



Systematic Literature Review (SLR): Kemajuan Teknik Lapisan Semprot Pada Sel Surya Ditinjau dari Aspek Efisiensi dan Prospek Komersialisasi

Adi Kurniawan^{1,*}, Anisa Indriawati²

¹*Institut Teknologi Yogyakarta*

Program Studi Teknik Sistem Energi, Institut Teknologi Yogyakarta, Jl. Janti Km 4 Gedongkuning Yogyakarta, 55198

²*Program Studi Fisika, Universitas Bangka Belitung*

Jl. Kampus Peradapan, Kampus Terpadu Balunijuk Gd. Dharma Penelitian Lt 1, Bangka, Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia 33172

*E-mail korespondensi: kurniawanadi.me@gmail.com

Info Artikel:

Dikirim:
[31 Oktober 2024](#)
Revisi:
[12 Desember 2024](#)
Diterima:
[23 Desember 2024](#)

Abstract

This systematic literature review examines recent advances in spray-coating techniques for solar cells through the analysis of 90 articles published between 2021 and 2025, using the PRISMA method and VOSviewer analysis. Key findings reveal that spray-coating techniques enhance solar cell efficiency by 21.16 % in monocrystalline silicon (m-Si) substrates when zinc stannate (ZnSnO₃) is applied as an anti-reflective material. In terms of fabrication, the study identifies significant commercialization potential for spray-coated solar cells, as proven by the successful deposition of spray-coated layers on perovskite solar cells with areas of up to 5 × 5.5 cm².

Kata Kunci:

[Lapisan semprot;](#)
[sel surya;](#)
[perovskit](#)

PENDAHULUAN

Secara global kebutuhan energi terus meningkat disebabkan kecepatan pertumbuhan industri di setiap negara. Kebutuhan energi juga disertai dengan meningkatnya dampak negatif terhadap lingkungan karena menggunakan bahan bakar konvensional (fosil) sebagai energi utama dalam aktivitas. Berdasarkan dua fenomena tersebut berhasil mendorong pengembangan teknologi energi terbarukan yang lebih efisien dan berkelanjutan. Sel surya, sebagai salah satu solusi energi terbarukan yang menjanjikan, terus mengalami perkembangan signifikan dalam hal teknologi fabrikasi [1]. Seiring dengan kemajuan teknologi perkembangan sel surya pun terus mengalami tren yang positif. Berbagai macam teknologi digunakan untuk menghasilkan sel surya untuk menghasilkan efisiensi tinggi, termasuk menggunakan nanoteknologi [2]. Di antara berbagai teknologi pembuatan sel surya, teknik *spray coating* (pelapisan semprot) telah muncul

sebagai pendekatan yang menarik perhatian karena potensinya dalam produksi skala besar dengan biaya yang relatif rendah [3].

Pada rentang lima tahun terakhir (2021-2025), perkembangan teknologi *spray coating* untuk sel surya telah menunjukkan kemajuan yang pesat. Metode ini menawarkan beberapa keunggulan termasuk kemampuan untuk melapisi area yang luas dengan cepat, kontrol ketebalan film yang presisi, dan fleksibilitas dalam pemilihan material [4]. Apabila dibandingkan dengan metode konvensional seperti *spin coating* atau *thermal evaporation*, *spray coating* memiliki potensi besar untuk implementasi industri karena kesederhanaan prosesnya dan kemampuannya dalam produksi secara berkesinambungan [5]. Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa teknik pelapisan semprot dapat menghasilkan sel surya dengan efisiensi yang kompetitif. Misalnya, sel surya silikon mono-kristalin yang di fabrikasi menggunakan metode lapisan semprot telah mencapai efisiensi konversi daya hingga 21.16% [6].

