

Evaluasi Performa *Dye Sensitized Solar Cell* dengan Lapisan *Fiber Tissue* Kontinue

Evaluation of Dye Sensitized Solar cells Performance with Continuous Fiber Tissue Layer

Rizky Ayu Saputri, Agung Prayoga, **Imes Suci Ramadhani**^{*}, Filli Pratama,
Tamrin Tamrin

Program Studi Teknik Pertanian Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian
Universitas Sriwijaya, Indralaya Ogan Ilir 30662, Palembang, Indonesia

^{*}Penulis untuk korespondensi: imessuci4@gmail.com

Sitasi: Saputri, R. A., Prayoga, A., Ramadhani, I. S., Pratama, F., & Tamrin, T. (2024). Evaluation of dye sensitized solar cells performance with continuous fiber tissue layer. *In: Herlinda S et al. (Eds.), Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-12 Tahun 2024, Palembang 21 Oktober 2024.* (pp. 344–357). Palembang: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI).

ABSTRACT

One of the factors that can affect DSSC performance are electrolytes. The addition of continuous fiber tissue can improve DSSC performance by maintaining electron continuity because electrolytes are always available. The fiber tissue used in this study was facial tissue. This research was studied the differences in the width of the continuous fiber tissue layer as an electrolyte provider on the performance of dye sensitized solar cells, especially efficiency and fill factor. This study used several series, namely: preparation of the DSSC structure, arrangement and assembly of the DSSC layer, and measurement of the DSSC. The variations in the width of the continuous fiber tissue layer used in this study were 1 cm, 1,5 cm, and 2 cm. The research parameters observed in this study were: current and voltage measurements, power calculations, Fill Factor measurements, and DSSC efficiency calculations. The results of the study showed that the performance of DSSC with the addition of continuous fiber tissue layers with variations in width had higher performance than DSSC without additional treatment. The best DSSC performance using the addition of continuous fiber tissue was found in experimental unit B with a width of 1,5 cm, namely I_{sc} : 0,0269 mA, V_{oc} : 731 mV, I_{max} : 0,0103 mA, V_{max} : 472 mV, P_{max} : 5,0504 μ W, FF: 0,257, and an efficiency of 0,01912%.

Keywords: capillarity, continuity, *DSSC*, electrolyte solution, fiber tissue, performance

ABSTRAK

Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi performa *DSSC* adalah elektrolit. Penambahan *fiber tissue* kontinu dapat meningkatkan performa *DSSC* dengan terjaganya kontinuitas elektron karena selalu elektrolit selalu tersedia. *Fiber tissue* yang digunakan pada penelitian ini adalah *facial tissue*. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perbedaan lebar lapisan *fiber tissue* kontinue sebagai penyedia elektrolit terhadap performa *dye sensitized solar cell*, khususnya efisiensi dan *fill factor*. Penelitian ini menggunakan beberapa rangkaian, yaitu: persiapan struktur *DSSC*, penyusunan dan perangkaian lapisan *DSSC*, dan pengukuran *DSSC*. Variasi lebar lapisan *fiber tissue* kontinu yang digunakan pada penelitian ini adalah 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm. Parameter penelitian yang diamati pada penelitian ini yakni: pengukuran arus dan tegangan, perhitungan daya, pengukuran *Fill Factor* (faktor pengisian), dan perhitungan efisiensi *DSSC*. Hasil penelitian menunjukkan performa *DSSC* pada penambahan lapisan *fiber tissue* kontinu dengan variasi lebar

Editor: Siti Herlinda et. al.

ISSN: 2963-6051 (print); 2986-2302 (online)

Penerbit: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)

memiliki kinerja yang lebih tinggi dibandingkan *DSSC* tanpa penambahan perlakuan. Performa *DSSC* terbaik menggunakan penambahan *fiber tissue* kontinu terdapat pada unit percobaan B dengan lebar 1,5 cm, yaitu I_{sc} : 0,0269 mA, V_{oc} : 731 mV, I_{max} : 0,0103 mA, V_{max} : 472 mV, P_{max} : 5,0504 μ W, FF : 0,257, dan efisiensi sebesar 0,01912%

Kata kunci: *DSSC*, *fiber tissue*, kapilaritas, kontinuitas, larutan elektrolit, performa

PENDAHULUAN

Panel surya terbagi menjadi tiga generasi. Generasi pertama merupakan panel surya yang terbuat dari bahan kristal tunggal yang menghasilkan daya listrik persatuan luas yang tinggi. Generasi kedua adalah panel surya dengan struktur lapisan tipis (*thin film*). Namun panel surya jenis ini memiliki kelemahan, yaitu sulit didapatkan, harganya mahal, serta tidak ramah untuk lingkungan (Iwantono, 2018). Panel surya generasi ketiga ialah *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*. *DSSC* adalah panel surya yang memiliki basis fotoelektrokimia (Pratama, 2018). *DSSC* adalah panel surya yang pertama kali dikembangkan oleh Gratzel dan timnya, sehingga sering disebut sebagai panel Gratzel (Maddu *et al.*, 2007). Kelebihan *DSSC* terletak pada bahan pembuatannya yang relatif lebih terjangkau dan tidak merusak lingkungan (Damayanti *et al.*, 2016).

DSSC tersusun atas sepasang kaca elektroda, yaitu elektroda kerja (terdiri dari kaca *TCO (Transparent Conducting Oxide)* yang berlapis semikonduktor TiO_2 yang selanjutnya dilapisi zat peka cahaya yang memuat antosianin sebagai *fotosensitizer*) serta elektroda pembanding berupa kaca *TCO* yang dilapisi katalis karbon untuk mempercepat proses reaksi redoks dengan elektrolit (Damayanti *et al.*, 2016). Kedua elektroda tersebut digabungkan sehingga berbentuk struktur *sandwich*, selanjutnya diberi larutan elektrolit sebagai media transfer elektron.

Proses konversi energi dari cahaya matahari menjadi listrik pada *dye sensitized solar cell* dimulai dengan diterimanya foton oleh molekul *dye* sehingga menyebabkan elektron tereksitasi atau terlepas sehingga meninggalkan lubang. Elektron yang terlepas ini kemudian menginjeksi pita konduksi TiO_2 dan selanjutnya didifusikan ke elektroda kerja. Dari elektroda kerja, elektron dialirkan ke *counter electrode* (elektroda pembanding) melalui rangkaian eksternal. Pada elektroda pembanding terdapat lapisan katalis karbon, dalam hal ini jelaga, sehingga elektron dapat sampai pada larutan elektrolit. Dari reaksi redoks ini dihasilkan elektron yang dapat dikembalikan pada *dye* yang dalam keadaan teroksidasi (Yuri dan Dwandaru, 2016).

