

Research Trends: Dye Sensitized Solar Cell Sebagai Sumber Energi Terbarukan Ramah Lingkungan

Fareka Kholidanata¹

¹ Program Studi Analisis Kimia, Politeknik AKA Bogor, Bogor, Indonesia

¹ fareka.ya2ng@gmail.com

Abstrak

Saat ini minyak bumi menempati urutan pertama sebagai sumber energi utama di dunia untuk memenuhi kebutuhan. Akan tetapi, minyak bumi termasuk ke dalam kelompok energi yang akan berpotensi habis seiring berjalaninya waktu. Disamping itu, energi dari sinar matahari dapat dimanfaatkan untuk mengurangi konsumsi energi dari minyak bumi. Energi sinar matahari merupakan salah satu energi yang dapat diperbarui (terbarukan). *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) merupakan salah satu teknologi untuk mengubah energi cahaya menjadi listrik. Akan tetapi, nilai efisiensi yang diperoleh dari DSSC masih kecil. Penelitian terkait DSSC sudah banyak dilakukan. Pada rentang tahun 2020-2024, terdapat 59 artikel terkait DSSC pada Google Cendikia yang memiliki jumlah sitasi lebih dari 36. Artikel terkait DSSC paling banyak terbit pada tahun 2021 yaitu 22 artikel. Sedangkan jumlah sitasi terbanyak dari artikel terkait DSSC ini berada pada tahun 2020 yaitu 2424 sitasi. Adapun topik penelitian yang banyak dikembangkan adalah modifikasi zat pemeka cahaya pada DSSC. Hasil review gabungan keunggulan modifikasi yang telah berhasil dilakukan oleh penelitian sebelumnya pada setiap komponen dalam DSSC, diharapkan dapat meningkatkan nilai efisiensi yang dihasilkan untuk memenuhi kebutuhan energi di dunia.

Kata Kunci : DSSC, Sel Surya, Sinar Matahari

Abstract

Currently, petroleum is a main energy source used to meet the world's needs. However, petroleum is an energy that has the potential to decrease over time. Besides that, sunlight can be used to reduce petroleum energy consumption. Solar energy is a form of renewable energy. Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) is a technology for converting light energy into electricity. However, the efficiency value obtained from DSSC is still small. A lot of research related to DSSC has been carried out. In the period 2020-2024, there were 59 articles related to DSSC on Google Scholar which had more than 36 citations. The most articles related to DSSC were published in 2021, namely 22 articles. Meanwhile, the highest number of citations for articles related to DSSC was in 2020, namely 2424 citations. The research topic that has been widely developed is modification of light-sensitizing substances in DSSCs. The review result combination of superior modifications that have been successfully carried out by previous research on each component in the DSSC is expected to increase efficiency value to meet the world's energy needs.

Keywords : DSSC, Solar Cell, Sunlight

1. Pendahuluan

Konsumsi energi di dunia pada tahun 2018 meningkat 18,45% dibandingkan konsumsi energi pada tahun 2008 (Sebestyen, 2021). Bahan bakar minyak bumi yang berasal dari fosil menjadi sumber energi terbesar yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari (Arisandi et al., 2022; Kabeyi & Olanrewaju, 2022). Minyak bumi merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui dan akan habis seiring dengan berjalanannya waktu. Pada 10 dekade mendatang, diperkirakan minyak bumi tersebut akan habis (Deng et al., 2020). Ketergantungan terhadap minyak bumi dapat dikurangi dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan sebagai alternatif sumber energi (Paneru et al., 2024). Penggunaan sumber energi terbarukan juga dapat menurunkan emisi gas rumah kaca (Kiehbadroudinezhad et al., 2022). Salah satu sumber energi terbarukan adalah energi dari sinar matahari. Energi sinar matahari ini merupakan pilihan terbaik sebagai sumber energi terbarukan dengan banyak manfaat di dalamnya (Singh et al., 2021).

Matahari memancarkan sinar dalam jumlah yang besar dan berkelanjutan. Sinar matahari tersebut dapat diubah menjadi energi listrik dengan cara menggunakan sel surya (Ridwan et al., 2021). Bumi menerima 69% dari total energi cahaya yang dipancarkan oleh matahari. Setiap tahun bumi menyerap energi dari sinar matahari sebesar 3×10^{24} J setiap tahun. Hal ini setara dengan 2×10^{17} Watt. Jumlah ini juga setara dengan 10.000 kali energi yang dikonsumsi saat ini secara keseluruhan di dunia (Maulana et al., 2021).