Berdasarkan penelitian dan perkembangan eksistensi solar sel berlapis menggunakan teknik semprot, akan dilakukan penelitian yang bertujuan untuk menganalisis perkembangan terkini dalam teknologi lapisan semprot yang ditinjau secara sistematis sehingga didapatkan kondisi terkini terkait kemajuan sel surya berlapis terutama yang menggunakan teknik *spray* (semprot). Penelitian ini akan berfokus pada sejauh mana inovasi dalam teknik *spray coating*, perkembangan material dan pengaruhnya terhadap performa perangkat, dan tantangan serta solusi dalam menuju fabrikasi skala industri. Dengan demikian penelitian ini diharapkan menjadi tolak ukur untuk melakukan penelitian lebih lanjut tentang sel surya yang menggunakan teknik lapisan semprot.

METODE PENELITIAN

1. Desain Penelitian

Metode yang dipilih pada penelitian ini menggunakan *Systemtic Literature Review (SLR)*. Metode ini memiliki tinjauan secara sistematis dan komprehensif untuk mengumpulkan, mengidentifikasi, menganalisis, mengevaluasi, dan mensintesa hasil/temuan penelitian [7]. Dengan demikian, metode ini dapat membantu peneliti menyelidiki status terkini dari penelitian dengan topik tertentu. Setidaknya ada dua tahap dalam mengembangkan metodologi SLR, tahap pertama menentukan ruang lingkup penelitian dengan menggunakan sejumlah pertanyaan terkait penelitian sebagai kerangka kerja proses analisis literatur. Pertanyaan penelitian (PP) yang digunakan adalah sebagai berikut.

- a. (PP1) sejauh mana aplikasi teknologi pelapisan/inovasi semprot pada sel surya sudah berkembang?
- b. (PP2) bagaimanakah performa sel surya dengan teknik lapisan semprot?
- c. (PP3) tantangan dalam mengembangkan sel surya lapisan semprot pada skala industri.

Tahap kedua yaitu menentukan strategi untuk memperoleh meta data dari basis data yang terpercaya. Pada tahap ini menggunakan Protokol PRISMA-P (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Protokol ini berfungsi sebagai alat atau panduan yang digunakan untuk menilai tinjauan sistematik dan meta analisis secara terperinci [8], [9].

2. Strategi Pencarian

Strategi pencarian diperlukan untuk memperoleh jurnal yang relevan dengan menerapkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditentukan sebelumnya. Kriteria inklusi merupakan filterisasi yang bertujuan untuk menentukan artikel yang akan dipilih menggunakan kriteria tertentu. Sedangkan kriteria inklusi adalah filterisasi untuk mengeliminasi artikel sehingga artikel yang diperoleh tidak bias. Adapun sumber data yang digunakan dalam pencarian jurnal/artikel

berasal dari sumber data *sciencedirect*, dengan kata kunci yang digunakan adalah: "*spray coating solar cell*", kemudian menerapkan kriteria inklusi yaitu artikel harus dalam Bahasa Inggris, dipublikasikan pada rentang tahun 2021-2025, dan berupa jurnal penelitian dengan data eksperimental atau analisis teknis. Sedangkan untuk kriteria eksklusi yaitu: hanya berupa abstrak atau konferensi (*proceedings*), berupa artikel tinjauan/*(review)*, artikel tidak berbahasa Inggris, studi tanpa data kuantitatif, dan publikasi artikel sebelum tahun 2021.

3. Proses Seleksi dan Analisis Data

Proses seleksi atau pemilihan artikel dilakukan dengan dua tahapan, yang pertama yaitu judul dan abstrak harus memuat kata kunci *spray coating/coated* atau *spray deposition* dan *solar cell* atau *photovoltaic*. Langkah selanjutnya adalah memastikan bahwa setiap jurnal yang telah berhasil melewati filterisasi tahap pertama, kemudian akan diseleksi dengan memastikan artikel harus memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi. Setelah tahapan penyeleksian selesai akan dilanjutkan pada analisis data. Analisis data menggunakan perangkat lunak VOSviewer, alat ini merupakan perangkat yang dapat membagi meta data artikel ke dalam berapa kluster sehingga memudahkan untuk menganalisis dengan banyak artikel [10].

