

PELATIHAN PEMBUATAN DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) SEDERHANA UNTUK SISWA SMP 161 JAKARTA

Agung Nugroho^{1,4}, Sylvia Ayu Pradanawati^{2,4}, Yose Fachmi Buys^{2,4}, Ayu Dahliyanti^{1,4}, Dita Floresyona^{1,4}, Yudi Rahmawan^{2,4}, Tirta Rona Mayangsari^{3,4}, Paramita Jaya Ratri^{3,4}, Gede W.P. Adhyaksa^{1,4,*}

¹)Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pertamina

²)Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pertamina

³)Program Studi Kimia, Universitas Pertamina

⁴)Center for Advanced Materials, Universitas Pertamina

Article history

Received : 24-09-2022

Revised : 01-12-2022

Accepted : 14-12-2022

*Corresponding author

Gede W.P. Adhyaksa

Email:

gede.wpa@universitaspertamina.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi bersih menjadi isu yang saat ini sedang digencarkan pemerintah dalam upaya 100% elektrifikasi di Indonesia. Solar Panel merupakan salah alat yang paling populer dalam era teknologi baru terbarukan. Pengenalan solar panel di siswa bangku sekolah dapat meningkatkan pengetahuan dan pengalaman siswa dalam mengaplikasikan energi baru terbarukan. Kurikulum Merdeka Belajar mendukung pengaplikasian teori secara hands on kepada siswa. SMP 161 dipilih karena merupakan sekolah adiwiyata yang menjadi mercusuar sekolah lain di Jakarta dalam hal lingkungan hidup. Dalam pelatihan ini, sel surya murah berbasis Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dibuat sendiri oleh siswa dan dipandu oleh tim dosen Universitas Pertamina. Menjelang akhir kegiatan, 100% siswa berhasil membuat DSSC dengan variasi dye dari jus blackberry dan buah naga merah. Dengan melakukan praktik langsung, siswa dapat memperoleh pengalaman dan pengetahuan baru mengenai DSSC.

Kata Kunci: Daya; DSSC; Pewarna Alami; Solar Cell; Workshop

Abstract

The development of clean technology is an issue that the government is currently intensifying to achieve 100% electrification in Indonesia. Solar Panels are one of the most popular tools in the new renewable technology era. Introducing solar panels to students can enhance students' knowledge and experience in applying new and renewable energy. The Merdeka Belajar curriculum supports the hands-on application of theory to students. SMP 161 was chosen because it is an Adiwiyata school that serves as an environmental model for other Jakarta schools. In this training, cheap Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)-based solar cells were made by students and guided by a team of Pertamina University lecturers. By the end of the activity, 100% of the students had made DSSC with variations of dye derived from blackberry juice and red dragon fruit. Students can obtain unique experiences and information about DSSC by completing hands-on practice..

Keywords: DSSC; Natural Dye; Solar Cell; Workshop

© 2023 Some rights reserved

PENDAHULUAN

Sejak dikembangkan oleh M. Gratzel, Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) telah menarik perkembangan dunia Penelitian yang berkaitan dengan sel surya (Grätzel, 2003; Mahalingam et al., 2022). Pada sel surya tipe DSSC, penyerapan cahaya dan pemisahan muatan listrik terjadi melalui proses yang berbeda. Proses penyerapan cahaya dilakukan oleh molekul pewarna (dye), dan pemisahan muatan listrik dilakukan oleh semikonduktor anorganik nanokristal yang memiliki celah pita lebar seperti TiO₂.

Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa salah satu faktor utama yang mempengaruhi kinerja DSSC adalah jenis pewarna yang digunakan sebagai sensitizer (Sivaraj et al., 2021). Pemanfaatan bahan organik sebagai media pewarna (dye) pada Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) contohnya adalah dengan menggunakan buah terong belanda (Semikonduktor et al., 2013), ekstrak bunga rosella (Wongcharee et al., 2007), mikroalga (Ardianto et al., 2015), buah naga merah (Pinem & Siregar, 2019), blackberry (Tanihaha et al., 2010), dan lain-lain.