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan salah satu teknologi sel surya tersensitasi zat warna yang dapat mengubah energi cahaya menjadi listrik (Luthfiyyah et al., 2022). DSSC terdiri dari elektrolit yang diapit oleh elektroda kerja dan elektroda lawan. *Transparent Conducting Oxide* (TCO) yang dilapisi oleh semikonduktor TiO₂ merupakan suatu elektroda kerja pada sistem DSSC. Elektroda kerja ini direndam dalam suatu zat warna sebagai fotosensitizer yang membawa muatan. Sedangkan elektroda lawan terdiri dari TCO yang dilapisi oleh karbon. Hal ini berfungsi untuk mempercepat adanya reaksi redoks dengan elektrolit. Kedua elektroda tersebut disatukan sehingga menghasilkan struktur sama seperti *sandwich*, dan selanjutnya diberikan cairan elektrolit untuk menjadi media pada proses transfer electron (Saputri et al., 2024).

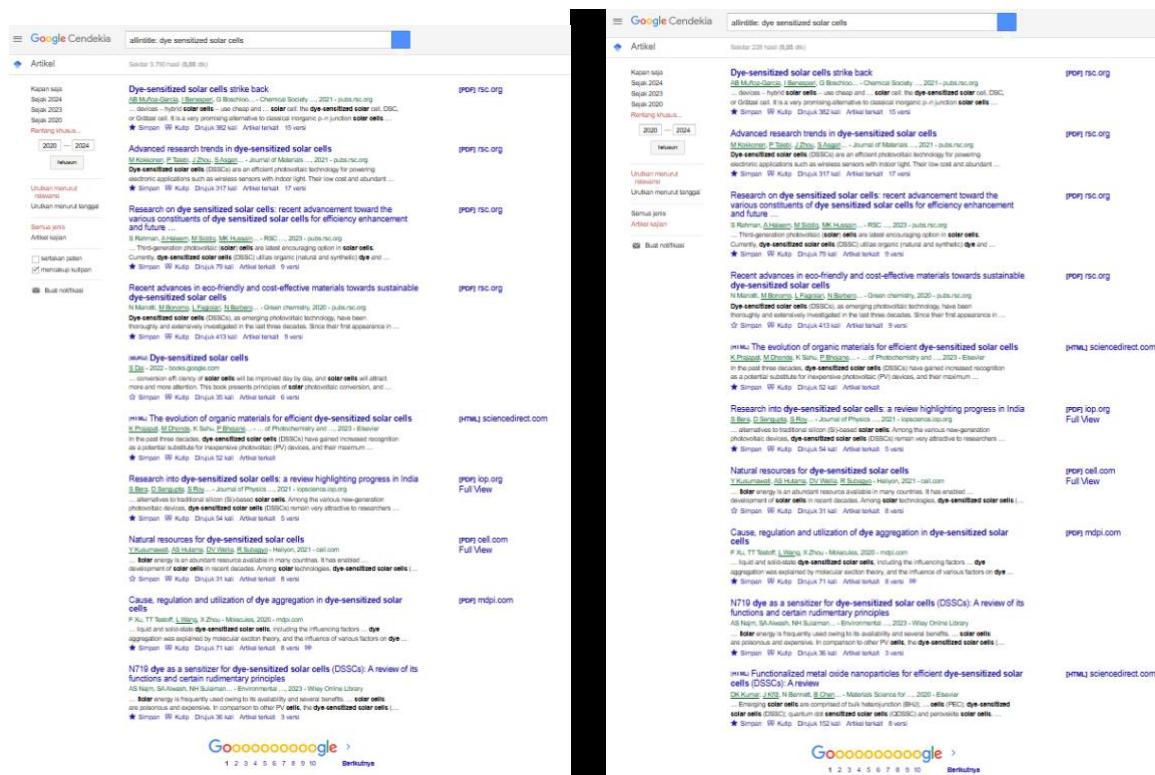
Saat ini terdapat tiga tipe teknologi sel surya yaitu sel surya generasi pertama, sel surya generasi kedua dan sel surya generasi ketiga. Sel surya generasi pertama (menggunakan *monocrystalline silicone*) memiliki keunggulan dari efisiensi yang dihasilkan tinggi, sedangkan kekurangannya adalah biaya fabrikasi yang mahal dan belum sebanding dengan tingkat efisiensi yang dihasilkan. Sel surya generasi kedua (menggunakan Si/CIGS/CdTe) memiliki keunggulan dari biaya fabrikasi yang rendah, sedangkan kekurangannya adalah tingkat efisiensi yang dihasilkan masih rendah dan masih belum bersifat ramah lingkungan. DSSC adalah teknologi sel surya generasi ketiga yang memiliki keunggulan karena ramah lingkungan, ekonomis, dan proses fabrikasi yang mudah (Mariotti et al., 2020; Prajapat et al., 2023; Dwivedi et al., 2022). Akan tetapi efisiensi energi yang dihasilkan masih tergolong rendah dibandingkan dengan teknologi sel surya generasi pertama dan kedua (Safriani et al., 2020). Namun, sistem DSSC ini bekerja sangat baik dalam menangkap sinar matahari (memungkinkan untuk diletakkan didalam ruangan) sehingga menghasilkan waktu pengembalian energi yang lebih cepat, fleksibel (memungkinkannya digunakan pada permukaan melengkung seperti atasan mobil, perangkat elektronik fleksibel, pakaian/tekstil, tas, dan lemari, serta banyak hal lainnya), ringan, beragam pilihan desain dalam hal warna dan transparansi (Kumar et al., 2020; Dwivedi et al., 2022). Hal inilah yang mendorong banyaknya penelitian terkait DSSC. Dari hasil-hasil penelitian yang telah dikembangkan, perlu dilakukan *review* terhadap penelitian-penelitian yang sudah dilakukan tentang DSSC tersebut agar dapat diperoleh informasi untuk dapat mengembangkan sistem DSSC yang memiliki nilai efisiensi yang tinggi sebagai sumber energi terbarukan di masa depan.