Salah satu faktor yang memberi pengaruh performa *DSSC* adalah elektrolit. Elektrolit memainkan peran penting sebagai media penghantar muatan yang menghubungkan elektroda kerja dengan elektroda pembanding. Elektrolit berperan dalam mengambil alih elektron yang hilang pada pita *HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital)* pada *dye* dampak tereksitasi menuju pita *LUMO (Lowest Unoccupied Molecular Orbital)* lewat reaksi reduksi-oksidasi (redoks) (Sukardi *et al.*, 2018).

Kelompok penelitian Gratzel mengungkapkan bahwa salah satu tantangan dalam menjaga kestabilan *DSSC* adalah komponen elektrolit (Al-Alwani *et al.*, 2016). Optimalisasi larutan elektrolit bisa dilakukan dengan mengatur jarak elektroda *DSSC*. Rentang antara elektroda memengaruhi kuantitas larutan elektrolit yang digunakan. Semakin jauh jarak elektroda, semakin banyak larutan elektrolit yang diperlukan, dan sebaliknya. Seiring waktu, larutan elektrolit akan terus-menerus berkurang, yang pada akhirnya memengaruhi kestabilan *DSSC* (Alfidharisti *et al.*, 2018).

Menurut Kurnia (2022), elektrolit yang sering diterapkan dalam penerapan *DSSC* adalah elektrolit cair yang memuat iodida/triiodida (I^-/I_3^-). Namun, elektrolit cair memiliki kekurangan yang harus diatasi untuk meningkatkan kinerja dan stabilitas perangkat, yaitu

cenderung menguap seiring waktu, yang dapat mengakibatkan penurunan kinerja dan stabilitas perangkat. Penguapan ini dapat mengurangi umur pakai perangkat serta menyebabkan degradasi kinerja seiring waktu. Mustaqim *et al.* (2017) menyatakan Pengaplikasian elektrolit cair memiliki kelemahan, yaitu risiko kebocoran dan penguapan pelarut, yang menyebabkan stabilitas dan ketahanan *DSSC* menjadi kecil serta mengurangi kinerja.

Beberapa penelitian yang sudah dilakukan untuk menangani masalah kelemahan elektrolit tersebut dan mencapai nilai efisiensi *DSSC* yang lebih tinggi dibandingkan *DSSC* yang menggunakan elektrolit cair. Seperti pada penelitian Muaffan (2024) yang menggunakan *fiber tissue* sebagai media penyerap elektrolit berbentuk persegi dengan lubang bagian tengah berukuran 0,75 cm x 0,75 cm mendapatkan efisiensi terbesar sebesar 0,016%, Rani (2023) menggunakan hidrogel elektrolit *polyethylene glycol* dengan ekstrak buah senduduk mendapatkan efisiensi sebesar 0,018%, Ali (2023) menggunakan penambahan gum xhantan sebagai pengental elektrolit dengan ekstrak buah senduduk mendapatkan efisiensi sebesar 0,0063%.

Sampai sekarang belum ada yang melakukan penelitian dengan memanfaatkan kontinuitas. Kontinu pada elektrolit cair dapat terjadi jika memanfaatkan prinsip kapilaritas. Kapilaritas adalah peristiwa naik turunnya zat cair pada pembuluh atau celah kecil ataupun pori-pori kecil. Kapilaritas terjadi karena adanya gaya kohesi dan adhesi antar molekul. Jika kohesi lebih kecil daripada adhesi, zat cair akan naik, namun jika kohesi lebih besar, zat cair akan turun (Irfan dan Deddy, 2024). Besar perubahan naik atau turun zat cair dipengaruhi oleh tegangan permukaan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Yongcai *et al.* (2016), mereka mengusulkan penggunaan elektrolit berbasis polimer untuk meningkatkan kinerja sel surya sensitif pewarna. Dalam penelitian ini, struktur pori-pori polimer dimanfaatkan untuk menahan elektrolit melalui prinsip kapilaritas. Tisu memiliki pori-pori yang kecil. Pori-pori ini memungkinkan zat cair untuk menyerap dan naik melalui tisu sehingga terjadi peristiwa kapilaritas. Semakin besar porositasnya maka semakin besar kemungkinan kapilaritas terjadi.

Dengan menggunakan prinsip kapilaritas maka elektrolit yang diberikan akan tersedia secara terus menerus (kontinu). Kontinu adalah konsep yang mengacu pada kondisi yang berlangsung secara terus-menerus atau tanpa terputus. Prinsip kontinuitas juga dikenal sebagai prinsip berkesinambungan, yang direalisasikan secara teratur dan sambung menyambung dari waktu ke waktu. Kontinuitas elektrolit *DSSC* sangat penting dalam meningkatkan efisiensi dan stabilitas sel surya. Dengan memanfaatkan prinsip kapilaritas dapat membantu menjaga ketersediaan elektrolit dikarenakan dapat diisi ulang. Rangkaian proses tersebut berlangsung secara terus menerus membentuk suatu siklus.

Berdasarkan penjelasan tersebut, penelitian ini akan mengeksplorasi kinerja *Dye Sensitized Solar Cell* dengan menerapkan variasi luas lapisan serat *tissue* kontinu sebagai media penyerap elektrolit menggunakan ekstrak *dye* dari buah senduduk.

BAHAN DAN METODE

Adapun alat-alat yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini antara lain: 1) Alat tulis, 2) Amperemeter, 3) Batang pengaduk, 4) Blender, 5) Botol kaca transparan dan gelap, 6) Cawan petri, 7) Corong gelas, 8) *Cotton bud*, 9) Erlenmeyer 100 mL dan 500 mL, 10) Gelas ukur 10 mL, 11) Jangka sorong, 12) Kabel *jumper*, 13) Kertas aluminium, 14) Kertas saring, 15) Klip binder no.105, 16) Lampu halogen Hapika 50 Watt, 17) Luxmeter (HS1010), 18) Mistar, 19) Multimeter digital (DT-830B), 20) Neraca digital Ohaus, 21) Oven Kirin, 22) Penjepit kabel *jumper*, 23) Pinset, 24) Pipet tetes, 25) Pisau, dan 26) Potensiometer 500 k Ω (variabel resistor).

Bahan-bahan yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini antara lain: 1) Air, 2) Akuades, 3) Asam asetat 0,25 N, 4) Buah senduduk yang telah matang, 5) Bubuk titanium dioksida (TiO_2), 6) *Facial tissue*, 7) Iodin 0,1 N, 8) Kaca *Transparent Conducting Oxide* (TCO), dan 8) Katalis karbon (jelaga lilin).

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan beberapa rangkaian penelitian, yaitu: 1) Persiapan struktur *DSSC*, 2) Penyusunan dan perangkaian lapisan *DSSC*, dan 3) Pengukuran *DSSC*.