Menghadapi tantangan perkembangan zaman yang diikuti dengan pengembangan teknologi dan informasi yang tinggi membutuhkan sumber daya manusia yang berkompeten, berkualitas dan memerlukan keterampilan yang tinggi, pemikiran yang kritis, sistematis, logis, kreatif dan etos kerja yang tinggi. Bidang energi bersih terbarukan adalah salah satu bidang yang digencarkan oleh pemerintah sebagai salah satu solusi untuk perubahan iklim (Kinasti et al., 2019). Dampak dari perubahan iklim telah dirasakan oleh masyarakat dunia yang berlangsung tidak hanya saat ini tapi sampai masa depan (Idris et al., 2022). Satu hal yang penting untuk dilakukan adalah membentuk pola pikir generasi masa depan agar sadar dengan dampak atas perubahan iklim tersebut. Pengenalan pada bidang teknologi bersih sejak dini dapat membentuk pola pikir yang nantinya dapat bermanfaat di masa depan.

Pemanfaatan teknologi ini dapat sebagai sumber alternatif untuk ketersediaan tenaga listrik untuk pengolahan hasil laut (Hindun et al., 2019) atau untuk tenaga listrik sekolah (Oktaviani et al., 2020). Akses terhadap pengalaman langsung dalam membuat dan mendemonstrasikan produk teknologi sangatlah terbatas dan cenderung mahal di pendidikan dasar dan menengah. *Workshop* membuat sel surya sederhana dan berbiaya murah bisa jadi pengalaman yang sangat berharga dan mungkin akan berdampak luas secara psikomotorik bagi siswa SMP dan SMA. Selama ini akses pengalaman terhadap teknologi bersih dan terbarukan mungkin hanya terbatas diperoleh pada informasi 1 arah melalui penjelasan guru/internet/buku/video.

Kegiatan pengabdian masyarakat berupa pengenalan DSSC sederhana pada siswa SMPN 161 Jakarta sebagai percontohan. Pengalaman psikomotorik melalui pelatihan akan mendukung kemampuan kognitif yang sudah dimiliki oleh siswa di sekolah SMPN 161 Jakarta dalam bidang lingkungan dan kesadaran terhadap energi bersih dan terbarukan. Sekolah ini terletak di kota Jakarta, dan memiliki reputasi sangat baik (unggul) di tingkat daerah serta masuk dalam kategori sekolah Adiwiyata. Sekolah Adiwiyata yaitu sekolah yang peduli lingkungan yang sehat, bersih serta lingkungan yang indah dalam kurun waktu 5 tahun terakhir. Beberapa unit kegiatan siswa dan lomba-lomba yang pernah diselenggarakan di sekolah ini mengusung tema lingkungan dan pentingnya penggunaan energi bersih dan terbarukan. Terbukti dari adanya pemasangan panel surya di sekolah ini yang mendapatkan hibah dari pihak ketiga sebelum dilaksanakannya pelatihan ini. Pemasangan dari pihak ketiga tersebut saat ini sudah rusak dan terbengkalai sehingga sudah hilang nilai manfaatnya. Komitmen sekolah dan komunitas dalam

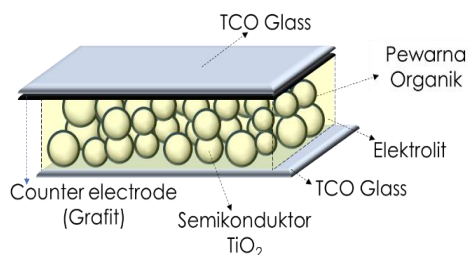
peningkatan penggunaan energi bersih perlu ditingkatkan dengan keterlibatan siswa dan sekolah utamanya dalam peningkatan pembelajaran.

Pelatihan pembuatan sel surya sederhana oleh siswa/siswi SMP/SMA ini akan membuka pintu untuk berbagai jenis dukungan dari pihak orang tua siswa, komite sekolah, masyarakat, pemerintah daerah, kementerian terkait, serta pihak swasta baik didalam maupun luar negeri yang berkomitmen terhadap tumbuh kembangnya kesadaran dini akan energi bersih dan terbarukan. Khususnya dalam mempersiapkan generasi masa depan yang inovatif, kreatif, dan berdaya saing khususnya untuk menjawab tantangan menuju transisi energi *net-zero carbon emission*.