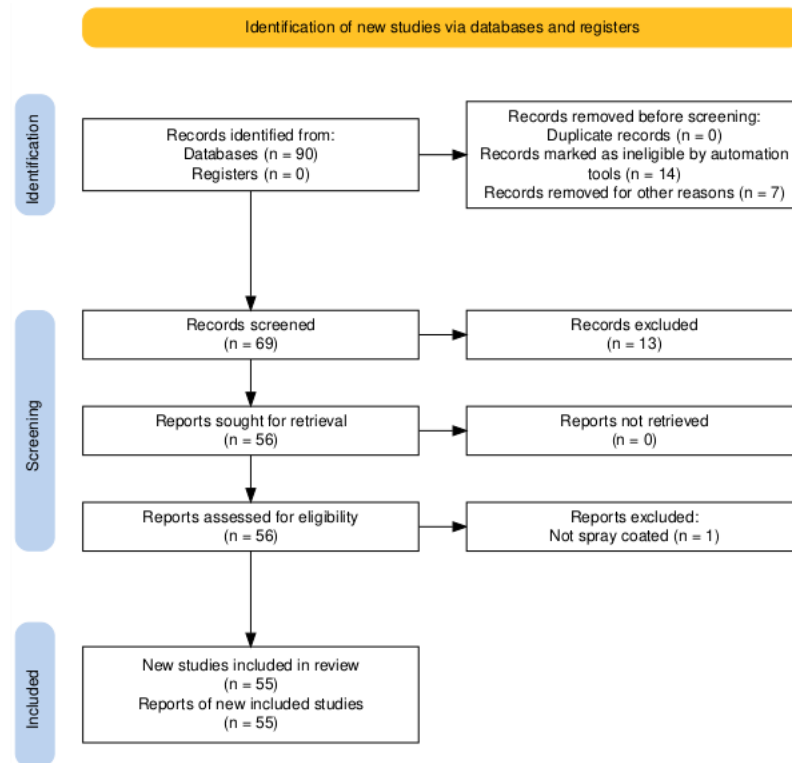
VOSviewer digunakan untuk melihat sejauh mana perkembangan penelitian tentang sel surya berlapis, yang mana itu adalah untuk menjawab pertanyaan penelitian pertama. Setelah itu untuk menjawab pertanyaan penelitian kedua, dan ketiga dilakukan secara manual. Pada tahap ini setiap artikel minimal harus memuat ketiga parameter berikut ini: terdapat penjelasan tentang teknik lapisan semprot atau *spray coating*, terdapat hasil penelitian berupa *performance spray coating* (Efisiensi konversi daya, Stabilitas, Uniformitas lapisan, Area aktif), dan terindikasi Aspek Fabrikasi/Komersialisasi (skala produksi, tingkat keberhasilan, tantangan teknis, solusi yang diimplementasikan). Dengan demikian seluruh pertanyaan penelitian akan terjawab dengan sistematis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Penyaringan Artikel Menggunakan Protokol PRISMA

Pada tahap awal, artikel yang diperoleh dari sumber data *sciencedirect* berdasarkan kata kunci "*spray coating solar cell*" dengan rentang tahun 2021 sampai 2025 teridentifikasi sebanyak 90 artikel. Kemudian dari 90 artikel tersebut dilakukan penyaringan sesuai dengan protokol PRISMA sehingga artikel yang didapatkan konsisten dan tersistematis. Pada tahap pertama penyaringan, sebanyak 14 artikel tereliminasi, karena baik judul maupun abstrak tidak mengandung kata kunci "*spray coating solar cell*" dan 7 artikel lainnya juga dikeluarkan dari daftar karena terdapat ketidaksesuaian kata kunci yaitu: pada judul tertulis *spray coating* akan tetapi teknik tersebut bukan untuk sel surya. Dengan demikian pada tahap penyaringan pertama total artikel yang berhasil teridentifikasi sebanyak 69 artikel.