Adapun *Dye Sensitized Solar Cell* dibuat dengan menggunakan substrat kaca *capacitive touch screen*. Ukuran substrat yang dibuat memiliki dimensi yakni 3 cm x 3 cm. Ketebalan selotip yang digunakan adalah 0,03705 cm (3 lapis selotip x 0,01235 cm). *DSSC* diuji dengan 3 unit percobaan yang memiliki variasi perbedaan lebar lapisan *fiber tissue*. Pengukuran masing-masing sampel dilakukan dengan menggunakan intensitas cahaya tertinggi yakni dengan jarak 10 cm. Metode yang digunakan untuk membuat lapisan *fiber tissue* adalah dengan menambahkan *facial tissue* berbentuk persegi panjang dengan panjang 7 cm diantara permukaan lapisan TiO_2 dan elektroda pembanding. Berikut beberapa *DSSC* yang akan dibuat dengan variasi lebar lapisan *fiber tissue*, yakni:

- A = 1 cm x 7 cm,
- B = 1,5 cm x 7 cm,
- C = 2 cm x 7 cm.

Cara kerja pelaksanaan penelitian ini sebagai berikut :

Persiapan Struktur *Dye Sensitized Solar Cell*

Kegiatan untuk membuat struktur *DSSC* diawali dengan pemotongan kaca substrat, pembuatan *sensitizer* (ekstraksi buah senduduk), pembuatan pasta dari bubuk Titanium dioksida (TiO_2) yang dicampur dengan asam asetat dan pembuatan elektroda kerja (berupa pendeposisian TiO_2 dan pelapisan *dye*) serta elektroda pembanding yang dilapisi katalis karbon.

Penyusunan dan Perangkaian *Dye Sensitized Solar Cell*

- 1) Elektroda kerja (yang telah dilapisi dengan TiO_2 dan ditetesi ekstrak *dye* masing-masing sampel) diletakkan *facial tissue* yang telah digunting diatas permukaan elektroda kerja dengan bentuk persegi panjang berukuran 1 cm x 7 cm, 1,5 cm x 7 cm, dan 2 cm x 7 cm pada bagian tengahnya
- 2) Elektroda pembanding (yang telah dilapisi katalis karbon) ditumpuk dengan melekatkan keduanya pada posisi berhadapan, kemudian berikan area *offset* sebagai penghubung untuk sirkuit luar.
- 3) Tumpuk elektroda kerja dan pembanding saling berhadapan dan jepit menggunakan klip binder ukuran 105 agar dapat melekat dengan benar
- 4) Dua area *offset* elektroda dihubungkan dengan kabel *jumper* dan dijepit menggunakan penjepit kabel *jumper*.
- 5) Struktur *DSSC* yang telah berbentuk susunan roti lapis (*sandwich*) selanjutnya masukkan *tissue* yang menjuntai ke dalam bejana elektrolit.

Pengujian Rangkaian *Dye Sensitized Solar Cell*

- 1) Lampu halogen dipasang tegak lurus berdiri dengan pengaturan jarak 10 cm terhadap *DSSC*.
- 2) Lapisan struktur *DSSC* disambungkan dengan project board yang telah terhubung dengan rangkaian amperemeter, voltmeter dan potensiometer.

- 3) Nilai arus dan tegangan diatur dalam kondisi stabil pada saat memulai pengukuran dengan mengatur rangkaian *DSSC* yang telah terhubung untuk akurasi (ketepatan) data yang akan diambil.
- 4) Pengukuran hasil arus dan tegangan dapat diketahui melalui data yang tampil pada layar *display* multimeter, dalam hal ini potensiometer akan diputar setiap 15 detik secara kontinu untuk mengetahui nilai arus dan tegangan pada *DSSC* yang diukur.
- 5) Data tegangan pertama (V_{oc}) akan terlihat sebelum pemutaran potensiometer, atau pada posisi arus sama dengan nol, sedangkan nilai arus terakhir (I_{sc}) terlihat setelah putaran terakhir dari potensiometer atau tegangan sama dengan nol.

Parameter Penelitian

Adapun parameter penelitian yang diamati dalam penelitian ini diantaranya: 1) Pengukuran arus dan tegangan, 2) Perhitungan daya, 3) Pengukuran *Fill Factor* (faktor pengisian), dan 4) Perhitungan efisiensi *DSSC*.

HASIL

Elektrolit yang biasa digunakan dalam *DSSC* terdiri dari Iodine (I^-) dan triiodide (I_3^-) sebagai pasangan redoks dalam pelarut. Elektrolit *DSSC* menyediakan transfer muatan antara dua elektroda dan regenerasi zat pemeca cahaya. Elektrolit cair yang digunakan pada *DSSC* sering kali mengalami berbagai masalah, salah satunya penguapan. Penelitian ini menggunakan penambahan serat *tissue* dan memanfaatkan prinsip kapilaritas untuk menjaga ketersediaan elektrolit dengan *tissue* sebagai sumbu kapilaritas.

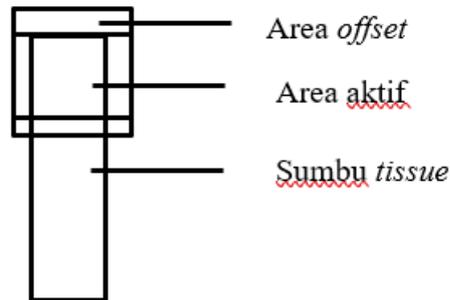
Tissue terdiri dari serat selulosa, ketika serat selulosa menyerap air, kertas juga akan menyerap air. Serat selulosa akan mengembang atau berkontraksi tergantung pada perubahan jumlah air yang ada. Serat selulosa cenderung membentuk ikatan hidrogen (H); demikian pula, kertas akan mengalami pembentukan ikatan H antara seratnya tanpa memerlukan aditif tambahan. Menurut Sijabat *et al.* (2022) ketika suatu permukaan serat tersebut dikenai air maka akan membuat ikatan pada gugus -OH yang berikatan antar serat melepas ikatannya dan mengikat gugus -OH pada air sehingga menjadikan ikatan antar serat menurun yang seharusnya mampu meningkatkan resapan air oleh serat lebih banyak.

Menurut Andariana *et al.* (2024) kapilaritas adalah peristiwa naik turunnya zat cair melalui celah-celah sempit atau sering disebut pipa kapiler. Kapilaritas terjadi akibat adanya gaya adhesi dan gaya kohesi yang mempengaruhi tegangan permukaan zat cair. Tegangan permukaan berperan dalam menentukan sejauh mana zat cair akan naik atau turun di dalam pipa kapiler. Selain tegangan permukaan, kapilaritas juga dipengaruhi oleh sudut kontak. Jika $\theta < 90^\circ$, maka cairan akan naik dan membasahi permukaan. Sedangkan jika $\theta > 90^\circ$, maka tidak akan terjadi kenaikan atau penurunan.