METODE PELAKSANAAN

Pelaksanaan kegiatan Pengabdian Pada Masyarakat ini dikemas dengan menggunakan pendekatan pelatihan. Kegiatan yang dilakukan menggunakan metode ceramah tentang pengenalan DSSC dan latihan pembuatan DSSC sederhana. Dalam pelaksanaan pembuatan DSSC siswa/siswi dibagi kedalam 10 kelompok yang beranggotakan masing-masing 4 orang. Kegiatan dilakukan dengan melibatkan mahasiswa yang akan mendampingi masing-masing kelompok tersebut.

Beberapa pewarna alami telah banyak diteliti (Ghann et al., 2017; Leyrer et al., 2018; Teoli et al., 2016). Pewarna yang digunakan pada pelatihan ini adalah pasta yang berasal dari buah *blackberry* dan buah naga. Pasta ini akan diaplikasikan dengan cara dilapiskan pada DSSC yang bertujuan untuk menyerap cahaya sesuai skematik diagram. DSSC kit sebagai media pelatihan ini merupakan DSSC komersial yang berasal dari Arbor Scientific. Starter kit ini dirangkai dengan urutan seperti pada gambar skematik (Gambar 1). Pengukuran beda potensial dan kuat arus dilakukan dengan multimeter yang sudah terstandarisasi. Starter kit ini digunakan untuk melakukan pengetesan dari 10 kelompok untuk masing-masing jenis pasta yaitu buah naga dan *blackberry*.



Gambar 1. Skematik diagram kit DSSC

Sebelum digunakan, TCO glass harus diidentifikasi sisi konduktifnya dengan multimeter. Setelah

itu TCO glass ditempatkan pada meja kerja dengan sisi konduktif menghadap ke atas. Pada sebelah sisi ini ditetaskan Pasta Titanium Dioksida menggunakan pipet plastik sebanyak 1 tetes kemudian diratakan agar merata di semua bagian sisi konduktif. Jika tidak terbentuk lapisan yang merata, atau ada bagian yang terbuka. Segera tambahkan pasta Titanium Dioksida dan diratakan kembali menggunakan pipet plastic. Setelah itu dilakukan pemanasan pada gelas menggunakan hot plate dengan posisi lapisan TiO₂ menghadap ke atas. Pemanasan pada 200 °C ini dilakukan agar terbentuk partikel-partikel TiO₂ yang menempel secara sempurna pada lapisan TCO glass. Setelah pemanasan 10 menit, pasta akan mengering dan terlihat berwarna putih, menandakan pembentukan partikel TiO₂ telah berhasil. Sebuah *blackberry* (atau buah naga) dimasukkan ke dalam kantong, kemudian dihancurkan agar terbentuk cairan. Cairan yang berwarna ini kemudian disebut pewarna (*dye*). TCO glass yang telah dilapisi oleh TiO₂ kemudian dimasukkan dan direndam dalam cairan pewarna ini. Perendaman dilakukan selama 5 menit agar pewarna dapat masuk menempel pada partikel TiO₂ dan masuk ke sela-sela partikel. Kaca yang telah diwarnai diangkat ke atas gelas beker. Lalu, kaca dibilas dengan air distilasi menggunakan botol semprot untuk menghilangkan sisa jus beri hitam. Kaca diletakkan ke atas tisu. Lalu, kaca dikeringkan menggunakan tisu dengan cara ditempelkan secara perlahan-lahan. Kaca yang telah diberi warna ini akan menjadi anoda (kutub negatif). TCO glass yang lain diperlakukan dengan cara yang sama dalam penentuan sisi konduktifnya. Grafit ditempelkan pada sisi konduktif dengan cara menggosokkan pensil grafit diatas sisi konduktif. Kaca yang telah diberi lapisan grafit ini akan menjadi katoda (kutub positif).

Kedua buah elektroda kaca yang telah dibuat diposisikan saling berhadapan kemudian kedua kaca ditempelkan dengan menyisakan sedikit jarak sesuai dengan jarak isolasi awal. Lalu, dijepit menggunakan penjepit kertas pada kedua sisinya yang rata. Elektrolit iodida/triodida ditetaskan secukupnya pada celah sel menggunakan pipet tetes. Penjepit kertas dilonggarkan secara bergantian sehingga elektrolit dapat melalui celah sel. Warna pada lapisan yang telah diwarnai akan semakin gelap yang menunjukkan bahwa sudah terlapisi elektrolit. Jika terdapat titik pada lapisan yang telah diwarnai tidak terlapisi elektrolit dengan baik, dapat dilakukan penetesan elektrolit kembali. Pengukuran Kuat arus dan beda potensial dilakukan dengan multimeter