2. Bahan dan Metode

Systematic Literature Review (SLR) menjadi metode yang dipilih untuk digunakan penelitian kajian literatur terkait DSSC ini. *Platform* yang digunakan dalam pengumpulan data artikel pada penelitian ini adalah Google Cendikia (*Google Scholar*). Kriteria-kriteria yang digunakan pada proses pengumpulan data artikel yang tersedia pada Google Cendikia tersebut yaitu data artikel berada pada rentang waktu 5 tahun terakhir (2024-2020) terkait *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Adapun seleksi pemilihan artikel untuk lanjut ke tahap *review* didasarkan pada kriteria bahwa data yang dipilih adalah data dalam bentuk artikel dengan jumlah sitasi lebih dari 36 seperti pada Gambar 1 dibawah ini.

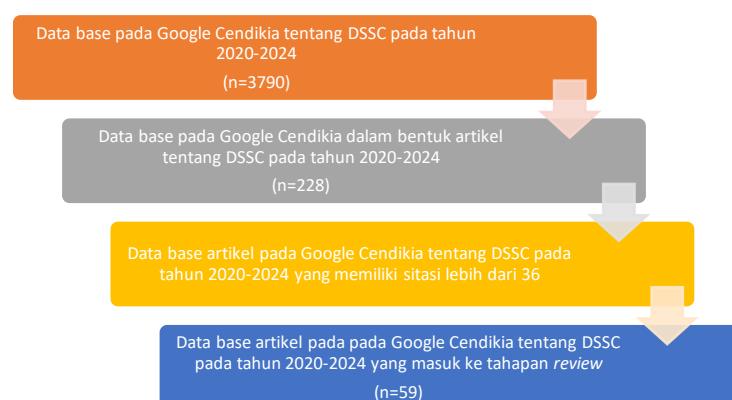
Metode SLR ini akan memberikan pembaharuan untuk pembaca dengan literatur terkini tentang suatu subjek serta mendapatkan hal-hal yang menjadi intisari dan saran pada suatu penelitian (Carrera-Rivera et al., 2022). Pertanyaan-pertanyaan yang akan dibahas pada penelitian ini tentang:

1. Jumlah artikel terindeks Google Cendikia terkait DSSC pada rentang tahun 2020-2024;
2. Jumlah sitasi pada artikel terindeks Google Cendikia terkait DSSC pada rentang tahun 2020-2024;
3. Tempat terbit artikel terindeks Google Cendikia terkait DSSC pada rentang tahun 2020-2024; dan
4. Topik penelitian pada artikel terindeks Google Cendikia terkait DSSC pada rentang tahun 2020-2024.



Gambar 1. Hasil Proses Pencarian Artikel DSSC pada Google Cendikia (a) dan tersiasi lebih dari 36 (b)

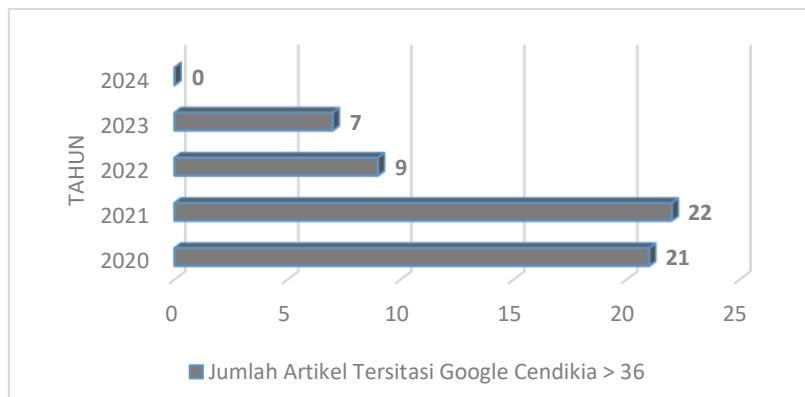
Gambar 2 menunjukan proses seleksi terhadap artikel terindeks Google Cendikia terkait DSSC yang sudah terkumpul pada rentang tahun 2020-2024. Terdapat 4 tahapan proses penyeleksian artikel-artikel tersebut.



