya. Melalui penelitian ini diharapkan diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai parameter optimum dalam proses fabrikasi perovskite berbasis CsPbBr₃, sehingga dapat mendukung peningkatan kinerja sekaligus stabilitas sel surya perovskite.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa konsentrasi prekursor CsPbBr₃ optimum yang dapat menghasilkan sifat optik dengan serapan cahaya tinggi?
2. Berapa konsentrasi prekursor CsPbBr₃ optimum yang dapat menghasilkan morfologi film tipis yang homogen?
3. Berapa konsentrasi prekursor CsPbBr₃ optimum yang dapat menghasilkan efisiensi yang tinggi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian pada latar belakang dan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh gambaran mengenai konsentrasi prekursor CsPbBr₃ yang optimum untuk menghasilkan sifat optik dengan serapan cahaya tinggi.
2. Memperoleh gambaran mengenai konsentrasi prekursor CsPbBr₃ yang optimum untuk menghasilkan morfologi film tipis yang homogen.
3. Memperoleh gambaran mengenai konsentrasi prekursor CsPbBr₃ yang optimum untuk menghasilkan efisiensi yang tinggi.

1.4 Batasan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, penulis menentukan batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Material perovskite yang digunakan adalah CsPbBr₃ berbasis anorganik.
2. Metode fabrikasi yang digunakan adalah *two-step sequential spin coating*.
3. Variabel yang diteliti adalah konsentrasi prekursor (1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 M)
4. Hasil pengujian sel surya berdasarkan sifat optik, morfologi, dan efisiensi sel surya.

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Bagi Peneliti dan Akademisi

Penelitian ini dapat menjadi referensi ilmiah mengenai pengaruh variasi konsentrasi prekursor terhadap sifat optik dan kinerja sel surya perovskite berbasis CsPbBr₃. Hasil penelitian diharapkan memperkaya literatur dalam bidang material semikonduktor dan teknologi energi terbarukan.

1.5.2 Bagi Peneliti Selanjutnya

Penelitian ini dapat menjadi dasar dan acuan untuk mengoptimalkan parameter fabrikasi perovskite, sehingga dapat dilakukan penelitian lanjutan yang berfokus pada peningkatan efisiensi dan stabilitas sel surya.

1.5.3 Bagi Dunia Industri

Penelitian ini diharapkan memberikan masukan awal dalam pengembangan teknologi sel surya perovskite yang lebih stabil dan efisien, sehingga dapat mendukung pengembangan energi terbarukan sebagai alternatif sumber energi di masa depan.

1.5.4 Bagi Masyarakat

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat jangka panjang berupa ketersediaan teknologi energi terbarukan yang ramah lingkungan, terjangkau, dan berkelanjutan, sehingga dapat mendukung peningkatan kualitas hidup masyarakat.