PEMBAHASAN

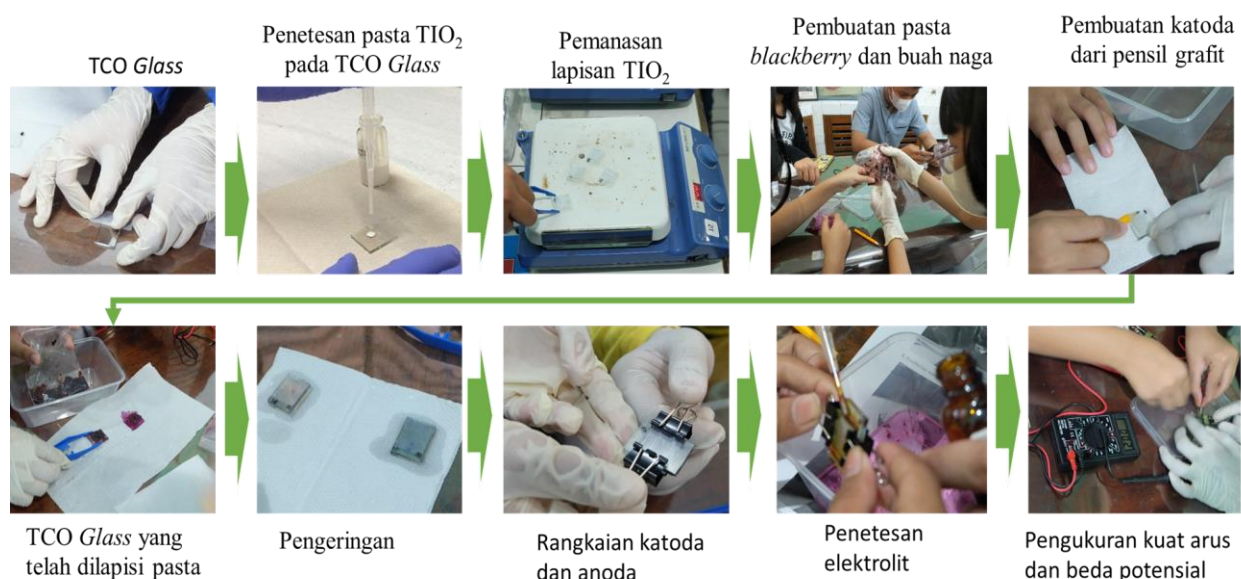
Kegiatan pengabdian diawali dengan sosialisasi kegiatan PKM kepada mitra yaitu sekolah SMPN

161 Jakarta ([Gambar 2](#)). Pemilihan mitra ini dilatarbelakangi dengan sekolah yang masuk dalam kategori sekolah Adiwiyata dan sudah terpasang panel surya. Pelatihan ini diharapkan mampu meningkatkan siswa SMPN 161 Jakarta dalam membantu memelihara dan memanfaatkan sumber energi bersih.



Gambar 2. Sosialisasi kegiatan PKM

Metode ceramah yang dilakukan meliputi dasar teori secara singkat mengenai DSSC. Langkah awal adalah pengenalan secara singkat bagaimana cahaya dapat ditangkap oleh dye (pewarna) kemudian terjadi beda potensial yang akan menghasilkan arus listrik. Selain itu disampaikan juga pemaparan mengenai tahapan-tahapan dalam pembuatan solar sel sederhana ([Gambar 3](#)). Pada kegiatan pelatihan dijelaskan juga alat-alat yang digunakan dalam pembuatan DSSC ([Gambar 4](#)). Hal ini berguna agar siswa maupun guru-guru yang hadir dapat lebih memahami materi sebelum praktek membuat solar sel sederhana dimulai. Minat dan antusiasme komunitas di sekolah SMPN 161 Jakarta tentu beririsan dengan visi dan misi dari Universitas Pertamina dan PT PERTAMINA sendiri sebagai suatu ekosistem energi terutama sebagai fungsinya dalam bentuk pengabdian masyarakat. Untuk itu, maka program pengenalan teknologi bersih secara langsung seperti pelatihan pembuatan langsung sel surya oleh siswa/siswi di sekolah SMPN 161 Jakarta akan bernilai besar terhadap potensi sekolah ini sebagai sekolah percontohan dalam pengembangan energi bersih dan terbarukan sejak dini. Harapannya, pengalaman berharga ini bisa melekat terus di siswa sebagai generasi masa depan yang akan mengambil peran besar terhadap arah transisi energi di Indonesia dimasa yang akan datang, dan bisa dijadikan percontohan dan inspirasi untuk diterapkan di beberapa sekolah lainnya. Dari sisi Universitas Pertamina, kegiatan ini dapat menjadi *pilot project* pelaksanaan pelatihan untuk siswa-siswi tingkat SMA.