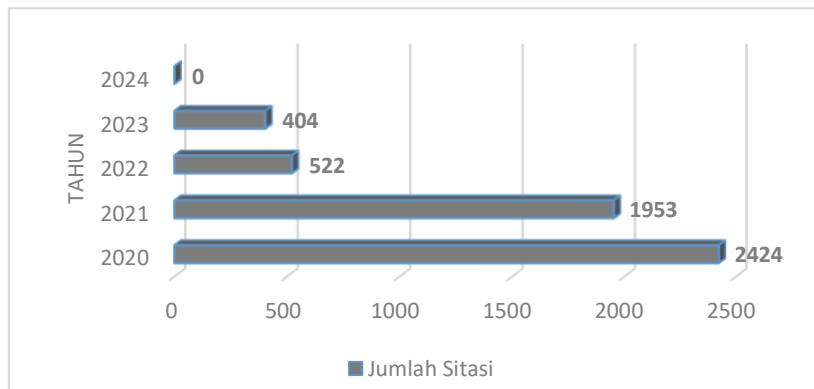
Gambar 2. Alur Proses Seleksi Artikel

3. Hasil dan Pembahasan

Proses pencarian artikel yang masuk ke tahapan *review* berdasarkan kriteria dan penilaian kualitas artikel dengan menggunakan aplikasi Google Cendikia menghasilkan 59 artikel seperti pada Tabel 1 dibawah ini. Berdasarkan data pada Tabel 1 tersebut jumlah artikel pada Google Cendikia dengan jumlah sitasi lebih dari 36 pada rentang 2020-2024, paling banyak terdapat pada tahun 2021 yaitu sebanyak 22 artikel seperti pada Gambar 3. Kemudian pada urutan kedua jumlah artikel pada Google Cendikia yang disitasi lebih dari 36 ada pada tahun 2020 yaitu 21 artikel, kemudian pada tahun 2022 sebanyak 9 artikel, dan pada tahun 2023 sebanyak 7 artikel. Namun pada tahun 2024, masih belum ditemukan artikel Google Cendikia dengan jumlah lebih dari 36. Berdasarkan Gambar 3, terlihat fenomena penurunan jumlah artikel terbit pada Google Cendikia dengan jumlah sitasi lebih dari 36 pada tahun 2022 yaitu sebanyak 9 artikel. Penurunan ini berlanjut pada tahun-tahun berikutnya.



Gambar 3. Jumlah Artikel Pada Google Cendikia yang Terbit per Tahun dengan Sitasi Lebih Dari 36



Gambar 4. Jumlah Sitasi Artikel Pada Google Cendikia per Tahun dengan Sitasi Lebih Dari 36

Tabel 1. Artikel-Artikel Lolos Seleksi untuk *Review*

Tahun	Jumlah Sitasi	Penulis
2020	413	Mariotti et al.
2021	84	Hou et al.
2020	218	Zeng et al.
2020	117	Gao et al.
2022	90	Bandara et al.
2021	52	Buene et al.
2022	45	Dhonde et al.
2021	60	Mustafa et al.
2021	59	Al-Ghamdi et al.
2022	64	Wang et al.
2020	49	Khajavian et al.
2020	59	Hosseinnezhad et al.
2021	64	Kim et al.

2022	39	Yashwantrao et al.
2021	58	Rashidi et al.
2021	52	Ahmad et al.
2020	38	Samantaray et al.
2021	65	Devadiga et al.
2020	155	Li et al.
2020	64	Aftabuzzaman et al.
2020	101	Wu et al.
2020	72	Rajeswari et al.
2023	38	Kumar et al.
2020	71	Xu et al.
2021	108	Grifoni et al.
2020	84	Babar et al.
2021	317	Kokkenen et al.
2022	51	Devadiga et al.
2020	49	Talip et al.
2021	54	Bera et al.
2022	40	Richhariya et al.
2021	64	Srivishnu et al.
2021	80	Fagioli et al.
2021	41	Colombo et al.
2020	148	Tomar et al.
2022	65	Shahzad et al.
2023	41	Ali et al.
2021	52	Nitha et al.
2020	50	Mahadevi et al.
2021	382	Munoz-Gracia et al.
2023	40	Masud et al.
2020	165	Aslam et al.
2020	182	Omar et al.
2021	51	Castillo-Robles et al.
2020	42	Teo et al.
2020	124	Maddah et al.
2021	57	Orona-Navar et al.
2023	101	Sen et al.
2023	50	Teja et al.
2020	71	Semalti et al.
2022	50	Dwivedi et al.
2020	152	Kumar et al.
2023	52	Prajapat et al.
2021	40	Thomas et al.
2023	79	Rahman et al.
2021	62	Giannouli et al.
2022	78	Alizadeh et al.
2021	70	Yahya et al.
2021	81	Ansari et al.