Kemudian sampai pada tahap kedua yaitu filtrasi dengan kriteria inklusi dan eksklusi. Pada tahap ini berhasil mengeliminasi sebanyak 13 artikel karena beberapa di antaranya berupa (*review*, *encyclopedia*, dan *short communication*) yang mana ini merupakan kriteria eksklusi/dikeluarkan dan 1 artikel juga dieeliminasi karena tidak mengandung teknik *spray coating*, akan tetapi hanya terdapat kata kunci *solar cell* saja, jadi total artikel yang teridentifikasi dan sesuai dengan kaidah metode PRISMA sebanyak 55 artikel. Rangkaian filtrasi protokol PRISMA secara lengkap disajikan pada gambar 1. Langkah selanjutnya adalah menganalisis artikel hasil filtrasi menggunakan VOSviewer dan analisis manual guna mendapatkan jawaban pertanyaan penelitian.



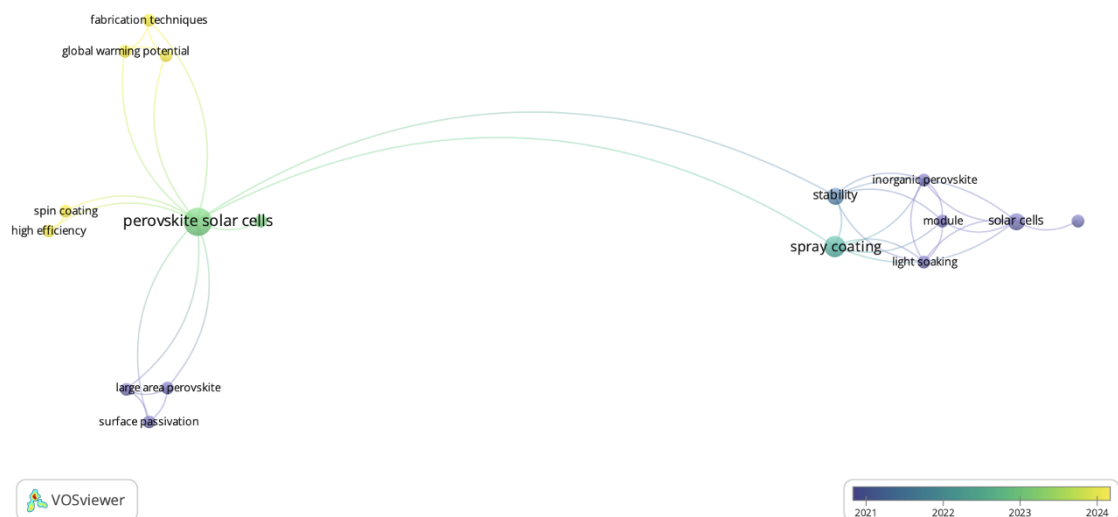
Gambar 1. Filtrasi Protokol Prisma

2. Analisis Artikel

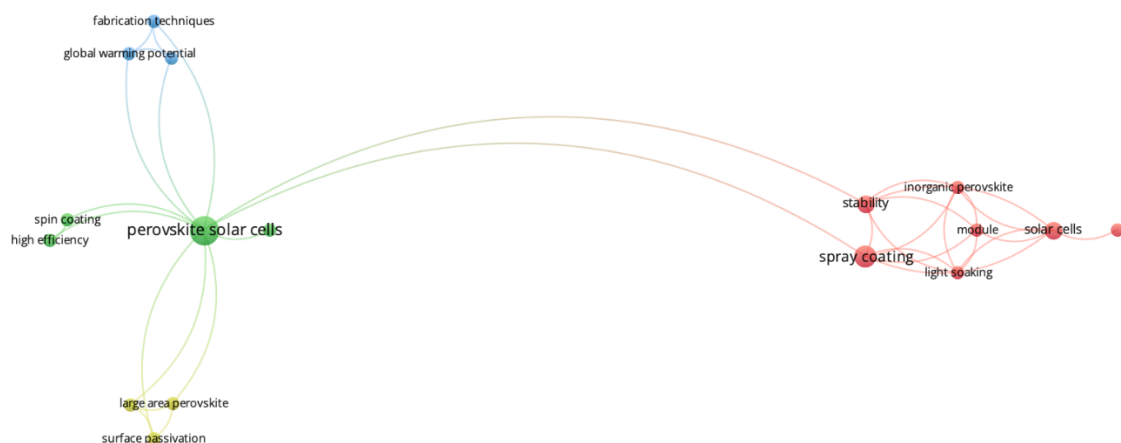
a. Analisis VOSviewer

Berdasarkan hasil analisis VOSviewer terhadap 55 artikel dapat dijelaskan bahwa teknologi lapisan semprot telah berkembang pesat setidaknya dalam lima tahun terakhir. Pada awal tahun 2021 penelitian tentang teknologi lapisan semprot sel surya berfokus pada stabilitas, penyerapan intensitas dan aplikasi modul sel surya, kemudian pada tahun 2022 perkembangan penelitian beralih pada sel surya berjenis perovskit, yang mana ini adalah sel surya berbahan hibrida atau campuran dari bahan organik dan anorganik. Penelitian tentang teknologi lapisan semprot sel surya perovskit terus berkembang sampai pada masa sekarang setidaknya pada akhir 2024 dan awal 2025 yaitu fokus penelitiannya tentang teknik fabrikasi, efisiensi, dan tambahan teknik semprot dengan perputaran (*spin coating*).

Merujuk dari hasil analisis VOSviewer (Gambar 2) dapat disimpulkan bahwa kemajuan penelitian tentang teknologi/inovasi pelapisan semprot pada sel surya telah berkembang mulai dari integrasi bahan/material organik, anorganik, dan campuran (perovskit), meningkatkan efisiensi sel surya, hingga upaya pelapisan semprot pada sel surya untuk skala besar. Dengan demikian kemajuan sel surya berlapis semprot mengalami progres yang baik ditandai dengan penelitian-penelitian terkini yang mulai memikirkan bagaimana sel surya berlapis dengan teknik semprot dapat diproduksi secara masal.



(a)



(b)

Gambar 2. Visualisasi Vosviewer: (a) Overlay visualisation dan (b) Network visualisation

b. Analisis Manual

Performa Sel Surya dengan Teknik lapisan semprot

