
Pelatihan Pembuatan *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) Sederhana untuk Siswa SMA Islam Nurul Fikri

Fayza Yulia
Universitas Pertamina

Sylvia Ayu Pradanawati*
Universitas Pertamina

Sri Hastuty
Universitas Pertamina

Purwo Kadarno
Universitas Pertamina

Yudi Rahmawan
Universitas Pertamina

Yose Fachmi
Universitas Pertamina

Arie Sukma Jaya
Universitas Pertamina

Byan Wahyu Riyandwita
Universitas Pertamina

Khusnun Widiyati
Universitas Pertamina

Muhammad Akbar Barrinaya
Universitas Pertamina

Adhitya Ryan Ramadhani
Universitas Pertamina

Farid Muharram
Universitas Pertamina

Abstract

Renewable energy is developing rapidly in line with the increasing empowerment of new and renewable energy. As one of the efforts to fulfill 100% electrification in Indonesia, various types of renewable resources are managed to generate electricity. In Indonesia, the potential for solar energy is enormous. Solar panels will be one of the most developed energy conversion tools in Indonesia in the future. The Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC), which uses natural dyes as dyes, is the third generation of panel problems currently being developed. Nurul Fikri Senior High School, Depok was chosen because of the development of experiential and constructive learning methods adopted in their curriculum. From the results of the training, 100% of the participants were able to make a simple DSSC. In addition, there has been an increase in knowledge, as indicated by the rise in the percentage of students who know the DSSC process based on the pre-test and post-test results.

Keywords: DSSC; Natural dye; Power; Solar cell; Workshop

Abstrak

Energi baru terbarukan berkembang pesat seiring dengan peningkatan pemberdayaan energi baru terbarukan. Sebagai salah satu upaya pemenuhan 100% elektrifikasi di Indonesia, berbagai jenis sumber daya baru terbarukan dikelola untuk menghasilkan listrik. Di Indonesia, potensi energi matahari sangat besar. Solar panel, ke depannya menjadi salah satu alat konversi energi yang banyak dikembangkan di Indonesia. Solar panel generasi ketiga yang sedang banyak dikembangkan adalah *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) di mana menggunakan pewarna alami sebagai *dye*. SMA Nurul Fikri, Depok dipilih karena pengembangan metode konstruktif pengalaman belajar yang diadopsi pada kurikulum mereka. Dari hasil pelatihan, 100% peserta mampu membuat DSSC sederhana. Selain itu, telah terjadi peningkatan pengetahuan yang ditunjukkan dengan peningkatan persentase jumlah siswa yang mengetahui proses DSSC berdasarkan hasil *pre-test* dan *post-test*.

Kata kunci: Daya; DSSC; Pewarna alami; Solar cell; Workshop

1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sangat pesat dalam beberapa tahun terakhir. Peningkatan perkembangan teknologi ini telah banyak membantu masalah yang dihadapi manusia seperti perubahan iklim, polusi, bencana, energi, dan lain-lainnya. Dalam

masa sekarang, peningkatan kualitas peserta didik perlu dilakukan agar sumber daya manusia di Indonesia dapat berkompetisi secara global dalam penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi [1]. Pembelajaran sains merupakan salah satu disiplin ilmu yang mempelajari konsep dan perkembangan teknologi di mana fisika merupakan salah satu mata pelajaran sains yang ada di sekolah menengah [2].

Kebutuhan energi diprediksikan semakin meningkat sebesar 70% antara tahun 2000 sampai 2030. Cadangan sumber energi yang berasal dari fosil di menyumbang 12,3% [3]. Salah satu dampak yang ditimbulkan jika menggunakan bahan bakar fosil adalah global warming. Ketergantungan tinggi terhadap sumber energi fosil yang tidak terbarukan menempatkan krisis energi sebagai masalah teratas yang akan dihadapi manusia [4]. Upaya pencarian sumber energi terbarukan sebaiknya memenuhi syarat biaya ekonomis dan tidak berdampak negatif terhadap lingkungan.