Berdasarkan data pada Tabel 1 tersebut jumlah sitasi artikel pada Google Cendikia dengan jumlah sitasi paling banyak pada rentang 2020-2024, terdapat pada tahun 2020 yaitu sebanyak 2424 sitasi seperti pada Gambar 4. Kemudian pada urutan kedua jumlah sitasi terbanyak artikel pada Google Cendikia ada pada tahun 2020 yaitu 1953 sitasi, kemudian pada tahun 2022 sebanyak 522 sitasi, dan pada tahun 2023 sebanyak 404 sitasi. Namun pada tahun 2024, masih belum ditemukan sitasi artikel pada Google Cendikia. Dari data ini terlihat bahwa jumlah sitasi artikel per tahun semakin menurun dan mirip dengan fenomena pada jumlah artikel terbit per tahun pada Google Cendikia.

Dari 59 artikel pada Google Cendikia dari tahun 2020-2024 dengan jumlah sitasi lebih dari 36 tersebut, kemudian dikelompokkan berdasarkan tempat terbitnya seperti pada Tabel 2 dibawah ini. Terdapat 43 tempat terbit dari artikel tersebut. Berdasarkan data pada Tabel 2 tersebut, artikel terkait DSSC paling banyak diterbitkan oleh jurnal *Dyes and Pigments* serta *Renewable and Sustainable Energy Reviews* yaitu masing-masing sebanyak 5 artikel. Kemudian pada urutan kedua yang menerbitkan banyak artikel pada Google Cendikia dari tahun 2020-2024 dengan jumlah sitasi lebih dari

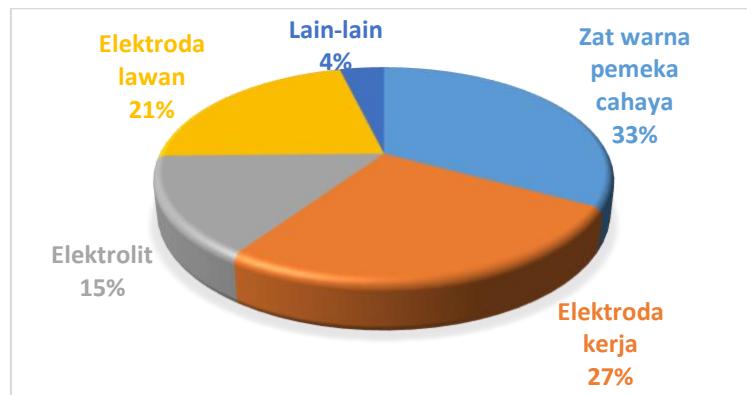
36 adalah jurnal *Solar Energy* yaitu sebanyak 4 artikel, kemudian pada jurnal *Ionic, Molecules, Environmental Science and Pollution Research, Material Advances*, dan *Materials Science for Energy Technologies* masing-masing sebanyak 2 artikel.

Tabel 2. Pengelompokan Artikel Berdasarkan Tempat Terbit Artikel

Tempat Terbit	Tahun					Jumlah
	2020	2021	2022	2023	2024	
<i>Green Chemistry</i>	1					1
<i>Energy Science & Engineering</i>	1					1
<i>Energy & Environmental Science</i>	1					1
<i>Journal of Applied Polymer Science</i>	1					1
<i>Ionics</i>	1		1			2
<i>Journal of Material Chemistry C</i>		1				1
<i>Journal of The Electrochemical Society</i>			1			1
<i>Solar Energy</i>	2	1		1		4
<i>Dyes and Pigments</i>		2	1	2		5
<i>Advanced Materials Interface</i>		1				1
<i>Dalton Transactions</i>	1					1
<i>Journal of Alloys and Compounds</i>	1					1
<i>Energies</i>			1			1
<i>Progress in Photovoltaics</i>	1					1
<i>Microchemical Journal</i>		1				1
<i>Materials</i>	1					1
<i>International of Energy Research</i>		1				1
<i>Advanced Materials</i>	1					1
<i>Nanoscale</i>	1					1
<i>Advanced Functional Materials</i>	1					1
<i>The Chemical Record</i>	1					1
<i>Molecules</i>	1	1				2
<i>Advanced Energy Materials</i>		1				1
<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	2		3			5
<i>Journal of Materials Chemistry A</i>		1				1
<i>Sustainability</i>	1					1
<i>Journal of Physic Energy</i>	1					1
<i>Environmental Science and Pollution Research</i>	1	1				2
<i>Material Advances</i>	2					2
<i>Advanced Sustainable System</i>	1					1
<i>Materials Today Communications</i>				1		1
<i>Synthetic Communications</i>	1					1
<i>Chemical Society Reviews</i>		1				1
<i>ACS Omega</i>			1			1
<i>Journal of Composites Science</i>	1					1
<i>Journal of Biotechnology</i>	1					1
<i>Journal of Nanoscience and Nanotechnology</i>	1					1
<i>Inorganic Chemistry Communications</i>			1			1
<i>Materials Science for Energy Technologies</i>	1			1		2
<i>Green Chemistry</i>	1					1
<i>RSC Advances</i>			1			1
<i>International Journal of Photoenergy</i>	1					1
<i>Coordination Chemistry Reviews</i>	1					1