Tabel 1 adalah artikel yang teridentifikasi mengandung performa dari sel surya dengan teknik semprot. Dari 90 artikel yang didapat dari sumber *sciendirect* dengan filtrasi kriteria inklusi dan eksklusi diperoleh sebanyak lima artikel. Artikel-artikel tersebut akan dianalisis secara manual dengan membaca kemudian menyimpulkan hasil penelitian. Hasil kesimpulan dari beberapa artikel tersebut akan digunakan untuk menjawab pertanyaan penelitian tentang performa dari teknik lapisan semprot pada sel surya.

Tabel 1. Performa Pelapisan semprot sel surya

Peneliti dan tahun	Judul	Hasil Penelitian
(Huang et al., 2021)	Performance improvement of dye-sensitized solar cells by using TiO ₂ compact layer and	Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi material antara lapisan padat CL dengan nanowire dan Indium

	silver nanowire scattering layer.	tin oxide (CL/AgNW/ITO) dengan teknik ultrasonic spray coating meningkatkan efisiensi sebesar 0.53%. sedangkan integrasi material CL/ITO dengan teknik yang sama hanya menghasilkan peningkatan efisiensi sebesar 0.31%.
(Wang et al., 2022)	Impact of charge generation and extraction on photovoltaic performances of spin- and blade-as well as spray-coated organic solar cells.	Perbandingan teknik pelapisan pada sel surya berbasis fullerene dan non-fullerene telah dilakukan, dari ketiga teknik lapisan tersebut hanya pelapis semprot yang dapat diaplikasikan ke berbagai substrat, akan tetapi terdapat tantangan yaitu keseragaman dan morfologi film pada teknik semprot yang dapat menurunkan kinerja.
(Yu et al., 2023)	Moisture control enables high-performance sprayed perovskite solar cells under ambient conditions.	Salah satu tantangan dalam teknik lapisan semprot adalah adanya efek cincin kopi (CRE) pada substrat. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan kontrol morfologi dan kristalisasi sehingga dapat meningkatkan efisiensi konversi daya (PCE). Terbukti dengan morfologi dan kristalisasi yang baik efisiensi dengan teknik lapisan semprot pada sel surya perovskite meningkat dari 18.25% menjadi 19.74%.
(Mufti et al., 2024)	Improved performance of a SWCNT/ZnO nanostructure-integrated silicon thin-film solar cell: role of annealing temperature.	Peningkatan performa sel surya dengan bahan Silikon (SiTFSC) diintegrasikan dengan nanostruktur seng oksida (ZnO NC) dan nanotube karbon berdinding tunggal (SWCNT) menggunakan teknik lapisan semprot putar menunjukkan peningkatan dari aspek efisiensi, porositas, pita

