

INVESTIGASI PENGARUH TEMPERATUR WARNA BERKORELASI TERHADAP PERFORMA DSSC UNTUK SISTEM *INDOOR SOLAR CELL*

¹Muhammad Khairuddin, ²Indrawan Nugrahanto, ³Leonardo Kamajaya

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektronika

Jurusan Teknik Elektro - Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno Hatta No.9 Kota Malang, Jawa Timur

e-mail: khairuddin@polinema.ac.id, indrawan.nugrahanto@polinema.ac.id,
leonardo42@polinema.ac.id

Abstract

This study proposes the best light source, based on its color temperature, to be installed for indoor photovoltaic (PV) system since the light source is very significant for indoor PV system and greatly affects the performance of Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). In outdoor PV system, the higher temperature in the environment gives a fine impact for DSSC's performance. However, this trend is unclear in indoor PV system. Hence, some experimental researches, such as investigating the light properties and the performance of DSSC under fluorescent lamps FL865 with CCT 6500K and FL830 with CCT 3000K, will be carried out in order to find out a preferable luminaire between two for indoor PV system. The results show that a light source, FL830, with lower color temperature is better for DSSC's outcome in indoor use. Since the lower CCT produced higher illuminance, intensity, and radiant power that make DSSC generated 2.28% higher power than the higher CCT.

Keywords: DSSC, Color Temperature, Indoor Solar Cell

Abstrak

Penelitian ini mengusulkan sumber cahaya terbaik berdasarkan *correlated color temperature* (CCT) atau temperatur warnanya untuk digunakan pada sistem indoor solar cell karena sumber cahaya sangat mempengaruhi kinerja Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) yang digunakan pada sistem indoor solar cell. Dalam sistem solar cell di luar ruangan, suhu yang lebih tinggi di lingkungan memberikan dampak yang baik untuk kinerja DSSC. Namun, tren ini belum jelas jika DSSC digunakan di dalam ruangan. Oleh karena itu, beberapa penelitian eksperimental, seperti menyelidiki sifat cahaya dan kinerja DSSC di bawah lampu neon FL865 dengan CCT 6500K dan FL830 dengan CCT 3000K, akan dilakukan untuk menemukan lumener yang lebih unggul untuk sistem PV dalam ruangan. Hasilnya menunjukkan bahwa sumber cahaya, FL830, dengan temperatur warna (CCT) yang lebih rendah lebih baik untuk DSSC dengan penggunaan dalam ruangan. Karena CCT lebih rendah menghasilkan iluminasi, intensitas, dan daya pancaran yang lebih tinggi yang membuat DSSC mencapai kinerja yang lebih baik dengan menghasilkan daya 2.28% lebih tinggi dari CCT yang lebih tinggi.

Kata Kunci: DSSC, Temperatur Warna, Solar Cell dalam Ruangan

PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian peneliti untuk mengembangkan energi terbarukan, seperti sistem *photovoltaic* (PV), meningkat secara bertahap untuk menggantikan energi tak terbarukan seperti bahan bakar fosil. Hampir semua benda hidup membutuhkan bahan bakar fosil, seperti generator untuk listrik, kendaraan, dll. Padahal dampak buruknya seperti polusi udara, pemanasan global, kesehatan, dan kerusakan lingkungan sudah jelas. Selain itu, bahan bakar fosil bentuk lain yaitu biodiesel yang diklaim lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar fosil menunjukkan dampak buruk yang hampir

sama seperti asalny. Selain itu, pembakaran biomassa, yang menjadi solusi baru untuk masa depan energi, masih terlibat dalam kontaminasi udara, perubahan iklim, dan masalah kesehatan di seluruh dunia.