Gambar 3. Langkah-langkah pembuatan sel surya sederhana



Gambar 4. Pelaksanaan pembuatan sel surya DSSC sederhana

Kegiatan ini diikuti 40 siswa yang dibagi menjadi 10 kelompok. Untuk menguji DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) yang telah dibuat dengan pasta pewarna *blackberry* dan DSSC yang telah dibuat dengan pasta pewarna buah naga dilakukan sebuah pengujian besarnya daya listrik yang dihasilkan oleh masing-masing *specimen* melalui perolehan data kuat arus dan beda potensial. Pengukuran beda potensial dan kuat arus pada masing-masing *specimen* dilakukan menggunakan multimeter digital. Spesimen DSSC *blackberry* dan buah naga ditempatkan di lapangan terbuka sehingga mendapatkan paparan cahaya matahari langsung. Peletakan DSSC *blackberry* dan buah naga dilakukan pada jam 11.39 WIB selama 16 menit pada kondisi panas terik matahari.

Tabel 1. Hasil pengukuran beda potensial dan kuat arus serta perhitungan daya sel surya sederhana dengan menggunakan pewarna *blackberry*

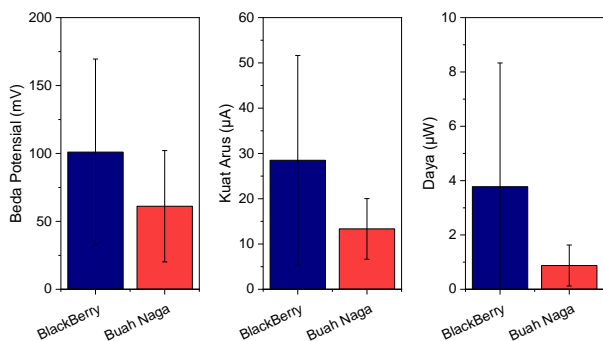
Sample	Beda Potensial (mV)	Kuat Arus (μ A)	Daya (μ W)
K1B	193.80	28.20	5.47
K2B	24.90	14.00	0.35
K3B	136.90	2.60	0.36
K4B	102.00	37.20	3.79
K5B	118.20	25.40	3.00
K6B	21.70	5.30	0.12
K7B	126.10	45.90	5.79
K8B	85.50	44.00	3.76
K9B	2.90	6.20	0.02
K10B	198.20	76.20	15.10

Berdasarkan pengujian di lapangan terbuka, hasil pengukuran untuk DSSC *blackberry* yang menghasilkan nilai beda potensial, kuat arus, daya terbesar didapatkan oleh *specimen* K10B dengan nilai beda potensial 198,20 mV, kuat arus 76,20 μ A, dan daya 15,10 mW (Tabel 1). Sedangkan, pada DSSC buah naga yang menghasilkan nilai beda potensial didapatkan oleh *specimen* K10 dengan nilai beda potensial terbesar didapatkan oleh *specimen* K10 dengan nilai beda potensial 102,00 mV, kuat arus terbesar dan daya terbesar didapatkan oleh *specimen* K8 dengan nilai kuat arus 24,70 μ A dan daya 2.41mW (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil pengukuran beda potensial dan kuat arus serta perhitungan daya sel surya sederhana dengan menggunakan pewarna *blackberry*

Sample	Beda Potensial (mV)	Kuat Arus (μ A)	Daya (μ W)
K1N	100.00	12.90	1.29
K2N	2.40	1.90	0.01
K3N	97.70	7.00	0.68
K4N	21.40	9.90	0.21
K5N	52.30	11.50	0.60
K6N	4.00	22.40	0.09
K7N	46.90	13.10	0.61
K8N	97.60	24.70	2.41
K9N	87.30	15.00	1.31
K10N	102.00	12.90	1.29