		serapan optik, dan energi celah pita film dengan masing-masing nilai 17-18.6%, 70-74.8%, 246-326 nm, dan 2-2.5 ev.
(Mostafa et al., 2024)	Enhanced performance of monocrystalline silicon solar cells using sol-gel synthesized zinc stannate anti-reflective coating via electro-spraying technique.	Teknik lapisan semprot elektro digunakan untuk meningkatkan efisiensi sel surya silikon monokristalis (m-Si) menggunakan seng stannat ($ZnSnO_3$) yang difungsikan sebagai bahan anti reflektif. Pengendapan lapisan tersebut setebal 2ml/jam selama 3 jam meningkatkan efisiensi konversi daya sebesar 21.16% pada radiasi matahari langsung dan 25.11% pada cahaya terstimulasi.

Berdasarkan dari hasil penelitian yang diperoleh dari ke lima artikel tersebut dapat disimpulkan bahwa performa sel surya dengan teknik lapisan semprot dapat meningkatkan efisiensi konversi daya, porositas, pita serapan optik, dan energi celah pita [6], [11], [12]. Selain itu dengan menggunakan teknik lapisan semprot, sel surya memiliki keuntungan yaitu, dapat menggunakan larutan apa pun yang dapat meningkatkan performa sel surya baik organik, anorganik dan gabungan ke duanya [13], [14] . Akan tetapi pada teknik ini masih memiliki tantangan, salah satunya yaitu penerapan teknik semprot belum bisa memiliki efisiensi konversi daya maksimal pada permukaan yang luas.

3. Tantangan Pengembangan Sel Surya berlapis semprot pada Skala Industri

Tabel 2 merupakan artikel-artikel yang mengandung fabrikasi sel surya dengan teknik lapisan semprot. Beberapa artikel ini merupakan hasil seleksi dari 90 artikel yang diperoleh berdasarkan kata kunci yang telah ditentukan di awal penelitian. Terdapat empat artikel yang di dalamnya mengandung kata kunci fabrikasi akan tetapi tidak semua artikel yang terdapat kata kunci fabrikasi dianalisis, hanya yang mengandung teknik lapisan semprot yang akan dipilih karena merupakan konsistensi sistematis dari analisis penelitian.

Tabel 2. Fabrikasi Pelapisan semprot sel surya

Peneliti dan tahun	Judul	Hasil Penelitian
(Chou et al., 2021)	Spray deposition of NiOx hole transport layer and perovskite photoabsorber in fabrication of photovoltaic mini module.	Pada penelitian ini dilakukan Teknik lapisan semprot solar sel bahan perovskite dengan ukuran 5 x 5.5 cm ² menggunakan bahan NiOx HTL. Dengan menggabungkan lima sel menjadi mini photovoltaic modul menghasilkan efisiensi