Dye-sensitized solar cell (DSSC) atau sel surya peka warna berperan dalam solusi energi terbarukan yang dapat bekerja di sistem PV *outdoor* dan *indoor*. DSSC sendiri dianggap sebagai salah satu sel fotovoltaik terbaik untuk lingkungan dalam ruangan, karena mencapai efisiensi lebih dari 11% atau efisiensi tertinggi di antara jenis sel fotovoltaik film tipis (*thin-film photovoltaic*) lainnya seperti *copper zinc tin sulfide solar cell*, *organic solar cell*, *perovskite solar cell* dan *quantum dot solar cell*. Namun, kinerja DSSC dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti bahan molekul pewarna penyerap cahaya, kombinasi lapisan yang digunakan untuk membuat foto anoda, sumber cahaya, dan lain sebagainya. Sumber cahaya, terutama dari cahaya matahari, merupakan bagian yang sangat penting karena peran utamanya sebagai sumber energi dari setiap sel surya. Bagaimanapun, sinar matahari seperti pedang bermata dua untuk sel surya karena memberikan keuntungan sekaligus kerugian. Keuntungannya adalah energi sumber cahaya berkelanjutan, dan ini membuat potensi sel fotovoltaik menjadi besar di masa depan. Namun, pada malam hari saat tidak ada sinar matahari sebagian besar sel surya tidak berfungsi. Banyak penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja DSSC dengan memanipulasi material DSSC, untuk memanen energi cahaya sebanyak-banyaknya dan mencapai efisiensi DSSC yang tertinggi. Di sisi lain, penelitian yang meneliti tentang peningkatan kinerja DSSC dengan memilih sumber cahaya terbaik berdasarkan temperatur warna berkorelasi (CCT) terutama untuk penggunaan dalam ruangan masih sangat jarang ditemukan.

CCT menjadi terkenal di bidang pencahayaan karena dikatakan memengaruhi suasana hati, kinerja, dan bahkan keselamatan orang. CCT yang lebih tinggi dianggap lebih cocok untuk bekerja, sedangkan CCT yang lebih rendah dianggap lebih kompatibel untuk bersantai, selain itu CCT yang lebih rendah lebih sesuai untuk penerangan jalan karena memiliki waktu adaptasi gelap yang lebih singkat daripada CCT yang lebih tinggi yang mengarah pada keselamatan pengemudi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan dua sumber cahaya yang berbeda berdasarkan CCT nya namun cukup populer dipakai di Indonesia yaitu lampu neon, untuk memverifikasi apakah CCT berpengaruh terhadap performa DSSC atau tidak. Selain itu, beberapa sifat penting dari sumber cahaya, seperti iluminasi, intensitas, daya pancaran, dan panjang gelombang akan diteliti dalam studi ini. Singkatnya, hasil dari penelitian ini akan menguraikan sumber cahaya terbaik berdasarkan CCT nya untuk menerangi DSSC yang mampu memanen lebih banyak energi dari DSSC. Hasil dari penelitian ini akan membantu pengembangan sistem *indoor solar cell* kedepannya dengan mengetahui CCT yang cocok untuk DSSC.

METODE PENELITIAN

Metode umum penelitian ini adalah studi pustaka, perancangan dan pembuatan sistem, dan penelitian empiris untuk pengumpulan, analisis, dan kesimpulan data. Penelitian ini terutama berfokus pada pengaruh CCT terhadap kinerja DSSC pada sistem panel surya dalam ruangan. Salah satu parameter penting yang sangat mempengaruhi kinerja DSSC di lingkungan luar ruangan adalah suhunya. Namun pengaruh temperatur terhadap efisiensi DSSC pada sistem sel surya dalam ruangan belum jelas. Oleh karena itu, penelitian ini menekankan pengaruh temperatur warna dari dua lampu neon untuk DSSC dalam

penggunaan di dalam ruangan, dengan mengukur kinerja DSSC di bawah kedua luminer. Langkah pertama adalah memeriksa properti sumber cahaya dengan pengukuran dan perhitungan. Langkah ini penting dilakukan untuk memberikan wawasan yang lebih luas bagi desain sistem PV dalam ruangan dengan DSSC di masa mendatang. Kemudian, membandingkan kinerja DSSC di bawah dua jenis lampu neon yang berbeda CCT nya.

