

BAB I

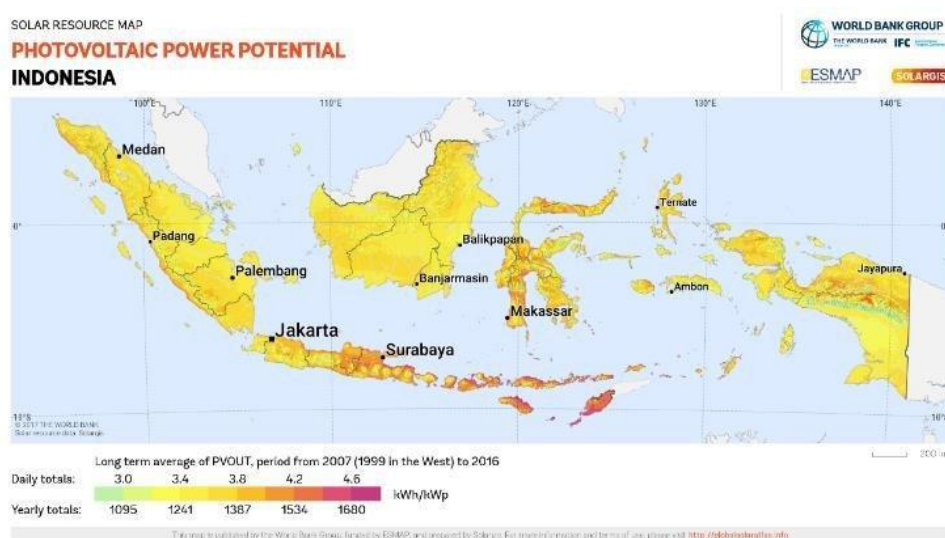
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia tengah menghadapi tantangan besar dalam sektor energi seiring dengan meningkatnya kebutuhan listrik akibat pertumbuhan ekonomi dan populasi yang diproyeksikan mencapai 335 juta jiwa pada tahun 2050. Permintaan listrik diperkirakan melonjak hingga lima kali lipat, mencapai lebih dari 1.700 TWh pada pertengahan abad ini (Yudiartono, 2023). Saat ini, sebagian besar kebutuhan listrik Indonesia masih bergantung pada sumber energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Ketergantungan ini menjadi permasalahan yang kompleks karena tidak hanya berkontribusi terhadap emisi karbon yang signifikan, tetapi juga menimbulkan isu keberlanjutan akibat sifat energi fosil yang tidak dapat diperbarui (*non-renewable*) (Hanan & Kuntjoro, 2015). Penggunaan bahan bakar fosil menjadi penyumbang utama emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida. Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), sektor energi menyumbang sekitar 34% dari total emisi gas rumah kaca pada tahun 2019, menjadikannya penyumbang emisi terbesar kedua di Indonesia berdasarkan laporan *Indonesia Energy Transition Outlook 2022* (Hersaputri, 2024).

Dalam upaya menjawab tantangan tersebut, pengembangan energi terbarukan menjadi fokus utama dalam peralihan menuju sistem energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Salah satu alternatif yang memiliki potensi besar adalah penggunaan energi surya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.1. Dengan kondisi geografis yang menguntungkan, Indonesia memiliki potensi energi fotovoltaik harian sebesar 3,5 hingga 4,0 kWh/kWp (ESMAP, 2020), menjadikan energi surya sebagai sumber daya melimpah dengan biaya yang semakin kompetitif dibandingkan energi fosil. Pemanfaatan energi surya tidak hanya berperan sebagai alternatif terhadap bahan bakar fosil,

tetapi juga berkontribusi secara signifikan dalam mengurangi emisi karbon dan mendukung ketahanan energi nasional (IRENA, 2022).



Gambar 1.1 Potensi Tenaga Fotovoltaik di Indonesia

Sumber: (ESMAP, 2020)

Teknologi sel surya telah mengalami perkembangan pesat sejak pertama kali ditemukan oleh Charles Fritts pada tahun 1883. Inovasi ini semakin berkembang setelah silikon mulai digunakan sebagai bahan utama, menandai era baru dalam teknologi fotovoltaik modern (Cleveland, 2014). Energi surya kini diterapkan di berbagai sektor, termasuk sektor militer dan pemerintahan, karena sifatnya yang hemat biaya, ramah lingkungan, serta mendukung keamanan energi. Sebagai contoh, tenda militer yang dilengkapi panel surya (Gambar 1.2a) dirancang untuk mengurangi ketergantungan logistik di wilayah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T) yang belum terjangkau jaringan listrik di seluruh wilayah Indonesia (Akshay V. R., 2023). Selain itu, sel surya fleksibel seperti pada Gambar 1.2b sedang dikembangkan untuk mendukung prajurit di lapangan dengan menyediakan sumber energi yang ringan dan portabel untuk mengisi daya perangkat komunikasi dan pengintaian, seperti ponsel, radio, drone, serta kebutuhan listrik satuan militer (Tucker, 2016).