Sistem DSSC memiliki 4 komponen utama yaitu elektroda kerja, elektrolit, elektroda lawan, dan zat warna pemeka cahaya (Castillo-Robles et al., 2021). Dalam tiga dekade terakhir, DSSC memiliki nilai efisiensi maksimum yang meningkat menjadi 14,3% dari yang sebelumnya hanya memiliki nilai efisiensi maksimum di 7% (Prajapati et al., 2023). Nilai efisiensi ini masih memerlukan peningkatan untuk dapat menjadi alternatif sumber energi terbarukan. Oleh karena itu, banyak penelitian yang dilakukan bertujuan untuk meningkatkan nilai efisiensi pada sistem DSSC tersebut. Topik yang paling

banyak diteliti untuk meningkatkan nilai efisiensi tersebut adalah dengan melakukan modifikasi terhadap komponen-komponen DSSC seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Persentase Topik Penelitian Terkait Komponen DSSC

Berdasarkan data pada Gambar 5 dapat disimpulkan bahwa topik penelitian terbanyak berkaitan dengan modifikasi zat warna pemeka cahaya untuk meningkatkan efisiensi DSSC yaitu sebanyak 33%. Saat ini, DSSC banyak menggunakan zat warna pemeka cahaya berbahan dasar organik baik yang alami maupun sintetis dan anorganik seperti *complexes of ruthenium and osmium*. Sifat dari zat warna pemeka cahaya ini kemudian dimodifikasi dengan berbagai variabel untuk meningkatkan efisiensi. Zat warna pemeka cahaya berbahan dasar organik merupakan alternatif yang paling baik dibandingkan dengan zat warna pemeka cahaya dari ruthenium yang mahal dan langka. Hal ini dikarenakan bahan organik itu memiliki biaya yang rendah, mudah fabrikasi, sumber daya yang melimpah, ramah terhadap lingkungan, dan cenderung memiliki toksisitas yang lebih rendah dibandingkan dengan kompleks berbasis Ru (Rahman et al., 2023). Akan tetapi bahan organik ini tidak menghasilkan efisiensi energi seperti yang dicapai dengan menggunakan kompleks rutenium tetapi lebih ramah lingkungan. Oleh karena itu, banyak upaya penelitian difokuskan pada sintesis zat warna pemeka cahaya yang baru untuk sel surya. Sejumlah pewarna baru telah dikembangkan dan diuji untuk DSSC dengan hasil yang menjanjikan yaitu zat warna pemeka cahaya berbasis karbazol, fluor, indolin, oligothiophene, atau boradiazaindacene- (BODIPY-) (Giannouli, 2021).

Topik penelitian pada DSSC yang menempati urutan kedua terbanyak setelah zat warna pemeka cahaya yaitu modifikasi elektroda kerja sebanyak 27%. Penelitian terkait pemanfaatan struktur nano semikonduktor banyak dilakukan untuk diterapkan pada elektroda kerja. Adapun contoh struktur nano yang diaplikasikan pada kaca konduktif transparan pada sistem DSSC yaitu *nanorods*, *nanotube*, *nanowires*, *nanocones*, *nanosheets*, atau kombinasi dari keduanya (Castillo-Robles et al., 2021). Senyawa yang banyak digunakan sebagai elektroda kerja pada DSSC adalah titanium dioksida. Pemilihan senyawa TiO₂ dikarenakan harganya yang murah, tidak berbahaya, dan jumlahnya yang melimpah. Nanopartikel TiO₂ biasanya memiliki ukuran partikel 15–30 nm dan ketebalan 10–15 μm (Rahman et al., 2023). Selain nanopartikel TiO₂, senyawa lainnya yang juga dikembangkan pada modifikasi elektroda kerja DSSC adalah *carbon nanotubes* dan *graphene nanocomposite*. Partikel bentuk nano atau layer yang lebih kecil akan meningkatkan absorpsi dyes pada semikonduktor. Hal ini akan meningkatkan nilai efisiensi dari sistem DSSC tersebut.