2.1 Spesifikasi Sumber Cahaya

Lampu neon dapat ditemukan dengan mudah di banyak *concrete jungle* di Indonesia seperti rumah, kantor, supermarket, universitas, dll. Oleh karena itu, sumber cahaya tersebut, lampu neon, digunakan dalam penelitian ini untuk diuji sebagai sumber cahaya DSSC. Selain itu merek Philips digunakan karena merek ini sangat populer dan handal untuk digunakan di Indonesia.



Gambar 1 Lampu neon

(Sumber: <https://www.solusilampu.id/product/kap-balok-tl-philips-14watt-timbul/>)

Dua luminer berbeda dari Philips diuji untuk mengetahui CCT dari sumber cahaya mana yang terbaik untuk sistem sel surya dalam ruangan menggunakan *dye-sensitized solar cell* (DSSC). Lampu neon pertama adalah Philips T5 Essential 14W / 865 atau disebut FL865 dengan daya terukur 14 Watt dan CCT 6500K, dan lampu neon kedua adalah Philips T5 Essential 14W / 830 atau disebut FL830 dengan daya yang sama tetapi suhu warna lebih rendah pada 3000K. Sebagai informasi, CCT yang berkorelasi antara 2700K dan 3200K digambarkan sebagai warna hangat. Sedangkan sumber cahaya dengan CCT antara 4000K dan 7500K direpresentasikan sebagai warna dingin. Tabel 1 menjelaskan informasi lebih lanjut tentang kedua luminer.

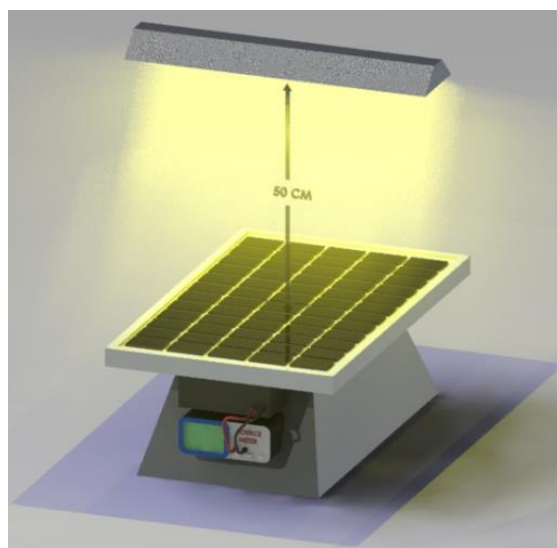
Tabel 1 Spesifikasi lampu neon yang dipakai

Lampu neon	Tegangan (V)	Arus Listrik (A)	Luminous Flux (lm)	Temperatur Warna (K)	Luminous Efficacy (lm/W)
FL865	110	0.17	1260	6500	90
FL830	110	0.17	1350	3000	96

Beberapa sifat sumber cahaya yang signifikan, seperti *illuminance*, *intensity*, *radiant power* dan *wavelength* atau panjang gelombang, masih belum ditemukan. Untuk itu perlu dilakukan penelitian dengan memanfaatkan alat ukur elektronika dan perhitungan.

2.2 Pengukuran dan metode perhitungan

Langkah pertama adalah mengukur sifat cahaya lampu fluoresen untuk mengetahui beberapa sifat penting seperti iluminasi, daya pancaran, dan panjang gelombang. Dari pengukuran iluminance tersebut, akan diketahui jumlah insiden cahaya yang menerangi DSSC. Sedangkan radiant power menjelaskan seberapa besar pancaran energi dari lampu fluorescent per satuan waktu. Iluminansi lumener dievaluasi dengan pengukur iluminasi T-10A dengan model reseptor yang dapat dilepas yang memungkinkan pengukuran pencahayaan bahkan di ruang sempit. Reseptor ditempatkan 50 cm dari lumener untuk mendapatkan jarak pengukuran yang sesuai.