Gambar 5 menunjukkan hasil perhitungan rata-rata masing-masing buah untuk tiap parameter. Untuk parameter daya rata-rata yang dihasilkan adalah 3.76μ W untuk *Blackberry* dan 0.87μ W untuk Buah Naga. Dapat disimpulkan bahwa secara rata-rata beda potensial, kuat arus dan daya yang dihasilkan dari *Blackberry* jauh lebih besar dibandingkan jika menggunakan pewarna dari buah naga. Hal ini dimungkinkan karena penyerapan cahaya oleh ekstrak *blackberry* lebih baik dari pada buah naga.



Gambar 5. Skematik diagram kit DSSC

Pada grafik juga terlihat nilai error yang cukup besar. Hal ini dimungkinkan karena ada beberapa kelompok yang mendapatkan hasil pengukuran sangat kecil dibandingkan dengan kelompok lainnya. Pengukuran yang sangat kecil ini bisa diakibatkan karena kurang sempurnanya pemerataan lapisan TiO_2 maupun pemerataan zat pewarna dari buahnya. Hal ini dapat disebabkan oleh proses pembuatan *specimen* DSSC *blackberry* dan buah naga dibuat oleh individu yang berbeda sehingga terjadi perbedaan dalam jumlah pasta TiO_2 dan elektrolit yang digunakan ataupun perbedaan ketebalan TiO_2 pada setiap *specimen* sehingga jumlah pasta pewarna yang melekat pada TiO_2 juga

berbeda. Dalam pelaksanaan pelatihan ini, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam rangka peningkatan mutu pelatihan yaitu proses pemerataan olesan pasta TiO_2 pada TCO glass perlu diperhatikan dan kerjasama dengan guru dan komite sekolah setempat dalam rangka pengkondisian siswa terbukti mampu membuat pelatihan ini berjalan lancar.

KESIMPULAN

Minimnya akses langsung teknologi energi di lingkungan pendidikan dasar dan menengah berakibat kurangnya ketertarikan siswa – siswi kita pada bidang ilmu pengetahuan. Kegiatan pengenalan DSSC sederhana bagi siswa SMPN 161 Jakarta yang telah dilakukan yaitu, bahwa kegiatan pengabdian dapat berjalan dengan baik dan sesuai dengan rancangan kegiatan. SMPN 161 adalah sekolah percontohan yang pernah mendapatkan Adiwiyata provinsi dan selaras dengan visi dan misi universitas Pertamina terutama dalam bidang ekosistem energi. Dalam kegiatan ini 100% siswa berhasil membuat DSSC. Kegiatan pengabdian lanjutan yang dapat dilaksanakan diantaranya adalah untuk siswa SMA serta mengintegrasikan dengan pembelajaran yang telah dirancang mampu menumbuhkembangkan keterampilan berpikir kritis siswa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat penelitian dan pengabdian kepada masyarakat (DPPM) Universitas Pertamina atas pendanaan kegiatan dalam skema UPERAISAL 2022 dan SMPN 161 Jakarta atas kerjasama dalam pelaksanaan kegiatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardianto, R., Nugroho, W. A., & Sutan, S. M. (2015). Uji Kinerja Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Lapisan Capacitive Touchscreen Sebagai Substrat dan Ekstrak Klorofil Nannochloropsis Sp. Sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Ketebalan Pasta TiO_2 . *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 3(3), 325–337. <https://jkptb.ub.ac.id/index.php/jkptb/article/view/332>
- Ghann, W., Kang, H., Sheikh, T., Yadav, S., Chavez-Gil, T., Nesbitt, F., & Uddin, J. (2017). Fabrication, Optimization and Characterization of Natural Dye Sensitized Solar Cell. *Scientific Reports*, 7(1), 41470. <https://doi.org/10.1038/srep41470>
- Grätzel, M. (2003). Dye-sensitized solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 4(2), 145–153. [https://doi.org/10.1016/S1389-5567\(03\)00026-1](https://doi.org/10.1016/S1389-5567(03)00026-1)
- Hindun, I., Mulyono, M., & Husamah, H. (2019). Pemanfaatan Teknologi Tepat Guna Berbasis Solar Cell untuk Mengatasi Permasalahan IRT Nelayan Sapeken Kabupaten Sumenep. *International Journal of*