Kapilaritas pada kertas tisu menunjukkan bahwa tinggi penyerapan air meningkat seiring dengan bertambahnya waktu penyerapan. Namun, semakin lama waktu penyerapan, laju kenaikan yang tinggi pada penyerapan menjadi kurang signifikan (Ardiani *et al.*, 2020). Ying *et al.* (2015) dalam penelitiannya yang menyatakan bahwa daya serap kertas tisu berbanding lurus dengan jumlah dan ukuran pori yang dimiliki kertas tisu. Penggunaan variasi lebar *tissue* dapat mempengaruhi elektrolit yang dapat diserap sehingga menyebabkan besar kecilnya performa kelistrikan yang dihasilkan oleh *DSSC*. Lebih banyak ruang kosong atau pori-pori akan memungkinkan lebih banyak air terserap yang dibantu oleh gaya kapilaritas (Barbash dan Yashchenko, 2020).

Penelitian ini menggunakan *tissue* sebagai sumbu kapilaritas penyedia elektrolit dengan bentuk persegi panjang. Terdapat tiga variasi kelebaran yang digunakan, yaitu A (1 cm), B (1,5 cm), dan C (2 cm) dengan panjang 7 cm. *Tissue* diletakkan pada bagian tengah

diantara elektroda kerja dan pembanding (diantara lapisan *dye* dan karbon). Gambar letak *tissue* pada area kerja aktif dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur *DSSC* tampak atas

Perhitungan Tegangan dan Arus

Pengukuran terhadap nilai tegangan dan arus dilakukan sesuai dengan jumlah unit percobaan *DSSC* yang telah dibuat. Hasil penggunaan *fiber tissue* sebagai media kapilaritas elektrolit yang dibuat, yaitu 3 unit percobaan dengan variasi lebar lapisan *fiber tissue* 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm.

Nilai kelistrikan yang diperoleh dari pengukuran tegangan dan arus antara lain: a) tegangan pada kondisi rangkaian terbuka, b) arus pada kondisi hubungan singkat, c) tegangan maksimum, d) arus maksimum, e) daya input, f) fill factor, g) daya output, dan h) efisiensi. Data tersebut secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai karakteristik kelistrikan *DSSC* dengan penambahan lebar lapisan *fiber tissue* kontinu

DSSC	Data Hasil Pengukuran dan Pengolahan Data		
	A (1 cm)	B (1,5 cm)	C (2 cm)
V_{oc} (mV)	581	731	536
I_{sc} (mA)	0,0192	0,0269	0,0206
V_{max} (mV)	282	472	316
I_{max} (mA)	0,0103	0,0107	0,0950
P_{input} (μ W)	22.840	26.413	23.133
P_{output} (μ W)	2,9046	5,0504	3,0020
FF	0,2604	0,2568	0,2719
Efisiensi (%)	0,01272	0,01912	0,01298

Data pada Tabel (a) menunjukkan bahwa penambahan lebar lapisan *fiber tissue* pada *DSSC* memberikan pengaruh terhadap nilai karakteristik kelistrikan *DSSC* yang diuji. Nilai efisiensi *DSSC* dipengaruhi oleh banyak faktor, yaitu nilai I_{sc} , V_{oc} , I_{max} , dan V_{max} . Kinerja *DSSC* mengalami peningkatan pada lebar lapisan A dan B, namun mengalami penurunan pada lebar lapisan C.

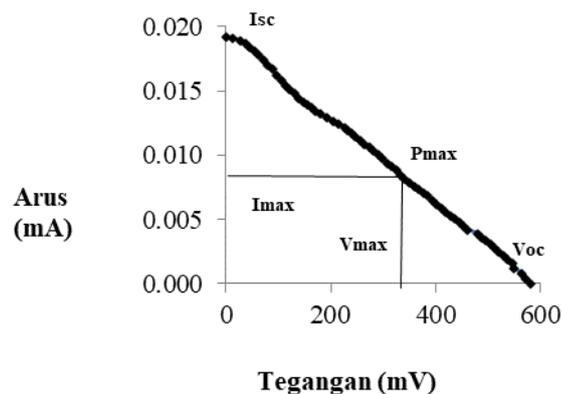
Data arus dan tegangan diperoleh dari pengukuran *DSSC* menggunakan berbagai instrumen, antara lain multimeter digital, voltmeter, dan potensiometer, yang semuanya terhubung ke *project board* melalui kabel *jumper*. Sebelum dilakukan pengukuran, *DSSC* disuntikkan larutan elektrolit dan didiamkan selama 30 menit. Kemudian ujung *tissue* pada *DSSC* dicelupkan ke larutan elektrolit yang berfungsi sebagai mediator reaksi redoks dan menggantikan elektron *dye* yang tereksitasi akibat reaksi redoks.

Berdasarkan data menunjukkan bahwa variasi lebar lapisan *fiber tissue* berpengaruh terhadap nilai kelistrikan terhadap *DSSC* yang diuji. Nilai efisiensi *DSSC* juga dipengaruhi oleh besar kecilnya nilai parameter I_{sc} , V_{oc} , I_{max} , dan V_{max} . Performa *DSSC* mengalami peningkatan seiring bertambahnya lebar lapisan *fiber tissue* yang digunakan dari 1 cm hingga 1,5 cm dan mengalami penurunan pada penambahan lebar *fiber tissue* 2 cm. Hal

tersebut sejalan dengan pernyataan Wu *et al.*, (2016) yang menyatakan pemberian elektrolit yang berlebihan pada DSSC dapat menyebabkan penurunan pada *dye* sehingga mengurangi performa DSSC. Hal ini dikarenakan lapisan TiO_2 dan *dye* mengalami korosi sehingga mengurangi efisiensi transfer elektron. Elektrolit mengandung sifat korosif yang dapat menyebabkan terjadinya karat pada besi. Dalam penelitian ini, korosi akibat elektrolit menyebabkan lapisan TiO_2 terlepas dari lapisan kaca TCO.

DSSC A (1 cm)

DSSC A, yaitu perlakuan unit percobaan 1 dengan penambahan lapisan *fiber tissue* dengan lebar 1 cm dengan panjang 7 cm memperoleh hasil kurva (V-I) terlihat pada Gambar 2.

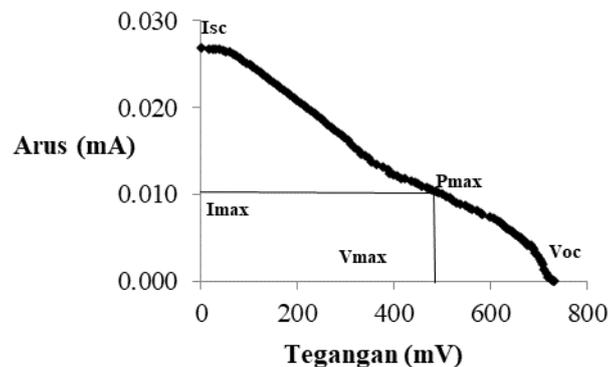


Gambar 2. Kurva karakteristik (V-I) DSSC A

Nilai tegangan pada kondisi rangkaian terbuka (V_{oc}) tercatat sebesar 581 mV, sedangkan arus pada kondisi tegangan nol (I_{sc}) adalah 0,0192 mA. Tegangan maksimum (V_{max}) yang diperoleh sebesar 282 mV, arus maksimum (I_{max}) sebesar 0,0103 mA, dan daya maksimum (P_{max}) sebesar 2,9046 μ W. Pengukuran tegangan dan arus menunjukkan kestabilan selama 16,5 menit. Derajat kelengkungan kurva tegangan dan arus dipengaruhi oleh kestabilan DSSC, stabilitas yang lebih rendah menghasilkan *fill factor* yang lebih rendah. Berdasarkan hasil pengukuran, kurva tegangan dan arus menunjukkan kestabilan yang baik dengan nilai *fill factor* sebesar 0,2604.