Gambar 2 Pengaturan ujicoba riset

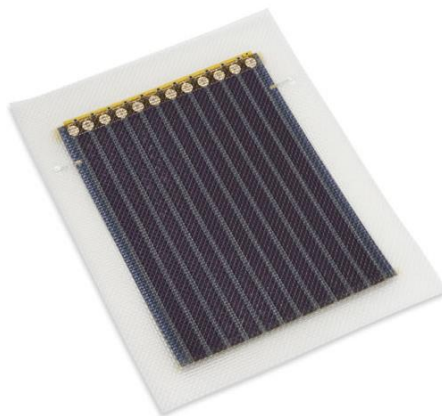
Penganalisis cahaya yang sangat akurat, BTS256-LED, digunakan untuk mengukur panjang gelombang atau *wavelength* dari dua lampu neon. Sensor Compact Bi-Tech pada BTS256-LED, yang menggabungkan susunan fotodioda dan dioda untuk perbaikan bersama, telah dianggap sebagai jenis teknologi pertama dalam pengukur cahaya. Daya pancar atau *radiant power* merupakan sifat cahaya terakhir yang dinilai dalam penelitian ini karena *radiant power* akan menunjukkan seberapa besar energi yang dipancarkan oleh suatu sumber cahaya. Daya pancar lampu neon diukur dengan *optical power meter* 1830-R. Di sisi lain, intensitas pancaran dari lampu neon ditemukan dengan menggunakan *inverse-square law*, sebagai berikut [7]:

$$E_v = \frac{I_v}{d^2} \quad (1)$$

$$I_v = E_v \cdot d^2 \quad (2)$$

Dimana E_v didefinisikan sebagai iluminansi (lux), I_v sebagai intensitas cahaya (Cd) dan d sebagai jarak (m) benda dari sumber cahaya. Dengan demikian, jarak DSSC dari sumber

cahaya memengaruhi intensitas lumener yang menerangi DSSC itu sendiri, dan jarak tersebut juga dapat memengaruhi energi yang dihasilkan oleh DSSC.