Gambar 1. Tim Pelaksana, Perwakilan Sekolah, dan Mahasiswa PkM Workshop DSSC di SMA Nurul Fikri

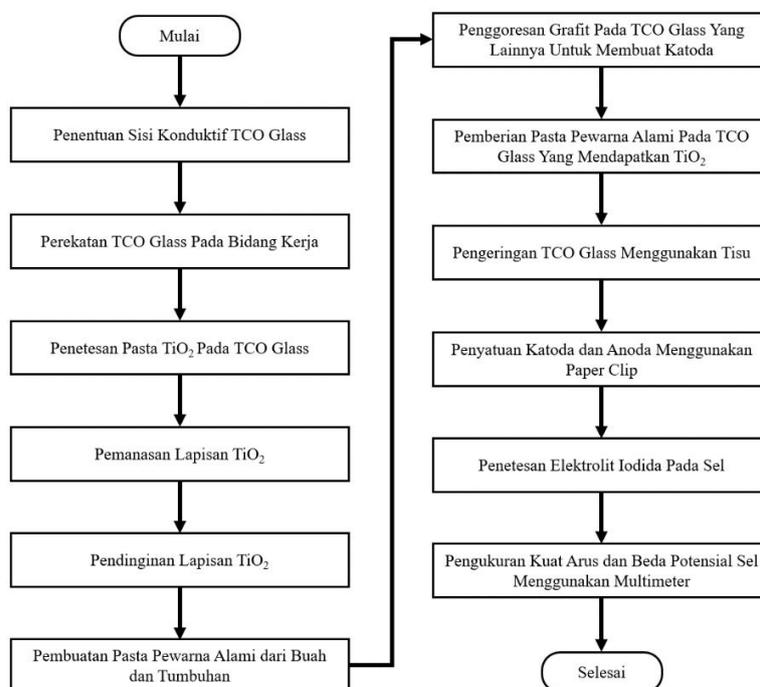
Menurut Gratzel [3], salah satu solusi yang memungkinkan untuk tantangan energi tersebut adalah pemanfaatan energi matahari yang melimpah, kontinu, bersih, dan terbarukan dengan efisiensi tinggi. Energi surya yang saat ini mulai dikembangkan yaitu teknologi DSSC (*Dye-Sensitized Solar Cell*) yang dapat mengonversi sinar tampak menjadi energi listrik berdasarkan sensitivitas lebar band gap dari bahan semikonduktor [5][6][7]. Keunggulan DSSC ini perlu disampaikan kepada generasi muda untuk dapat dikenali dan dikembangkan di masa yang akan datang. Kemampuan berpikir secara sistematis dalam memecahkan masalah serta kemampuan untuk dapat mengimplementasikan apa yang telah dipelajari di sekolah sebagai solusi dalam tantangan yang akan dihadapi oleh siswa perlu dilatih [8]. Dalam hal ini, model pembelajaran dalam demonstrasi atau praktik yang menerapkan konsep teoretis perlu diterapkan untuk meningkatkan rasa keingintahuan yang tinggi pada siswa dalam perkembangan teknologi. Pengenalan alat peraga mesin *stirling* sederhana dapat menjadi sarana yang tepat untuk melatih kreativitas siswa [9]. Dengan peralatan sederhana, alat peraga ini dapat digunakan oleh guru dan siswa sebagai media yang baik untuk mendemonstrasikan konsep fisika yang berkaitan dengan energi [10].

SMA Islam Terpadu Nurul Fikri yang terletak di Cimanggis, Depok merupakan salah satu sekolah yang menerapkan kurikulum berbasis konstruktif dengan pengalaman belajar. Sekolah yang berada di naungan Yayasan Pendidikan dan Pemberdayaan Umat Nurul Fikri ini merupakan sekolah yang menjadi pionir dalam sekolah islam terpadu. Mayoritas sekolah islam terpadu di

Indonesia berada pada naungan Jaringan Sekolah Islam Terpadu (JSIT) yang dimiliki oleh SMA IT Nurul Fikri. Fasilitas Lab Fisika yang dimiliki oleh SMA IT Nurul Fikri masih terbatas pada praktik konsep fisika optik, listrik, dan kinematik. Pengenalan konsep fisika energi dan panas masih dalam bentuk teoretis. Berdasarkan hasil observasi di SMA IT Nurul Fikri, intensitas kegiatan praktikum untuk mata pelajaran fisika masih rendah. Hal ini dikarenakan keterbatasan peralatan yang menghambat kegiatan praktik belajar berbasis praktikum atau demonstrasi. Padahal, aspek proses dalam ilmu sains yang perlu dikembangkan adalah keterampilan dalam berpikir untuk memecahkan masalah yang dituangkan dalam bentuk praktik. Dalam pelaksanaan pengabdian kepada Masyarakat ini, SMA Nurul Fikri turut aktif dalam proses persiapan dan pelaksanaan.