		konversi daya sebesar 6.18% yang diukur pada aperture 10.4 cm ² .
(Bhavani et al., 2021)	Tandem DSSC fabrication by controlled infiltration of organic dyes in mesoporous electrode using electric-field assisted spray technique.	Dye-Sensitized Solar cells (DSSC) yang menggunakan dua pewarna merah dan hitam diinfiltrasi oleh fotoanoda TiO ₂ ke dalam pori-pori menggunakan Teknik lapisan semprot medan listrik memungkinkan fabrikasi solar sel pada area yang lebih luas dan memiliki efisiensi konfersi daya 11%. Dengan memungkinkannya aplikasi pada area yang lebih luas hal ini dapat memproduksi solar sel perangkat tandem secara industri.
(Liu et al., 2022)	Scalable fabrication for efficient quasi two-dimensional perovskite solar cells via ultrasonic spray-coating method.	Sel surya perovskite 2D diberikan lapisan semprot ultrasonic dengan tambahan metode deposisi memungkinkan untuk membuat sel surya tersebut diperbanyak hingga skala industry. Keuntungan menggunakan sel surya 2D adalah stabilitas jangka Panjang dan sifat elektrik yang baik dibanding sel surya 3D.
(Silvano et al., 2024)	Ultrasonic spray coating for the scalable fabrication of Perovskite-on-Chalcogenide monolithic tandem Devices: Approaching the 20% efficiency.	Penggunaan Teknik lapisan semprot ultrasonic menggunakan kalkogenik (CIGS) pada lapisan sel surya perovskite memungkinkan dilakukannya fabrikasi sel surya perovskite/CIGS. Hal ini dikarenakan lapisan CIGS pada perovskite menjadikan perangkat tandem monolitik dengan efisiensi mendekati 20%.

Berdasarkan Tabel 2, dapat disimpulkan bahwa pabrikasi sel surya dengan teknik lapisan semprot memiliki kemungkinan untuk diproduksi pada skala industri, akan tetapi ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, di antaranya yaitu bahan larutan sebagai pelapis yang digunakan harus tepat karena terkait nilai efisiensi dan masih mengalami kendala ketika dibutuhkan dalam jumlah yang banyak. Seperti penelitian yang dilakukan Silvano et al dan Bhavani et al, ketika

menggunakan bahan larutan yang berbeda juga menghasilkan efisiensi yang berbeda [15], [16]. Akan tetapi ketika teknik lapisan semprot di gabungkan dengan metode lain seperti deposisi, bantuan medan elektrik dan ultrasonik, dan dimensi yang akan dipakai [17], [18], hal ini memungkinkan produksi sel surya berlapis semprot dapat di fabrikasi dengan skala industri.

KESIMPULAN

Tinjauan sistematis literatur tentang kemajuan sel surya dengan teknik lapisan semprot menunjukkan perkembangan signifikan dalam peningkatan performa, efisiensi, dan potensi skala industri/pabrikasi. Capaian penting meliputi teknologi semprot ultrasonik yang memungkinkan pengendalian ketebalan film dengan presisi tinggi serta peningkatan keseragaman, mencapai efisiensi kompetitif pada sel surya mono-kristalin silikon hingga 21,16%. Implementasi teknik lapisan semprot pada skala besar menunjukkan hasil yang menjanjikan dengan area pelapisan dengan ukuran 5 x 5.5 cm². Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menyikapi tantangan dalam hal keberagaman bahan pelapis yang mudah diaplikasikan, luasan aplikasi semprot, dan stabilitas efisiensi yang lebih panjang dengan tujuan menjadikan sel surya berlapis semprot sebagai opsi yang layak secara komersial. Temuan ini memberikan dasar yang kuat sebagai solusi berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan energi secara global.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Dr. Bimastyaji Surya Ramadan yang telah menginspirasi penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Nijs *et al.*, "Overview of solar cell technologies and results on high efficiency multicrystalline silicon substrates," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 48, no. 1–4, 1997, doi: 10.1016/S0927-0248(97)00103-7.
- [2] S. Iqbal, X. Guo, J. Nanxi, and T. Zhang, "Advances in solar cell fabrication and applications using nanotechnology," *Solar Energy Harvesting, Conversion, and Storage: Materials, Technologies, and Applications*, pp. 223–250, Jan. 2023, doi: 10.1016/B978-0-323-90601-2.00006-4.
- [3] S. Y. Park *et al.*, "Spray-coated organic solar cells with large-area of 12.25 cm²," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 95, no. 3, pp. 852–855, Mar. 2011, doi: 10.1016/J.SOLMAT.2010.10.033.
- [4] Tarek I. Alanazi, "Current spray-coating approaches to manufacture perovskite solar cells," *Results Phys*, vol. 44, 2023.
- [5] A. K. Pal and S. Saha, "Polymer solar cell fabrication using spray coating," *Comprehensive Materials Processing*, pp. 275–285, Jan. 2024, doi: 10.1016/B978-0-323-96020-5.00295-8.
- [6] A. M. Mostafa *et al.*, "Enhanced performance of monocrystalline silicon solar cells using sol-gel synthesized zinc stannate anti-reflective coating via electro-spraying technique," *Ceram Int*, Dec. 2024, doi: 10.1016/J.CERAMINT.2024.12.519.
- [7] M. Gusenbauer and S. P. Gauster, "How to search for literature in systematic reviews and meta-analyses: A comprehensive step-by-step guide," *Technol Forecast Soc Change*, vol. 212, p. 123833, Mar. 2025, doi: 10.1016/J.TECHFORE.2024.123833.
- [8] D. Moher *et al.*, "Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement," *Revista Espanola de Nutricion Humana y Dietetica*, vol. 20, no. 2, pp. 148–160, Jan. 2016, doi: 10.1186/2046-4053-4-1/TABLES/4.