DSSC B (1,5 cm)

DSSC B, yaitu perlakuan unit percobaan 1 dengan penambahan lapisan *fiber tissue* dengan lebar 1,5 cm dengan panjang 7 cm memperoleh hasil kurva (V-I) terlihat pada Gambar 3.

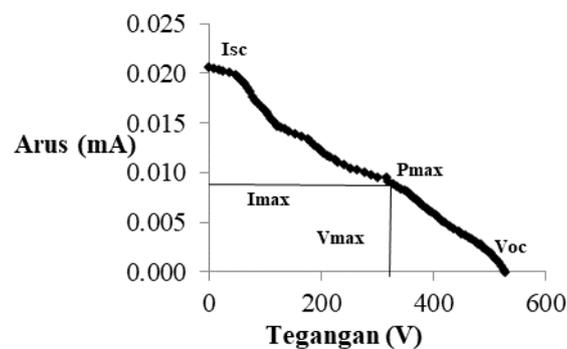


Gambar 3. Kurva karakteristik (V-I) DSSC B

Nilai tegangan pada kondisi rangkaian terbuka (V_{oc}) tercatat sebesar 731 mV, sedangkan arus pada kondisi tegangan nol (I_{sc}) adalah 0,0269 mA. Tegangan maksimum (V_{max}) yang diperoleh sebesar 472 mV, arus maksimum (I_{max}) sebesar 0,0107 mA, dan daya maksimum (P_{max}) sebesar 5,0504 μ W. Pengukuran tegangan dan arus menunjukkan kestabilan selama 27,75 menit. Derajat kelengkungan kurva tegangan dan arus dipengaruhi oleh kestabilan *DSSC*, di mana stabilitas yang lebih rendah dapat menghasilkan area fill factor yang lebih rendah. Berdasarkan hasil pengukuran, kurva tegangan dan arus menunjukkan kestabilan yang baik dengan nilai *fill factor* sebesar 0,2568.

DSSC C (2 cm)

DSSC C, yaitu perlakuan unit percobaan 1 dengan penambahan lapisan *fiber tissue* dengan lebar 2 cm dengan panjang 7 cm memperoleh hasil kurva (V-I) terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva karakteristik (V-I) *DSSC C*

Nilai tegangan pada kondisi rangkaian terbuka (V_{oc}) tercatat sebesar 536 mV, sedangkan arus pada kondisi tegangan nol (I_{sc}) adalah 0,0206 mA. Tegangan maksimum (V_{max}) yang diperoleh sebesar 316 mV, arus maksimum (I_{max}) sebesar 0,0095 mA, dan daya maksimum (P_{max}) sebesar 3,0020 μ W. Pengukuran tegangan dan arus menunjukkan kestabilan selama 21,25 menit. Derajat kelengkungan kurva tegangan dan arus dipengaruhi oleh kestabilan *DSSC*, di mana stabilitas yang lebih rendah dapat menyebabkan *fill factor* yang lebih rendah. Berdasarkan hasil pengukuran, kurva tegangan dan arus menunjukkan kestabilan yang baik dengan nilai *fill factor* sebesar 0,2719.

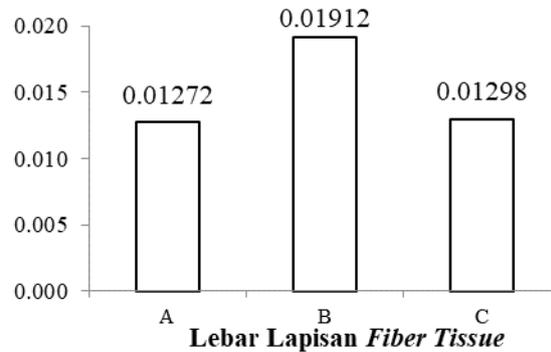
Perhitungan Efisiensi

Performa *DSSC* dipengaruhi oleh nilai arus listrik yang diperoleh. Salah satu faktor yang memengaruhi kinerja *DSSC* adalah efisiensi. Efisiensi dihitung dengan membandingkan daya output dan daya input, kemudian hasilnya dikalikan dengan 100%. Dari hasil pengamatan menunjukkan terjadinya peningkatan nilai efisiensi pada penambahan lebar lapisan *fiber tissue* kontinu *DSSC*. Secara spesifik, peningkatan nilai efisiensi unit percobaan *DSSC* dengan penambahan lebar lapisan *fiber tissue A* dan *B* dengan nilai berturut-turut 0,01272% dan 0,01912%.

Peningkatan nilai efisiensi terjadi pada penambahan lebar lapisan *fiber tissue A* dan *B*, namun mengalami penurunan pada penambahan lebar lapisan *fiber tissue C*. Kenaikan nilai efisiensi pada unit percobaan yang diberikan *fiber tissue* dengan lebar 1,5 cm memiliki kapilaritas yang optimal untuk mengalirkan elektrolit ke area aktif *DSSC*. Lebar media kapilaritas 1,5 cm dapat meningkatkan laju difusi ion-ion elektrolit ke arah elektroda anoda dan katoda. Lebar 1,5 cm memungkinkan konduksi yang lebih baik karena menyediakan jalur yang cukup untuk difusi elektrolit tanpa hambatan yang signifikan,

yang meningkatkan efisiensi transfer ion. Dengan demikian, waktu transit ion-ion dapat berkurang, sehingga meningkatkan efisiensi konversi sinar matahari menjadi listrik.

Lebar lapisan A dan B disebabkan oleh terdistribusinya elektrolit secara terus-menerus sehingga membantu menjaga siklus reaksi redoks tetap terjadi. Pada penambahan lebar lapisan *fiber tissue* C, nilai efisiensi menurun dikarenakan distribusi elektrolit berlebihan dan menyebabkan lapisan TiO_2 mengalami korosi kimia. Adapun pengaruh lebar lapisan *fiber tissue* kontinu terhadap efisiensi *DSSC* dapat dilihat pada Gambar 5.