Dengan latar belakang tersebut, tim pelaksana pengabdian kepada masyarakat melaksanakan kegiatan pengabdian masyarakat dengan sasaran siswa SMA Nurul Fikri. Metode yang digunakan dalam pengabdian kepada masyarakat kali ini adalah metode ceramah dan praktik langsung. Tujuan dari pelaksanaan pelatihan DSSC di SMA Nurul Fikri ini adalah untuk mengenalkan DSSC kepada peserta pelatihan, dalam hal ini siswa SMA Nurul Fikri.

2. Metode Pelaksanaan



Gambar 2. Langkah-Langkah Pembuatan Sel Surya Sederhana

Pelaksanaan pelatihan diawali dengan *pre-test* untuk mengetahui pengetahuan dasar dari peserta pelatihan. Peserta pelatihan terdiri dari 90 siswa SMA Nurul Fikri yang dipilih oleh sekolah. *Pre-test* terdiri dari soal pengetahuan dasar DSSC yang dapat membantu peserta dalam mengenal lebih lanjut mengenai DSSC. *Pre-test* dilakukan secara daring dengan mengakses formulir yang telah disediakan oleh pelaksana. Setelah melaksanakan *pre-test*, dilakukan pemaparan materi mengenai DSSC dengan metode ceramah. Dalam pemaparan materi ceramah, dijelaskan tentang dasar-dasar DSSC serta proses umum perakitan DSSC sederhana. Kegiatan dilanjutkan dengan proses pabrikasi DSSC sederhana. Proses pabrikasi dilaksanakan oleh peserta pelatihan dengan panduan dari pendamping mahasiswa. Peserta melakukan perakitan DSSC sederhana seperti yang dijelaskan pada alur pada Gambar 2. Proses perakitan berlangsung selama kurang lebih 2 jam. Proses terakhir dalam serangkaian kegiatan adalah perhitungan daya listrik dari DSSC hasil rakitan peserta pelatihan. Data yang telah didapatkan dari hasil pengukuran dengan voltmeter, akan disusun dan disampaikan ke pada keseluruhan siswa untuk

dapat dianalisis lebih lanjut. Tahapan terakhir dalam pelaksanaan kegiatan pelatihan ini adalah sesi *post-test* yang dilaksanakan secara daring untuk mengetahui perkembangan pengetahuan dari peserta pelatihan. Perkembangan pengetahuan ini dilakukan dengan membandingkan nilai umum dari *pre-test* dan *post-test*.

Dalam pelaksanaan *workshop*, pelaksana telah menyiapkan peralatan perakitan DSSC dan sekolah menyiapkan dua ruangan yang terdiri dari laboratorium/kelas dan ruang terbuka. Ruangan laboratorium/kelas yang disiapkan memiliki pencahayaan yang baik sehingga memudahkan siswa dalam melakukan perakitan. Adapun, ruangan terbuka (*outdoor*) disiapkan untuk pelaksanaan pengujian performa dari perangkat DSSC yang telah dirakit. Syarat utama dari ruang terbuka adalah mampu menerima pencahayaan yang cukup dari matahari secara langsung.

3. Hasil dan Pembahasan

Sebagai pembukaan dari pelatihan ini, telah dilakukan *pre-test* kepada peserta pelatihan dengan pertanyaan singkat. Berdasarkan hasil *pre-test*, sebagian besar peserta telah mengetahui tentang solar panel termasuk dari mana listrik dari solar panel berasal. Namun, apabila dikaitkan dengan DSSC, hanya 68% peserta yang mengetahui mengenai dasar proses dari DSSC. Selain itu, berkaitan dengan pengetahuan mengenai DSSC, sebanyak 77.3% peserta sudah mengetahui arti dye pada DSSC. Hal ini menunjukkan masih rendahnya pengetahuan siswa dalam pemahaman DSSC awal. Mengingat DSSC adalah salah satu teknologi solar panel yang mungkin kurang dikenal dibandingkan dengan teknologi solar panel konvensional, maka kurangnya pengetahuan tentang hal ini menjadi suatu tantangan. Dalam dunia pendidikan dan inovasi teknologi, pemahaman akan teknologi baru seperti DSSC tentu sangat penting. Keberhasilan penerapan teknologi solar panel, khususnya DSSC, tidak hanya tergantung pada kemampuannya dalam mengonversi energi matahari menjadi listrik, tapi juga pemahaman masyarakat akan teknologinya. Oleh karena itu, meningkatkan pengetahuan peserta mengenai DSSC menjadi prioritas dalam pelatihan ini. Diharapkan, setelah pelatihan ini, peserta tidak hanya memiliki pemahaman yang lebih mendalam tentang DSSC, tapi juga dapat menyebarkan informasi dan pengetahuan tersebut kepada masyarakat luas.