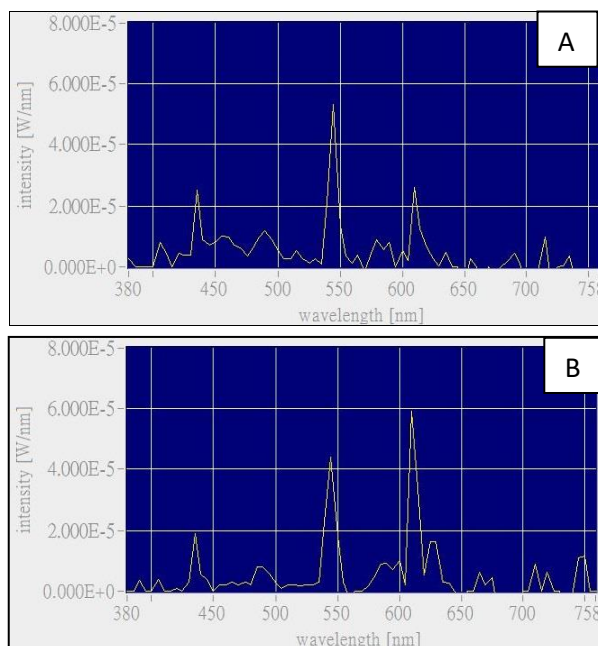


Gambar 3 *Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)* dari GCell

DSSC yang digunakan dalam penelitian ini adalah dari GCell dengan luas area 300 cm^2 , daya maksimum (P_{max}) 0,5 Watt, kuat arus minimum (I_{mp}) 100 mA, dan tegangan operasi (V_{mp}) 5,5 V. DSSC GCell digunakan dalam penelitian ini karena dapat bekerja di luar dan dalam ruangan. Kinerja DSSC akan dievaluasi oleh *source meter* Keithley 2401 yang sangat akurat dan sangat kompatibel untuk pengukuran daya rendah. DSSC diletakkan 50 cm dari sumber cahaya FL865 dan FL830 (lihat gambar 2.).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, semua hasil eksperimen, dari pengukuran dan perhitungan, dibahas. Berdasarkan hasil pengukuran, lampu neon dengan CCT yang lebih rendah memiliki hasil pencahayaan dan daya pancaran yang lebih tinggi. FL830 dengan CCT lebih rendah, 3000K, memperoleh lebih banyak iluminasi sekitar 230 lux dan daya pancaran sekitar $22,29 \mu\text{W}$. Sementara FL865 dengan 6500K CCT memperoleh iluminasi yang lebih rendah dan daya pancaran. Artinya cahaya datang dari FL830 yang menerangi permukaan per satuan luas lebih tinggi daripada cahaya yang berasal dari FL865. Dengan menggunakan persamaan (2), intensitas cahaya (I_v) kedua lumener dapat ditemukan. Ingat bahwa jarak (d) antara pengukur iluminasi T-10A dan kedua lampu neon adalah 50 cm, sedangkan nilai iluminasi (E_v) dari kedua sumber cahaya telah disebutkan sebelumnya. Dengan demikian, berdasarkan hasil perhitungan didapatkan intensitas FL830 lebih besar dari pada FL865, yaitu 57,5 Cd untuk FL830 dan 53,75 Cd untuk FL865. CCT yang berbeda antara dua lampu fluoresen, FL865 dan FL830, juga mempengaruhi panjang gelombang sumber cahaya (Lihat Gambar 4.).



Gambar 4 Panjang gelombang dari FL830 dan FL865

Terbukti, spektrum kedua luminer terdiri dari dua rentang broadband yang kuat dari 380 hingga 700 nm dengan puncak yang berbeda. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4(a), panjang gelombang dominan FL865 terletak di sekitar 545 dan 610 nm. Selain itu, intensitas spektrum sekitar 545 nm lebih tinggi dari 610 nm, hal ini berarti panjang gelombang sekitar 545 nm secara harfiah lebih dominan untuk lampu neon FL865 yang bersesuaian dengan daerah cahaya hijau. Membandingkan Gambar. 4(b) dengan 4(a), panjang gelombang dominan lampu neon FL830 terletak sekitar 545 nm dan 610 nm. Namun intensitas spektrum sekitar 610 nm lebih tinggi dari 545 nm yang identik dengan daerah cahaya kuning.

3.1 Output DSSC dibawah 2 lampu neon dengan CCT berbeda

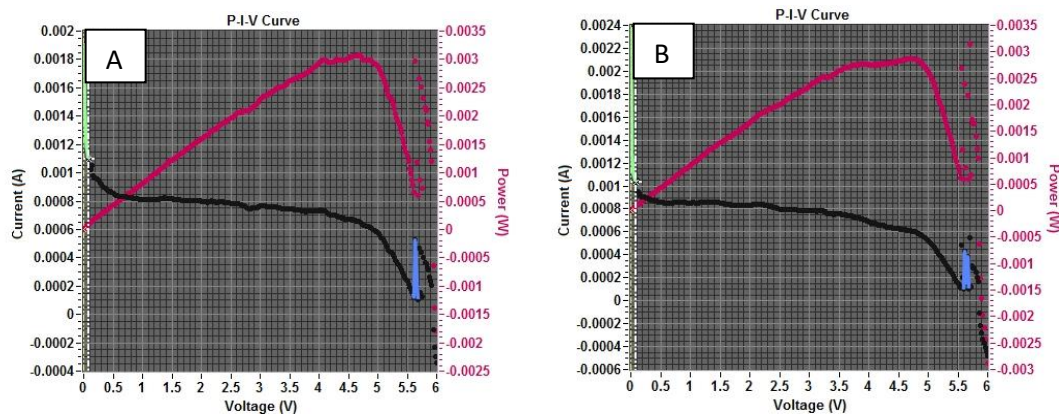
FL830 dengan CCT yang lebih rendah menghasilkan iluminasi, intensitas, dan daya pancaran yang lebih tinggi daripada FL865. Segera setelah menilai sifat sumber cahaya, kinerja DSSC pada sumber cahaya berbeda akan diselidiki dengan *source meter* Keithley 2401. Selain itu, jarak antara sumber cahaya dan DSSC adalah 50 cm.