Keterangan: A (1 cm), B (1,5 cm), dan C (2 cm)

Gambar 5. Pengaruh lebar lapisan *fiber tissue* kontinu terhadap efisiensi

Berdasarkan data nilai efisiensi yang diperoleh dari setiap unit percobaan *DSSC*, nilai yang didapatkan dari penambahan lebar lapisan *fiber tissue* kontinu mulai mengalami peningkatan pada lebar lapisan A dan mencapai puncak pada penambahan lebar lapisan *fiber tissue* kontinu B, serta mengalami penurunan nilai efisiensi terjadi pada lebar lapisan *fiber tissue* kontinu C. Pada unit eksperimen A, peningkatan efisiensi terlihat ketika lapisan *fiber tissue* kontinu dengan lebar 1 cm ditambahkan. Efisiensi perlakuan ini mencapai 0,01272%, lebih tinggi jika dibandingkan dengan kontrol yang hanya mencapai 0,01022%. Meskipun demikian, efisiensi perlakuan A masih lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan B yang mencapai 0,01912%.

Perbedaan ini disebabkan oleh distribusi elektrolit yang tidak merata pada perlakuan A karena ukuran lebar *fiber tissue* yang masih terlalu kecil. Hal ini mengakibatkan beberapa area tertentu mengalami kekurangan elektrolit, sehingga tidak semua area kerja terhubung secara optimal dengan elektrolit. Keadaan ini dapat mengurangi efisiensi konversi energi secara keseluruhan. Pada penambahan lebar lapisan *fiber tissue* A dan B, efisiensi mengalami peningkatan dikarenakan adanya distribusi elektrolit yang tidak terputus sehingga reaksi redoks terjadi secara terus-menerus dan menghasilkan arus listrik yang lebih banyak jika dibandingkan dengan distribusi elektrolit menggunakan suntikan pada *DSSC*.

Pada unit percobaan B terjadi puncak kenaikan nilai efisiensi *DSSC* jika dibandingkan unit percobaan C, dimana nilai efisiensinya, yaitu 0,01912% dan 0,01298%. Hal ini dikarenakan *tissue* yang digunakan pada unit percobaan B memiliki ukuran yang tepat sehingga penyerapan dan pendistribusian elektrolit pada area kerja *DSSC* terjadi secara merata dan cukup. Ukuran ini memastikan kontak yang baik antara elektrolit dan lapisan aktif, memaksimalkan transfer elektron, dan efisiensi konversi energi. Semakin tinggi nilai daya yang mampu diserap *DSSC*, maka efisiensi yang dihasilkan akan semakin optimal (Satriani, 2017). Pernyataan ini berbanding lurus dengan data hasil pengamatan, semakin banyak daya yang mampu diserap oleh *DSSC*, maka semakin besar pula efisiensi yang dihasilkan.

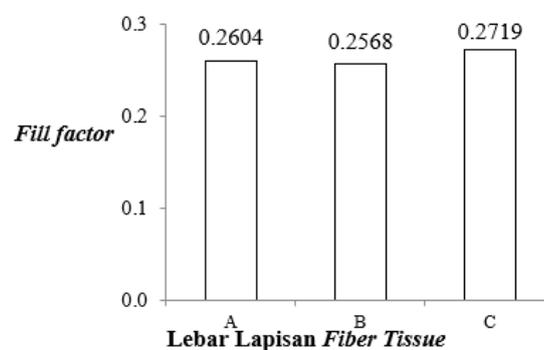
Tissue yang digunakan pada unit percobaan C (2 cm) terjadi penurunan. Penurunan nilai efisiensi ini dikarenakan lambatnya proses eksitasi elektron sehingga terjadi penumpukan dan menyebabkan proses naiknya kapilaritas pada *fiber tissue* terhambat. Selain itu, penumpukan elektrolit pada lapisan semi konduktor menyebabkan peluruhan lapisan TiO_2 dan *dye* akibat interaksi berlebihan antara elektrolit dengan lapisan TiO_2 dan *dye*. *DSSC* C memiliki kelebaran yang terlalu besar, sehingga penyerapan elektrolit terlalu berlimpah menyebabkan terjadinya korosi pada lapisan TiO_2 dan *dye* sehingga mengganggu stabilitas dan mengurangi efisiensi transfer elektron. Selain itu, penggunaan *tissue* dengan lebar 2 cm mengurangi efisiensi pengisian ulang elektrolit serta mengurangi area kontak efektif antara elektrolit dan bahan semikonduktor. Nilai efisiensi pada unit percobaan A dan C secara berturut adalah 0,01272% dan 0,01298%.

Efisiensi *DSSC* dalam bentuk persegi panjang dengan menggunakan *tissue* sebagai media kapilaritas elektrolit cenderung lebih besar dibandingkan dengan *DSSC* berbentuk huruf P yang menggunakan *tissue* serupa, meskipun keduanya memiliki ukuran lebar dan ketebalan yang sama. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor kunci. Pertama, bentuk persegi panjang memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan bentuk huruf P dengan dimensi yang sama. Luas permukaan yang lebih besar memungkinkan untuk area kontak yang lebih besar antara elektrolit dan elektroda kerja atau elektroda pembanding, meningkatkan efisiensi proses elektrokimia yang terjadi didalam sel surya.

Kedua, distribusi dan penetrasi *tissue* elektrolit dalam bentuk persegi panjang lebih merata dan terdistribusi dengan baik di seluruh permukaan area kerja aktif, memaksimalkan penggunaan media elektrolit untuk memfasilitasi perpindahan ion dan penghasilan arus listrik yang lebih baik. Selain itu, bentuk persegi panjang mungkin mendukung aliran udara yang lebih baik di sekitar permukaan sel, membantu dalam mengurangi resistansi ohm dan memperbaiki transfer massa untuk reaksi redoks yang lebih efisien. Dengan demikian, meskipun media elektrolit yang digunakan sama, bentuk geometris dari *DSSC* dapat memiliki dampak signifikan terhadap efisiensi keseluruhan *DSSC*.

Perhitungan *Fill Factor*

Selain dipengaruhi oleh efisiensi, performa *DSSC* juga dipengaruhi oleh nilai *fill factor*. Nilai *fill factor* bergantung pada besar kecilnya nilai arus maksimum, arus hubungan pendek, dan tegangan rangkaian terbuka. Semakin besar nilai arus maksimum yang dihasilkan maka semakin besar pula nilai *fill factor* yang akan didapatkan. Gambar pengaruh penggunaan lebar *fiber tissue* terhadap nilai *fill factor* dapat dilihat pada Gambar 6.