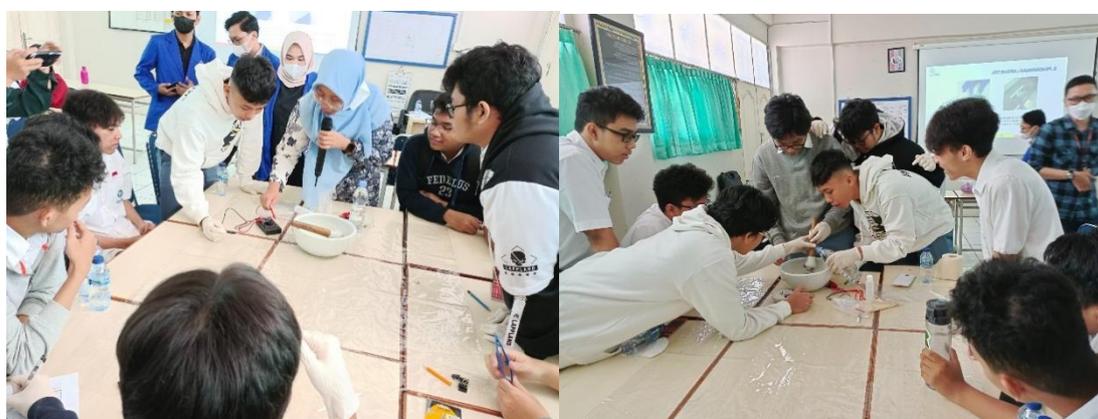
Pelatihan ini dirancang khusus untuk meningkatkan pemahaman peserta tentang DSSC, termasuk komponen-komponennya seperti dye dan mekanisme kerjanya. Melalui sesi *workshop* dan presentasi, peserta akan diajak untuk memahami konsep dasar hingga aplikasi nyata dari DSSC. Selain itu, sesi diskusi dan tanya jawab yang memungkinkan peserta untuk mengeksplorasi pertanyaan mereka dan mengatasi kekurangtahuan apa pun yang mungkin mereka miliki. Dengan dukungan materi pelatihan yang komprehensif dan pendekatan praktis, kami berharap akan ada peningkatan signifikan dalam pemahaman peserta tentang DSSC ketika *post-test* dilakukan nantinya.

Setelah melakukan *pre-test*, dilakukan pengenalan DSSC melalui metode ceramah dilakukan dengan membagi peserta menjadi beberapa kelas kecil seperti yang tercantum pada Gambar 3. Masing-masing kelas dipandu oleh satu pelaksana PKM dan mahasiswa untuk menciptakan suasana yang kondusif. Materi ceramah secara berurutan membahas tentang dasar solar panel, aplikasi panel surya pada kehidupan sehari-hari, prinsip kerja serta perkembangan panel surya. Pada tahapan ini, siswa dikenalkan dengan dasar-dasar energi dan pengetahuan dasar mengenai energi baru terbarukan. Kelas kecil yang dibentuk, mampu menciptakan suasana kelas yang kondusif.

Memasuki tahapan ceramah kedua, dilanjutkan dengan pengenalan mengenai DSSC yang merupakan inti dari *workshop* DSSC. Ceramah ini ditujukan agar supaya siswa mampu mengenali terlebih dahulu segala komponen dasar dalam DSSC dan tahapan awal dalam proses perakitan sebelum nantinya langsung merakit sendiri. Materi ceramah diawali dengan pengertian, prinsip kerja, komponen, dan perakitan DSSC. Adapun perakitan DSSC merujuk pada Gambar 2.