Gambar 1.2 (a) Tenda dengan Panel Surya, (b) Penerapan Teknologi Sel Surya dalam Operasi Militer

Sumber: (Akshay V. R., 2023; Tucker, 2016)

Sel surya perovskit (SSP) menjadi salah satu inovasi unggulan dalam bidang teknologi fotovoltaik karena menawarkan efisiensi tinggi, kemampuan penyerapan cahaya yang luar biasa, serta biaya produksi yang rendah. Material perovskit memiliki karakteristik unggul seperti koefisien serapan cahaya yang tinggi, celah pita yang dapat disesuaikan, dan kemampuan untuk diproses pada suhu rendah, menjadikannya ideal untuk aplikasi skala besar. Meskipun proses fabrikasinya relatif sederhana, pemilihan material yang tepat untuk lapisan transpor elektron (LTE) tetap menjadi faktor penting dalam mencapai kinerja perangkat yang optimal (Roy, 2022).

Timah (IV) oksida (SnO_2) merupakan material yang berpotensi tinggi untuk diaplikasikan sebagai LTE pada SSP karena karakteristiknya yang memiliki celah pita energi yang cukup lebar ($\pm 3,6 - 4,0$ eV), memungkinkan lebih banyak cahaya menembus ke lapisan aktif perovskit dengan mengurangi penyerapan di lapisan LTE. Selain itu, SnO_2 menunjukkan stabilitas kimia dan fotokimia yang lebih baik dibandingkan titanium dioksida (TiO_2), serta memungkinkan proses annealing pada suhu rendah ($\sim 200^\circ\text{C}$), yang lebih hemat energi dan waktu serta kompatibel dengan substrat fleksibel atau material sensitif terhadap suhu tinggi. SnO_2 juga memiliki

transparansi optik yang tinggi, yang berarti cahaya dapat lewat tanpa banyak diserap oleh lapisan ini. Selain itu, material ini memiliki mobilitas elektron tinggi dan tingkat defek yang rendah, yang berkontribusi pada transpor muatan yang cepat dan efisien, serta mengurangi rekombinasi pembawa muatan (Ganose & Scanlon, 2016; Gong, 2023; Hakeem, 2024; Noh, 2017; Tomulescu, 2020; Wu, 2024)

Dua teknik deposisi yang umum digunakan untuk membentuk LTE adalah *spray-coating* dan *spin-coating*. *Spin-coating* dikenal sebagai metode yang sederhana, murah, dan mampu menghasilkan lapisan tipis yang seragam pada skala laboratorium, serta telah menjadi standar dalam banyak penelitian awal karena kemudahan kontrol parameter seperti kecepatan putar dan waktu deposisi. Di sisi lain, *spray-coating* menawarkan keunggulan dalam hal skalabilitas industri, kemampuan pelapisan pada permukaan yang luas atau fleksibel, serta efisiensi produksi secara massal. Proses *spray-coating* memungkinkan distribusi larutan yang lebih merata di atas substrat yang telah dipanaskan, dan tidak memerlukan sistem vakum seperti teknik deposisi lainnya. Pemilihan dua metode ini didasari karena masing-masing mewakili pendekatan yang berbeda: *spin-coating* sebagai teknik berbasis laboratorium dengan presisi tinggi, dan *spray-coating* sebagai metode yang berpotensi dikembangkan untuk produksi skala besar. Dengan demikian, perbandingan keduanya menjadi penting untuk mengidentifikasi metode deposisi yang paling efektif dalam menghasilkan lapisan SnO₂ berkinerja tinggi, baik dari segi kualitas optoelektronik maupun kesiapan transisi ke industri manufaktur (Bishop, 2020; Tzounis, 2017).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh variasi ketebalan lapisan SnO₂ yang di deposisi pada teknik *spray* dan *spin-coating* terhadap performa sel surya perovskit ?

- b. Bagaimana sifat optik dan morfologi yang terbentuk pada lapisan elektron transpor SnO₂ pada teknik *spray* dan *spin-coating* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menganalisis pengaruh variasi ketebalan lapisan SnO₂ yang di deposisi pada teknik *spray* dan *spin-coating* lewat pengukuran grafik arus terhadap tegangan.
- b. Menganalisis sifat optik lapisan transpor elektron dengan karakterisasi UV-Vis serta morfologinya dengan SEM-EDX.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Teoritis

Penelitian ini berkontribusi dalam memperluas wawasan ilmiah di bidang material semikonduktor serta mendorong kemajuan teknologi sel surya, khususnya terkait pemahaman tentang pengaruh teknik deposisi (*spray* dan *spin-coating*) terhadap sifat optik, morfologi, dan performa lapisan SnO₂ sebagai lapisan transpor elektron. Temuan dari penelitian ini dapat dijadikan acuan bagi penelitian selanjutnya yang berfokus pada optimalisasi struktur lapisan tipis (*thin film*) pada sel surya generasi ketiga, termasuk sel surya berbasis perovskit.

1.4.2 Manfaat Praktis

Penelitian ini dapat menjadi acuan dalam pemilihan metode fabrikasi yang lebih efisien dan efektif untuk produksi massal sel surya perovskit, khususnya dalam hal efisiensi energi dan kestabilan perangkat. Selain itu, hasil penelitian ini dapat mendukung pengembangan teknologi energi terbarukan di Indonesia sebagai solusi untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya energi fosil yang tidak terbarukan dan berpolusi tinggi.