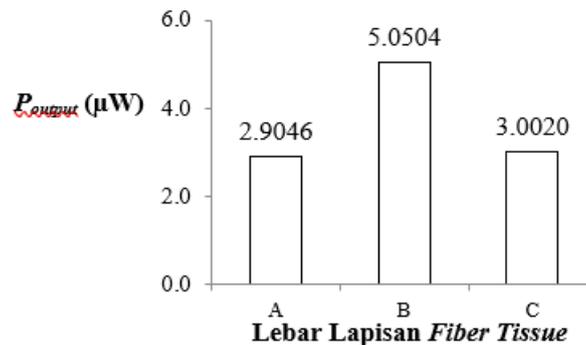
Keterangan: A (1 cm), B (1,5 cm), dan C (2 cm)

Gambar 6. Pengaruh lebar lapisan *fiber tissue* terhadap *FF*

Berdasarkan Gambar 6. dapat kita lihat bahwa nilai *fill factor* yang dihasilkan adalah *DSSC A* sebesar 0,2604, *DSSC B* sebesar 0,2568, dan *DSSC C* sebesar 0,2719. Berdasarkan data tersebut, unit percobaan C menunjukkan nilai *fill factor* tertinggi yaitu 0,2719, sedangkan unit percobaan B menunjukkan nilai *fill factor* terendah yaitu 0,2568. Hal ini menunjukkan bahwa nilai *fill factor* dapat mempengaruhi daya yang dihasilkan (*P_{output}*); semakin tinggi nilai *fill factor*, semakin besar pula daya yang dapat dihasilkan.

Perhitungan Daya

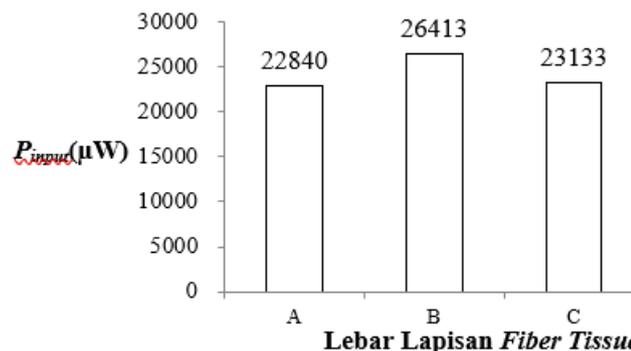
Data yang diperoleh pada saat pengukuran berupa nilai arus dan tegangan kemudian digunakan untuk menghitung nilai daya. Adapun masing-masing nilai daya yang dihasilkan dari *DSSC A*, B dan C dapat dilihat pada Gambar 7.



Keterangan: A (1 cm), B (1,5 cm), dan C (2 cm)

Gambar 7. Daya keluaran *DSSC* (P_{output})

Nilai daya *output* dihitung dengan mengalikan nilai tegangan rangkaian terbuka, arus hubungan pendek, dan nilai *fill factor*. Daya *output* berbanding lurus dengan efisiensi, semakin besar nilai daya *output* pada unit percobaan *DSSC*, semakin besar pula nilai efisiensi yang diperoleh. Data nilai daya *output* dapat dilihat pada Gambar 8.



Keterangan: A (1 cm), B (1,5 cm), dan C (2 cm)

Gambar 8. Daya masukan *DSSC* (P_{input})

Daya *input* diperlukan untuk menjalankan siklus redoks pada *DSSC* yang diuji. Nilai daya *input* diperoleh dari hasil mengalikan intensitas cahaya dengan luas permukaan aktif. Intensitas cahaya diukur dari lampu halogen yang diletakkan 10 cm dari unit percobaan *DSSC*. Semakin tinggi intensitas cahaya yang diterima *DSSC*, semakin tinggi pula nilai daya input yang diperoleh.

KESIMPULAN

Sifat kelistrikan DSSC dipengaruhi oleh penambahan lebar *fiber tissue* kontinu. Efisiensi akan terus bertambah hingga pada kelebaran tertentu, yaitu dari 1 cm - 1,5 cm dengan nilai efisiensi yang dihasilkan sebesar 0,01272% dan 0,01912%. Pada penambahan lebar *fiber tissue* kontinu yang lebih lebar (2 cm), efisiensi menurun, yaitu sebesar 0,01298%. Performa DSSC terbaik terdapat pada penggunaan penambahan *fiber tissue* kontinu pada unit percobaan B dengan lebar 1,5 cm, yaitu I_{sc} : 0,0269 mA, V_{oc} : 731 mV, I_{max} : 0,0107 mA, V_{max} : 472 mV, P_{max} : 5,050 μ W, FF : 0,2568, dan efisiensi sebesar 0,01912%.

DAFTAR PUSTAKA

- Adityawan, E. (2010). Studi karakteristik pencatutan solar cell terhadap kapasitas sistem penyimpanan energi baterai. *Universitas Indonesia., Depok*.
- Afriyani, R. (2023). Pengaruh penggunaan hidrogel elektrolit polyethylene glycol terhadap kinerja dye sensitized solar cell dengan ekstrak buah senduduk. *Skripsi Jurusan Teknologi Pertanian*. Universitas Sriwijaya. Indralaya.
- Agustini, S. (2013). Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) berdasarkan fraksi volume TiO₂ Anatase-Rutile dengan *Garcinia mangostana* dan *Rhoeo spathacea* sebagai Dye Fotosensitizer. *Jurnal Teknik ITS*, 2(2), B131-B136.
- Ali, A. M. (2023). Kinerja dye sensitized solar cell buah senduduk (*Melastoma Malabathricum*) dengan penambahan gum xhantan dan arabik pada larutan elektrolit. *Skripsi Jurusan Teknologi Pertanian*. Universitas Sriwijaya. Indralaya.
- Al-Alwani, M. A., Mohamad, A. B., Ludin, N. A., Kadhum, A. A. H., & Sopian, K. (2016). Dye-Sensitized Solar Cells: Development, Structure, Operation Principles, Electron Kinetics, Characterisation, Synthesis Materials and Natural Photosensitisers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 183-213.
- Alfaiz, W. M. (2024). Penggunaan fiber tissue sebagai media penyerap elektrolit pada dye sensitized solar cell. *Skripsi Jurusan Teknologi Pertanian*. Universitas Sriwijaya. Indralaya.
- Alfidharisti, S. R., Nurosyid, F., & Iriani, Y. (2018). Pengaruh waktu terhadap efisiensi Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). *Indonesian Journal of Applied Physics*, 8(1), 1-6.
- Andariana, A., Hasyim, A., Hamsyah, E. F., Yusuf, M., & Gustina, G. (2024). Pelatihan Ipa Sederhana Bagi Peserta Didik di Pulau Bonetambu. *J-ABDI: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 3(11), 2279-2288.
- Ardiani, S., Rahmayanti, H., & Akmalia, N. (2020). The study of paper capillarity with a simple technique. *Jurnal Ilmiah Publipreneur*, 8(1), 34-47.
- Arini, W. (2019). Tingkat daya kapilaritas jenis sumbu pada hidroponik sistem wick terhadap tanaman cabai merah (*Capsicum annum L.*). *Jurnal Perspektif Pendidikan*, 13(1), 23-34.
- 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 TiO₂. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 3(3), 325-337.
- Baqi, A. (2016). *Simulasi Performa Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Berbahan Semikonduktor ZnO-SiO₂* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).