Gambar 3. Ceramah Pengetahuan Dasar Solar Cell



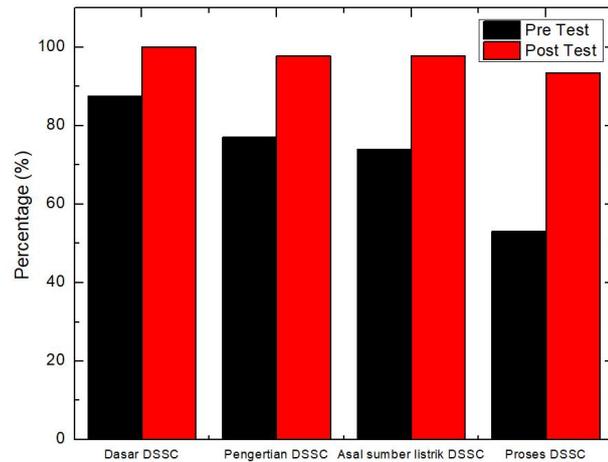
Gambar 4. Siswa SMA Nurul Fikri Melakukan Percobaan Dasar Pembuatan DSSC dengan Pengarahan dari Tim Pelaksana

Proses perakitan membutuhkan waktu sekitar 3 jam. Dalam proses perakitan, siswa SMA dipandu oleh tim pelaksana dalam mengerjakan tahapan demi tahapan pembuatan DSSC seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4. Kelompok kecil yang terdiri dari 3–4 anak melakukan eksperimen dan perakitan secara langsung di ruangan. Pelaksana telah menyiapkan beberapa sampel zat pewarna alami yang berasal dari berbagai buah dan bunga antara lain buah naga, daun Ketapang, mulberry, mawar, telang, begonia, dan kol ungu. Perbedaan zat warna yang dibawa oleh buah dan bunga tersebut bertujuan supaya siswa mendapat pengetahuan mengenai pengaruh zat warna pada performa DSSC yang telah dibuat dalam proses perakitan DSSC. Setelah dilakukan proses perakitan, dilakukan proses pengujian DSSC yang dilakukan di dalam dan di luar ruangan seperti yang dilakukan oleh salah satu kelompok siswa SMA Nurul Fikri pada Gambar 5. Adapun hasil pengukuran yang diukur adalah beda potensial, kuat arus, serta daya yang disajikan dalam Tabel 1.

Berdasarkan data pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa 100% peserta mampu membuat DSSC sederhana dengan berbagai dye. Beda potensial tertinggi didapatkan dari *dye* yang berasal dari mulberry, diikuti buah naga, dan kol ungu. Sedangkan, beda potensial terendah didapat dengan dye berasal dari bunga telang dan begonia. Adapun hal yang sama juga didapatkan dalam pengukuran arus, yaitu *mulberry* dan buah naga menghasilkan nilai kuat arus yang paling tinggi.



Gambar 5. Salah Satu Kelompok Siswa SMA Nurul Fikri Melakukan Pengujian Performa DSSC di Luar Ruang



Gambar 6. Hasil *Pre-Test* dan *Post-Test* Pembuatan DSSC Sederhana

Tabel 1. Hasil Pengukuran Beda Potensial dan Kuat Arus Serta Perhitungan Daya Sel Surya Sederhana

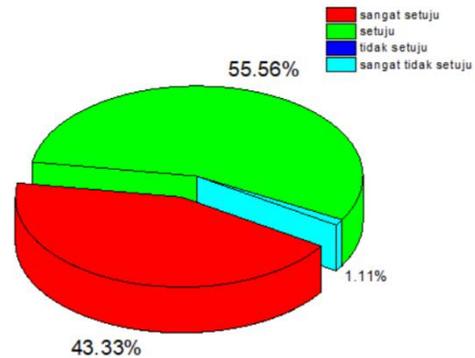
Sampel	Beda Potensial (V)	Kuat Arus (μA)	Daya (μW)
Buah Naga	2.10E-01	3.20E-05	6.72E-06
Daun Ketapang	1.10E-01	1.24E-05	1.36E-06
Mulberry	2.37E-01	1.13E-04	2.68E-05
Mawar	4.47E-02	5.00E-06	2.24E-07
Telang	3.40E-03	2.05E-05	6.97E-08
Begonia	4.80E-02	4.30E-05	2.06E-06
Kol Ungu	1.64E-01	3.90E-07	6.40E-08

Dengan demikian, berdasarkan perhitungan daya, *mulberry*, buah naga, dan begonia mampu menghasilkan daya yang paling tinggi dibandingkan dengan pewarna lain. Harapannya, ke depan hasil ini akan memberikan wawasan berharga untuk pengembangan sel surya DSSC yang lebih efisien menggunakan bahan alam.