- Community Service Learning*, 3(4), 198–210.
<https://doi.org/10.23887/ijcsl.v3i4.21791>
- Idris, A. M., Sasongko, N., & Kuntjoro, Y. (2022). Energy Conversion and Conservation Technology in Facing Net Zero-Emission Conditions and Supporting National Defense. *Trends in Renewable Energy*, 8(1), 49–66.
<https://doi.org/10.17737/tre.2022.8.1.00139>
- Kinasti, R. M. A., Putri, D., Lestari, E., Sofyan, M., Kustanrika, I. W., Hidayawanti, R., & Sangadji, I. B. (2019). Sosialisasi dan Instalasi Panel Surya Sebagai Energi Terbarukan Menuju Kesadaran Lingkungan Indonesia Bebas Emisi. *Terang*, 2(1), 16–24.
<https://doi.org/10.33322/terang.v2i1.488>
- Leyrer, J., Rubilar, M., Morales, E., Pavez, B., Leal, E., & Hunter, R. (2018). Factor Optimization in the Manufacturing Process of Dye-Sensitized Solar Cells Based on Naturally Extracted Dye from a Maqui and Blackberry Mixture (*Aristotelia Chilensis* and *Rubus Glaucus*). *Journal of Electronic Materials*, 47(10), 6136–6143.
<https://doi.org/10.1007/s11664-018-6514-0>
- Mahalingam, S., Nugroho, A., Floresyona, D., Lau, K. S., Manap, A., Chia, C. H., & Afandi, N. (2022). Bio and non-bio materials-based quasi-solid state electrolytes in DSSC: A review. *International Journal of Energy Research*, 46(5), 5399–5422.
<https://doi.org/10.1002/er.7541>
- Oktaviani, L., Riskiono, S. D., & Sari, F. M. (2020). Perancangan Sistem Solar Panel Sekolah dalam Upaya Meningkatkan Ketersediaan Pasokan Listrik SDN 4 Mesuji Timur. *Prosiding Seminar Nasional Darmajaya*, 1, 13–19.
<https://jurnal.darmajaya.ac.id/index.php/PSND/articel/view/2583>
- Pinem, S. K., & Siregar, N. (2019). Pengaruh Waktu Tahan Kalsinasi Filim Tipis ZnO terhadap Efisiensi DSSC(Dye Sensitized Solar Cell) yang menggunakan Dye dari Buah Naga Merah. *Einstein E-Journal*, 5(3), 47–57.
<https://doi.org/10.24114/einstein.v5i3.12009>
- Semikonduktor, A., Tahan, W., Solar, S., Dssc, C., Buah, E., Belanda, T., Pendahuluan, I., Bahan, A. A., & Ek, D. (2013). Aplikasi Semikonduktor TiO₂ dengan Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Kalsinasi sebagai. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), 2301–9271.
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v2i1.2195>
- Sivaraj, S., Kaliyannan, G. V., Anandraj, M., Chinnasamy, M., & Rathanasamy, R. (2021). Dye-Sensitized Solar Cells. In *Fundamentals of Solar Cell Design* (pp. 137–167). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119725022.ch6>
- Tanihaha, S. L., Uranus, H. P., & Darma, J. (2010). Fabrication and Characterization of Dye-Sensitized Solar Cell Using Blackberry Dye and Titanium Dioxide Nanocrystals. *2010 Second International Conference on Advances in Computing, Control, and Telecommunication Technologies*, 60–63.
<https://doi.org/10.1109/ACT.2010.46>
- Teoli, F., Lucioli, S., Nota, P., Frattarelli, A., Matteocci, F., Carlo, A. D., Caboni, E., & Forni, C. (2016). Role of pH and pigment concentration for natural dye-sensitized solar cells treated with anthocyanin extracts of common fruits. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 316, 24–30.
<https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2015.10.009>
- Wongcharee, K., Meeyoo, V., & Chavadej, S. (2007). Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from rosella and blue pea flowers. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91(7), 566–571.
<https://doi.org/10.1016/j.solmat.2006.11.005>