- Barbash, V. A., & Yashchenko, O. V. (2020). Preparation and application of nanocellulose from non-wood plants to improve the quality of paper and cardboard. *Applied Nanoscience*, 10(8), 2705-2716.
- Damayanti, R., Hardeli, H., & Sanjaya, H. (2016). Preparasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas L.*). *Sainstek: Jurnal Sains dan Teknologi*, 6(2), 148-157.
- Daniswara, A., Raydiska, G., dan Timotius, Y. (2020). Strategi Implementasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) di Indonesia. *Jurnal Offshore: Oil, Production Facilities and Renewable Energy*, 4(2).
- Dewan Energi Nasional. (2023). *Outlook Energi Indonesia*. Jakarta.
- Dewi, N. A., Nurosyid, F., Supriyanto, A., & Suryana, R. (2016). Pengaruh ketebalan elektroda kerja TiO₂ transparan terhadap kinerja Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) sebagai Aplikasi Solar Window. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 6(2), 73-78.
- Dharma, I. (2014). Proses Pembuatan DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell) Menggunakan TiO₂ (Titanium Dioksida) Partikel Nano. *Skripsi Jurusan Elektro Universitas Diponegoro*. Semarang.
- Halme, J. (2002). Dye-sensitized nanostructured and organic photovoltaic cells: technical review and preliminary tests. *Master Thesis Department of Engineering Physics and Mathematics, Helsinki University of Technology*.
- Hani, S. (2015). Pembangkit listrik energi matahari sebagai penggerak pompa air dengan menggunakan solar cell. *Jurnal Teknologi Technoscintia*, 157-163.
- Hardeli, Suwardani, Riky, Fernando, Maulidis, & Ridwan, S. (2013). *Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopori TiO₂ Menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami*. *Prosiding Semirata FMIPA*, Universitas Lampung.
- Hikmah, I., & Prajitno, G. (2015). Pengaruh penggunaan gel-electrolyte pada prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Berbasis TiO₂ Nanopartikel dengan ekstrak murbei (*Morus*) sebagai Dye Sensitizer pada Substrat Kaca ITO. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(1), B5-B10.
- Irfan, M., & Deddy, S. (2024). Konsep Dasar Mekanika Fluida. *Jurnal Multidisiplin Sainstek*, 3(2), 1-10.
- Iwantono, Taer, E., Taslim, R., & Lestari, L. R. (2018). Sel surya fotoelektrokimia dengan menggunakan nanopartikel platinum sebagai elektroda *Counter Growth*. Universitas Riau, 553-560.
- Lestari, E. A. I., & Setiarso, P. (2021). Studi elektrokimia ekstrak betalain umbi bit sebagai pewarna alami DSSC (Dye Sensitized Solar Cell). *UNESA Journal of Chemistry*, 10(3), 318-325.
- Maddu, A., Zain, H., & Sardy, S. (2007). The use of Polyaniline Nanofiber as Modified Cladding for Fiber Optic Methanol Vapor Sensor. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 9(8), 2362.
- Manan, S. (2009). Energi matahari, sumber energi alternatif yang efisien, handal dan ramah lingkungan di Indonesia. *Gema teknologi*.
- Manurung, D. N. (2021). *Pengaruh Penggunaan Dye Tunggal Dan Dye Campuran Terhadap Efisiensi Kerja Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* (Doctoral Dissertation, Fisika).
- Mustaqim, M., Haris, A., & Gunawan, G. (2017). Fabrikasi Dye-Sensitized Solar Cell Menggunakan Fotosensitizer Ekstrak Bunga Rosela (*Hibiscus sabdariffa L*) dan Elektrolit Padat Berbasis PEG (Polyethylene Glycol). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 20(2), 62-67.
- Nursam, N. M. (2020). Pengaruh Material Counter Electrode pada Dye-Sensitized Solar Cell. *Metalurgi*, 34(3).

- Pratama, A. (2018). Analisa perbandingan sistem Dye Sensitive Solar Cell (DSSC) Pada Kawasan Pantai dan Perkotaan. *Tugas Akhir*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Pratiwi, D. D. (2016). Variasi komposisi zat pewarna terhadap kinerja Dye Sensitized Solar Cells (DSSC). *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Purwaniati, P., Arif, A. R., & Yuliantini, A. (2020). Analisis kadar antosianin total pada sediaan bunga telang (*Clitoria ternatea*) dengan metode pH diferensial menggunakan spektrofotometri visible. *Jurnal Farmagazine*, 7(1), 18-23.
- Puspitasari, N., Adawiyah, S. R., Fajar, M. N., Yudoyono, G., Rubiyanto, A., & Endarko, E. (2017). Pengaruh jenis katalis pada elektroda pembanding terhadap efisiensi Dye Sensitized Solar Cells dengan Klorofil sebagai Dye Sensitizer. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 13(1), 30-33.
- Rakhman, D. F. (2014). Pengaruh variasi konsentrasi klorofil terhadap daya keluaran Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Siddiq, N. A. (2015). *Fabrikasi Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Berstruktur Bilayer Anatase TiO₂ Dalam Rangkaian Seri dan Paralel* (Doctoral dissertation, Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia).
- Sijabat, E. K., Sakti, S. A., & Basuki, T. P. (2022). Aplikasi nanocrystalline cellulose dari proses hidrolisis asam sebagai bahan penguat pada kertas tisu wajah. *Jurnal polban*, 12(2).
- Sukardi, S., Kiswaya, S. M., & Pranowo, D. (2018). Antosianin ekstrak ubi jalar ungu kering untuk donor elektron Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT). *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 7(3), 133-142.
- Suliantini, N. W. S., Sadimantara, G. R., & Wijayanto, T. (2018). Pengujian kadar antosianin padi gogo merah hasil koleksi plasma nutfah Sulawesi Tenggara. *CROP AGRO, Scientific Journal of Agronomy*, 4(2), 43-48.
- Supriyanto, A., Darmawan, M. I., & Darmaja, H. (2014). Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) menggunakan ekstraksi bahan-bahan organik alam *Celosia argentea* dan *Lagerstromia sp.* *Universitas Sebelas Maret*.
- Wu, C., Chen, B., Zheng, X., & Priya, S. (2016). Scaling of the flexible dye sensitized solar cell module. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 157, 438-446.
- Yongchai *et al.* (2016). Enhanced Performance of Dye-Sensitized Solar Cells with Electrospun Polymer Electrolytes. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 8(20), 12829–12835.
- Yuri, D. M., & Dwandaru, W. B. (2016). Uji beda kestabilan tegangan dan arus antara Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) yang menggunakan counter electrode jelaga lilin dan Grafit Pensil Difference Test of the Voltage And the Current Stability Between Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Using Candle Soot and Pencil Graphite as Counter Electrode. *Jurnal Ilmu Fisika dan Terapannya (JIFTA)*, 5(5), 318-327.