Pelatihan diakhiri dengan pelaksanaan *post-test* yang dilakukan oleh peserta pelatihan. Adapun sesuai dengan grafik pada Gambar 6, dapat dilihat bahwa telah terjadi peningkatan pengetahuan setelah melalui pelatihan. Peningkatan paling tinggi terjadi pada proses DSSC di mana pengenalan proses ini disajikan dalam ceramah dan perakitan alat DSSC sederhana. Hal ini mengindikasikan bahwa metode ceramah yang diikuti perakitan alat secara langsung merupakan rangkaian kegiatan yang efektif untuk peningkatan pengetahuan peserta. Selain itu, pada sesi ceramah, siswa turut aktif dalam mendengarkan dan berdiskusi. Sedangkan dalam proses *workshop*, siswa memiliki kesempatan dalam praktik langsung baik saat melakukan perakitan, pengambilan data, dan analisis data. Hal ini mampu meningkatkan pemahaman dasar-dasar DSSC seperti yang tercermin dalam hasil *post-test*. Proses DSSC memiliki tingkat peningkatan pengetahuan yang paling signifikan. Hal ini didukung oleh semangat siswa dalam pelaksanaan dan proses perakitan yang menarik untuk siswa. Proses perakitan yang sederhana, siswa dilibatkan dalam proses persiapan alat, perakitan, persiapan *dye*, dan pengukuran akhir, menunjukkan peningkatan pengetahuan dalam proses DSSC.



Gambar 7. Kepuasan Peserta dalam Menilai Kebutuhan Kegiatan



Gambar 8. Hasil Kepuasan Peserta Setelah Mengikuti Kegiatan Pelatihan

Berdasarkan Gambar 7, telah diketahui bahwa 98% peserta menilai bahwa kegiatan yang sudah terlaksana merupakan kegiatan yang diperlukan di lingkungan SMA IT Nurul Fikri. Hal ini juga berkorelasi baik dengan hasil *pre-test* dan *post-test* yang menunjukkan peningkatan dalam hal pengetahuan peserta. Selain itu, hal ini juga menunjukkan bahwa materi yang disampaikan selama kegiatan tersebut relevan dan efektif dalam meningkatkan pemahaman peserta. Mendukung hal tersebut, interaksi antara peserta dan pelaksana juga memainkan peran penting dalam keberhasilan kegiatan. Kelompok kecil kelas yang dibuat, mampu meningkatkan situasi belajar dengan baik.

Berdasarkan Gambar 8, dapat dilihat bahwa lebih dari 95% peserta puas dengan kegiatan yang telah dilaksanakan. Hal ini berkaitan dengan proses persiapan yang matang dari pelaksana, baik pada sebelum maupun pada saat pelaksanaan serta proses *hands-on* yang baik dengan dipandu dosen serta mahasiswa pada kelompok kecil. Tingkat kepuasan yang tinggi ini mencerminkan betapa pentingnya persiapan menyeluruh dan interaksi langsung yang efektif antara peserta dengan dosen dan mahasiswa. Keberhasilan tersebut juga menunjukkan betapa kritisnya memiliki rasio peserta dengan pembimbing yang seimbang, sehingga setiap individu mendapatkan perhatian yang cukup. Selain itu, penggunaan metode *hands-on* memungkinkan peserta untuk tidak hanya mendengar dan melihat, tetapi juga praktik langsung, yang sangat meningkatkan pemahaman dan retensi informasi.

Dari sisi pelaksana, umpan balik positif ini memberikan motivasi untuk terus memperbaiki dan mengembangkan metode pengajaran yang lebih inovatif di masa mendatang. Hal ini juga menjadi bukti bahwa investasi waktu dan sumber daya dalam persiapan dan pelaksanaan kegiatan memberikan hasil yang memuaskan. Untuk kegiatan mendatang, dapat dipertimbangkan untuk melakukan survei lebih mendalam untuk mengetahui area-area tertentu yang mungkin bisa ditingkatkan lagi. Dengan begitu, setiap kegiatan yang dilaksanakan di masa depan dapat mencapai standar yang lebih tinggi dan memberikan manfaat yang lebih besar bagi peserta.