Penelitian terkait elektroda lawan juga banyak dilakukan oleh para peneliti. Topik ini menempati urutan ketiga terbanyak setelah modifikasi pada elektroda kerja dengan jumlah persentase yaitu 21%. Untuk menghasilkan nilai efisiensi DSSC yang tinggi dibutuhkan elektroda kerja yang memiliki konduktivitas tinggi, aktivitas katalitik tinggi, luas area yang tinggi, stabilitas kimia yang baik dan memiliki sifat refleksi yang baik (Samantaray et al., 2020). Platinum merupakan material yang memiliki efisiensi tinggi sebagai elektroda kerja adalah platinum. Akan tetapi, harganya sangat mahal (Kumar et al., 2020). Hal inilah yang mengakibatkan para peneliti mengembangkan elektroda kerja dengan material yang lain. Adapun material yang dikembangkan antara lain grafir, polimer konduktif dan grafen (Kumar et al., 2023).

Elektrolit dalam DSSC berfungsi media transportasi muatan antara elektroda lawan dan elektroda kerja. Topik ini menempati urutan keempat terbanyak setelah elektroda lawan yaitu sebesar

15%. Terdapat tiga jenis elektrolit pada sistem DSSC yaitu elektrolit cair, elektrolit padat, dan elektrolit kuasi padat. Sebagian besar penelitian menggunakan pasangan I^-/I_3^- redoks sebagai elektrolit untuk DSSC karena memiliki stabilitas dan konduktivitas yang baik. Syarat elektrolit yang memiliki kinerja tinggi adalah elektrolit harus ringan, tekanan uap rendah, titik didih tinggi, sifat dielektrik yang baik dan viskositas rendah (Li et al., 2020). Selain elektrolit I^-/I_3^- , para peneliti juga mengembangkan elektrolit lainnya. Hal ini karena didorong oleh kekurangan yang dimiliki oleh I^-/I_3^- yang bersifat korosif. Elektrolit yang dikembangkan yaitu $SCN^-/(SCN)_3^-$, Br^-/Br_3^- , dan $SeCN^-/(SeCN)_3^-$. Akan tetapi, elektrolit jenis ini tidak bersifat stabil. Elektrolit lain yang juga dikembangkan oleh peneliti adalah material yang berbahan dasar kobalt dan tembaga untuk menghindari sifat korosif dari elektrolit cair.

4. Kesimpulan

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan dengan memanfaatkan teknologi sel surya yang mengkonversi energi cahaya menjadi suatu energi listrik yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari. Berdasarkan hasil review dari penelitian-penelitian terkait DSSC pada rentang waktu 2020-2024 dapat disimpulkan bahwa modifikasi penelitian paling banyak berada pada topik terkait zat pemeka cahaya (*dyes*) dengan jumlah artikel pada Google Cendikia dengan sitasi lebih dari 36 paling banyak terbit pada tahun 2021 dan jumlah sitasi artikel pada Google Cendikia paling banyak berada pada tahun 2020. Untuk meningkatkan nilai efisiensi dari DSSC, penelitian selanjutnya dapat menerapkan gabungan teknologi nanopartikel baik dalam bentuk *nanorods*, *nanotube*, *nanowires*, *nanocones*, *nanosheets*, atau kombinasi dari keduanya untuk aplikasi material baik pada elektroda kerja maupun elektroda lawan dengan menggunakan zat pemeka cahaya berbasis organik dengan elektrolit berwujud padatan.