Tabel 2 Output DSSC dibawah 2 luminer yang berbeda

Light Source	DSSC	Jsc (mA/cm ²)	Voc (V)	Isc (mA)	Vmax (V)	Imax (mA)	Pmax (mW)
FL865	Gcell	0.0063	5.71	1.91	4.68	0.65	3.07
FL830	Gcell	0.0079	5.71	2.37	5.7	0.55	3.14

Tabel 2 merangkum hasil output DSSC dari Gcell di bawah sinar 2 luminer yang berbeda yaitu lampu neon FL830 dan FL865. Beberapa parameter penting seperti tegangan rangkaian terbuka (*Voc*), arus hubung singkat (*Isc*), daya maksimum (*Pmax*) dan lain sebagainya dapat ditemukan. Secara keseluruhan, kinerja DSSC di bawah FL830 sedikit lebih baik meskipun perbedaannya kecil. Salah satu indikasi terpenting adalah daya

maksimum dari DSSC di bawah kedua sumber cahaya. Daya maksimum yang dapat dipanen dari DSSC adalah 3,14 mW di bawah FL830 yang lebih tinggi 0,07 mW dari pencapaian FL865. Kinerja DSSC di bawah kedua luminer juga dapat dilihat dari kurva P-I-V. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5 Kurva P-I-V DSSC dibawah sinar FL830 dan FL865

Gambar 5(a) merupakan kurva P-I-V dari DSSC dibawah sinar lampu neon FL830, dimana kurva arus berbanding terbalik dengan kurva daya saat tegangan naik. Ketika tegangan naik, daya juga naik secara wajar hingga mencapai puncak sekitar 0,003 W pada 4,5 V, kemudian daya merosot karena tegangan melebihi 5 V. Sebaliknya, arus berkurang sedikit karena tegangan meningkat perlahan. Di sisi lain, Gambar 5(b) yang merupakan kurva P-I-V dari DSSC dibawah sinar lampu neon FL865 telah mengilustrasikan fenomena serupa dengan Gambar 5(a). Dimana daya meningkat saat tegangan naik sedikit hingga mencapai puncaknya sekitar 0,028 W pada 4,8 V, kemudian turun secara bertahap saat voltase melampaui 5 V. Hal ini menjelaskan perbedaan output dari DSSC berbeda jika disinari dengan sebuah sumber cahaya dengan CCT yang berbeda.

SIMPULAN DAN SARAN

Lampu neon FL830 yang memiliki temperatur warna lebih rendah atau CCT 3000K telah melampaui lampu neon FL865 pada setiap hasil pengukuran dan perhitungan jika digunakan untuk menyinari DSSC pada penelitian ini. Karena lampu neon FL830 mencapai iluminasi, intensitas dan daya pancar yang lebih tinggi daripada lampu neon FL865. Selain itu, DSSC di bawah FL830 telah menghasilkan daya sekitar 3,14 mW sedangkan yang menggunakan FL865 hanya menghasilkan daya listrik sekitar 3,07 mW, meskipun kedua sumber cahaya memiliki daya yang sama yaitu 14 W. Dengan demikian, hasil percobaan telah mempromosikan sumber cahaya dengan CCT yang lebih rendah sebagai sumber cahaya yang lebih handal untuk sistem PV dalam ruangan. Dengan demikian penelitian ini dapat menjadi referensi yang bagus untuk merancang pencahayaan dalam ruangan untuk sistem PV dalam ruangan karena dapat menguraikan semua alasan mengapa temperatur warna yang lebih rendah memberikan manfaat lebih bagi DSSC. Penulis menargetkan kolaborasi panel surya silikon dan DSSC sebagai sistem PV *outdoor* dan *indoor* di masa mendatang. Panel surya silikon menggunakan energi sinar matahari untuk menghasilkan listrik untuk penerangan dan peralatan listrik apa pun di rumah, dan