4. Kesimpulan

Telah dilaksanakan pelatihan DSSC sederhana di SMA IT Nurul Fikri Depok. Dalam pelatihan ini, metode ceramah dan praktik langsung menunjukkan peningkatan pengetahuan dari peserta. Pada tahapan pembuatan DSSC sederhana, 100% peserta mampu membuat DSSC dengan pewarna (*dye*) alami. Selain itu, berdasarkan perbandingan hasil *pre-test* dan *post-test*, diketahui bahwa kegiatan ini memiliki dampak baik dalam peningkatan pengetahuan peserta dalam DSSC. Hasil evaluasi kepuasan peserta juga menunjukkan bahwa pelaksanaan kegiatan mencapai hasil yang baik dengan tingkat kepuasan lebih dari 90%.

Daftar Pustaka

- [1] S. Habibah, "Implikasi Filsafat Ilmu terhadap Perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi," vol. 4, no. 1, 2017.
- [2] U. U. J. J. D. P. R. Birru Muqdamien, "Tahap definisi dalam four-d model pada penelitian research & development (r&d) alat peraga edukasi ular tangga untuk meningkatkan pengetahuan sains dan matematika anak usia 5-6 tahun," *Jurnal Pendidikan Matematika dan Matematika*, vol. 6, no. 1, 2021.
- [3] M. Grätzel, "Photoelectrochemical cells," *Nature*, vol. 414, 2001.
- [4] A. S. Catur Hilman Adritya, "Analisis Pemanfaatan Anthocyanin Tumbuhan Tropis," *Jurnal Fisika*, 2013.
- [5] G. G. ., A. H. Joko Suryadi, "Pembuatan dan Penentuan Nilai Efisiensi Sel Surya Berwarna Tersensitisasi dengan Senyawa Antosianin dari Buah Manggis (*Garcinia mangostana* L.) sebagai Pewarna Pensensitisasi," *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, vol. 13, no. 3, 2010.
- [6] G. G. M. K. Risna Erni Yati Adu, "Pemanfaatan Ekstrak Antosianin dari Limbah Kulit Bawang Merah (*Allium cepa*) sebagai Zat Pemeka (Sensitizer) pada Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)," *Alchemi Jurnal Penelitian Kimia*, vol. 18, no. 1, 2022.
- [7] L. K. W. K. Choirul Huda, "Pengembangan Bahan Ajar Fisika Berbasis Kontekstual dengan Memasukan Literasi Sains pada Materi Termodinamika Kelas XI Siswa SMA/MA," *Lontar Physics Today*, vol. 1, no. 2, 2022.
- [8] A. Nugroho et al., "Pelatihan Pembuatan Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Sederhana untuk Siswa SMP 161 Jakarta," *Wikrama Parahita: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 7, no. 1, 2023.
- [9] K. Kartika, "Pelatihan Platform Arduino Bagi Siswa SMA Negeri 1 Baktiya Alue Ie Puteh Aceh Utara," *Jurnal Solusi Masyarakat Dikara*, vol. 2, no. 1, 2022.
- [10] R. Mulyati, "Upaya Meningkatkan Hasil Belajar Fisika dengan Menggunakan Alat Peraga Sederhana pada Materi Gerak Melingkar Siswa Kelas X-5 SMA Tahun Pelajaran 2021/2022," *EDUNET: The Journal of Humanities and Applied Education*, vol. 1, no. 2, 2022.

Afiliasi:

Fayza Yulia, Sylvia Ayu Pradanawati*, Sri Hastuty, Purwo Kadarno, Yudi Rahmawan, Yose Fachmi, Arie Sukma Jaya, Byan Wahyu Riyandwita, Khusnun Widiyati, Muhammad Akbar Barrinaya, Adhitya Ryan Ramadhani, Farid Muharram

Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Pertamina

Jl. Teuku Nyak Arief, Simprug, Kebayoran Lama, Jakarta, 12220

Email: sylvia.pradanawati@universitaspertamina.ac.id*

JPP IPTEK (Jurnal Pengabdian dan Penerapan IPTEK)

<https://ejurnal.itats.ac.id/jpp-iptek>

dipublikasikan oleh LPPM Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Dikirim: 11/08/2023

Mei 2024, Volume 8, Nomor 1

Diterima: 31/08/2023

doi: [10.31284/j.jpp-iptek.2024.v8i1.4869](https://doi.org/10.31284/j.jpp-iptek.2024.v8i1.4869)

Dipublikasikan: 29/05/2024