- [9] M. J. Page *et al.*, "The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews," *BMJ*, vol. 372, Mar. 2021, doi: 10.1136/BMJ.N71.
- [10] X. Chen, W. Tian, and H. Fang, "Bibliometric analysis of natural language processing using CiteSpace and VOSviewer," *Natural Language Processing Journal*, vol. 10, p. 100123, Mar. 2025, doi: 10.1016/J.NLP.2024.100123.
- [11] N. Mufti *et al.*, "Improved performance of a SWCNT/ZnO nanostructure-integrated silicon thin-film solar cell: role of annealing temperature," *Mater Adv*, vol. 5, no. 22, pp. 9018–9031, Oct. 2024, doi: 10.1039/D4MA00726C.
- [12] J.-J. Huang, T.-F. Cheng, Y.-R. Ho, and D.-P. Huang, "Performance improvement of dye-sensitized solar cells by using TiO₂ compact layer and silver nanowire scattering layer," *Thin Solid Films*, vol. 736, p. 138903, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2021.138903>.
- [13] L. Wang *et al.*, "Impact of charge generation and extraction on photovoltaic performances of spin- and blade-as well as spray-coated organic solar cells," *Org Electron*, vol. 101, p. 106423, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2021.106423>.
- [14] X. Yu *et al.*, "Moisture control enables high-performance sprayed perovskite solar cells under ambient conditions," *Mater Today Energy*, vol. 37, p. 101391, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mtener.2023.101391>.
- [15] J. Silvano, G. Birant, T. Oris, J. D'Haen, W. Deferme, and B. Vermang, "Ultrasonic spray coating for the scalable fabrication of Perovskite-on-Chalcogenide monolithic tandem Devices: Approaching the 20% efficiency," *Solar Energy*, vol. 277, p. 112738, Jul. 2024, doi: 10.1016/J.SOLENER.2024.112738.
- [16] T. Bhavani K, D. N. Joshi, and V. Dutta, "Tandem DSSC fabrication by controlled infiltration of organic dyes in mesoporous electrode using electric-field assisted spray technique," *Solar Energy*, vol. 223, pp. 318–325, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.SOLENER.2021.05.060.
- [17] L.-H. Chou, Y.-T. Yu, I. Osaka, X.-F. Wang, and C.-L. Liu, "Spray deposition of NiO_x hole transport layer and perovskite photoabsorber in fabrication of photovoltaic mini-module," *J Power Sources*, vol. 491, p. 229586, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.229586>.
- [18] Z. Liu, G. Liu, C. Xu, and X. Xie, "Scalable fabrication for efficient quasi two-dimensional perovskite solar cells via ultrasonic spray-coating method," *Org Electron*, vol. 102, p. 106440, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2022.106440>.