DSSC menggunakan sumber cahaya didalam ruangan untuk menghasilkan listrik untuk peralatan listrik berdaya rendah seperti LED, pengisi daya telepon, dll.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Scuto *et al.*, "Improvement of DSSC performance by voltage stress application," *IEEE Int. Reliab. Phys. Symp. Proc.*, vol. 2016-Septe, no. Imm, pp. PV31–PV36, 2016, doi: 10.1109/IRPS.2016.7574635.
- A. Zatirostami, "Increasing the efficiency of TiO₂-based DSSC by means of a double layer RF-sputtered thin film blocking layer," *Optik (Stuttg.)*, vol. 207, no. November 2019, 2020, doi: 10.1016/j.ijleo.2020.164419.
- E. Alma, F. Taylor, "Illumination Fundamental, vol. 66, pp. 37–39, 2012.
- K. Ballesteros-González, A. P. Sullivan, and R. Morales-Betancourt, "Estimating the air quality and health impacts of biomass burning in northern South America using a chemical transport model," *Sci. Total Environ.*, vol. 739, p. 139755, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139755.
- M. S. Abusaif *et al.*, "New carbazole-based organic dyes with different acceptors for dye-sensitized solar cells: Synthesis, characterization, dssc fabrications and density functional theory studies," *J. Mol. Struct.*, vol. 1225, p. 129297, 2021, doi: 10.1016/j.molstruc.2020.129297.
- M. Younas, T. N. Baroud, M. A. Gondal, M. A. Dastageer, and E. P. Giannelis, "Highly efficient, cost-effective counter electrodes for dye-sensitized solar cells (DSSCs) augmented by highly mesoporous carbons," *J. Power Sources*, vol. 468, no. April, 2020, doi: 10.1016/j.jpowsour.2020.228359.
- Q. Wang, H. Xu, F. Zhang, and Z. Wang, "Influence of color temperature on comfort and preference for LED indoor lighting," *Optik (Stuttg.)*, vol. 129, pp. 21–29, 2017, doi: 10.1016/j.ijleo.2016.10.049.
- R. Dejchanchaiwong *et al.*, "Impact of transport of fine and ultrafine particles from open biomass burning on air quality during 2019 Bangkok haze episode," *J. Environ. Sci. (China)*, vol. 97, pp. 149–161, 2020, doi: 10.1016/j.jes.2020.04.009.
- S. Dayan, N. Kayaci, and N. Kalaycioğlu Özpozan, "Improved performance with molecular design of Ruthenium(II) complexes bearing diamine-based bidentate ligands as sensitizer for dye-sensitized solar cells (DSSC)," *J. Mol. Struct.*, vol. 1209, 2020, doi: 10.1016/j.molstruc.2020.127920.
- U. Mehmood, A. Al-Ahmed, F. A. Al-Sulaiman, M. I. Malik, F. Shehzad, and A. U. H. Khan, "Effect of temperature on the photovoltaic performance and stability of solid-state dye-sensitized solar cells: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 79, no. May, pp. 946–959, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.114.
- Y. N. Liu, Y. J. Liu, Y. C. Chen, H. Y. Ma, and H. Y. Lee, "Study of pulse width modulated LED for enhancing the power efficiency of dye-sensitized solar cells," *Optik (Stuttg.)*, vol. 158, pp. 1567–1574, 2018, doi: 10.1016/j.ijleo.2018.01.039.