Daftar Pustaka

- Arisandi, Y., Kartika, D. A., Arosanto, E. S., & Yeni, D. (2022). Transportasi Ramah Lingkungan Sebagai Solusi Pengganti Kendaraan yang Menggunakan Bahan Bakar Minyak Bumi. *Jurnal Informasi, Teknologi, Engineering, Dan Sains*, 2(1), 68–73.
- Carrera-Rivera, A., Ochoa, W., Larrinaga, F., & Laso, G. (2022). How-To Conduct A Systematic Literature Review: A Quick Guide For Computer Science Research. *MethodsX*, 9, 101895.
- Castillo-Robles, J. A., Rocha-Rangel, E., Ramírez-De-león, J. A., Caballero-Rico, F. C., & Armendáriz-Mireles, E. N. (2021). Advances On Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs) Nanostructures And Natural Colorants: A Review. *Journal of Composites Science*, 5(11), 1–25.
- Deng, L., Liu, Y., & Wang, W. (2020). *Biogas Technology* (Springer (ed.); 1st ed.). Springer Singapore.
- Dwivedi, G., Munjal, G., Bhaskarwar, A. N., & Chaudhary, A. (2022). Dye-Sensitized Solar Cells With Polyaniline: A Review. *Inorganic Chemistry Communications*, 135, 109087.
- Giannouli, M. (2021). Current Status of Emerging PV Technologies: A Comparative Study of Dye-Sensitized, Organic, and Perovskite Solar Cells. *International Journal of Photoenergy*, 2021(1), 6692858.
- Kabeyi, M. J. B., & Olanrewaju, O. A. (2022). Biogas Production and Applications in the Sustainable Energy Transition. *Journal of Energy*, 2022, 1–43.
- Kiehbadroudinezhad, M., Merabet, A., Abo-Khalil, A. G., Salameh, T., & Ghenai, C. (2022). Intelligent and Optimized Microgrids for Future Supply Power from Renewable Energy Resources: A Review. *Energies*, 15(9), 1–21.
- Kishore Kumar, D., Kříž, J., Bennett, N., Chen, B., Upadhyayaya, H., Reddy, K. R., & Sadhu, V. (2020). Functionalized Metal Oxide Nanoparticles For Efficient Dye-Sensitized Solar Cells (Dsscs): A Review. *Materials Science for Energy Technologies*, 3, 472–481.
- Kumar, S., Kumar, S., Rai, R. N., Lee, Y., Nguyen, T. H. C., Kim, S. Y., ... & Singh, L. (2023). Recent Development in Two-Dimensional Material-Based Advanced Photoanodes For High-Performance Dye-Sensitized Solar Cells. *Solar Energy*, 249, 606–623.
- Li, M., Wang, C., Chen, Z., Xu, K., & Lu, J. (2020). New Concepts In Electrolytes. *Chemical Reviews*, 120(14), 6783–6819.
- Luthfiyyah, Z., Hindryawati, N., & Hiyahara, I. A. (2022). Mini Review : Pembuatan Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Semikonduktor TiO₂ Dengan Zat Warna Antosianin Synthesis

- Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Using TiO₂ As Semiconductor With Anthocyanine Dye : A Mini Review. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*.
- Mariotti, N., Bonomo, M., Fagioli, L., Barbero, N., Gerbaldi, C., Bella, F., & Barolo, C. (2020). Recent Advances In Eco-Friendly And Cost-Effective Materials Towards Sustainable Dye-Sensitized Solar Cells. *Green Chemistry*, 22(21), 7168–7218.
- Maulana, M. F., Yuniar, E., Nurlaela, A., & Saptari, S. A. (2021). Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Efficiency Derived from Natural Source. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 17(3), 68.
- Paneru, B., Paneru, B., Alexander, V., Nova, S., Bhattacharai, N., Poudyal, R., Narayan Poudyal, K., Dangi, M. B., & Boland, J. J. (2024). Solar Energy For Operating Solar Cookers As A Clean Cooking Technology In South Asia: A Review. *Solar Energy*, 283, 113004.
- Prajapat, K., Dhonde, M., Sahu, K., Bhojane, P., Murty, V. V. S., & Shirage, P. M. (2023). The Evolution of Organic Materials for Efficient Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 55, 100586.
- Rahman, S., Haleem, A., Siddiq, M., Hussain, M. K., Qamar, S., Hameed, S., & Waris, M. (2023). Research On Dye Sensitized Solar Cells: Recent Advancement Toward The Various Constituents Of Dye Sensitized Solar Cells For Efficiency Enhancement And Future Prospects. *RSC Advances*, 13(28), 19508–19529.
- Ridwan, Ramadhan, W., Kurniawan, A., Lestari, W., & Setiawan, D. (2021). Pemanfaatan Sinar Matahari Sebagai Energi Alternatif Untuk Kebutuhan Energi Listrik. *Seminar Nasional Karya Ilmiah Multidisiplin*, 1(1), 168–176.
- Safriani, L., Prasita Primawati, W., Siti Nurazizah, E., Mulyana, C., & Aprilia, A. (2020). Pengaruh Penambahan Material Spiro-TAD dan Spiro-TPD Sebagai Hole Transport Material Pada Karakteristik DSSC. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 4(1), 79–85.
- Samantaray, M. R., Mondal, A. K., Murugadoss, G., Pitchaimuthu, S., Das, S., Bahru, R., & Mohamed, M. A. (2020). Synergetic Effects of Hybrid Carbon Nanostructured Counter Electrodes for Dye-Sensitized Solar Cells: A Review. *Materials*, 13(12), 2779.
- Saputri, R. A., Prayoga, A., Ramadhani, I. S., Pratama, F., Tamrin, T., Studi, P., Pertanian, T., Teknologi, J., Pertanian, F., & Sriwijaya, U. (2024). Evaluasi Performa Dye Senstized Solar Cell dengan Lapisan Fiber Tissue Kontinue. *Seminar Nasional Lahan Suboptimal*, 6051, 344–357.
- Sebestyen, V. (2021). Renewable and Sustainable Energy Reviews: Environmental Impact Networks of Renewable Energy Power Plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111626.
- Singh, H. R., Sharma, D., & Soni, S. L. (2021). Dissemination of Sustainable Cooking: A Detailed Review on Solar Cooking System. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1127(1), 012011.