

## Analisis DSSC menggunakan mulberry powder dan buah naga sebagai fotosensitizer

Nurlaila Rajabiah<sup>1\*</sup>, Dwi Irawan<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro  
Jl. Ki Hajar Dewantara 15 A Kota Metro, Lampung, Indonesia  
\*Corresponding author: [nurlailarajabiah@gmail.com](mailto:nurlailarajabiah@gmail.com)

### Abstract

*Fabrication prototype of DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell) using mulberry powder from mulberry leaf extract (*Morus Alba L.*) and dragon fruit (*Hylocereus Polyrhizus*) as photosensitizers has been carried out. The test was carried out by testing the I-V characteristics at a light distance of 10, 20 and 30 cm from the material sample. The test results show that the chlorophyll of mulberry and dragon fruit is capable of producing an electric current which is a characteristic of the resistance of organic materials. In DSSC with mulberry powder dye, the greatest power was found at a halogen lamp distance of 10 cm with a power of 257.77 mW. Whereas in DSSC with red dragon fruit flesh dye, the greatest power was obtained at 162.35 mW with the halogen lamp distance from the DSSC device being 10 cm. DSSC testing using mulberry powder and dragon fruit showed that the power produced on mulberry powder leaves was higher than dragon fruit. The results of the I-V characteristic test on the DSSC device show a linear graph.*

**Keywords:** DSSC, Moringa Leaves, Red Spinach, Ethanol.

### Abstrak

Fabrikasi prototype DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell) menggunakan mulberry powder dari ekstrak daun mulberry (*Morus Alba L.*) dan buah naga (*Hylocereus Polyrhizus*) sebagai Fotosensitizer telah dilakukan. Pengujian dilakukan dengan uji karakteristik I-Vnya pada jarak cahaya lampu 10, 20, dan 30 cm dari sampel material. Hasil pengujian menunjukkan klorofil mulberry dan buah naga mampu menghasilkan arus listrik yang merupakan ciri resistansi material organik. Pada DSSC dengan dye mulberry powder diperoleh daya yang terbesar terdapat pada jarak lampu halogen 10 cm dengan daya sebesar 257,77 mW. Sedangkan pada DSSC dengan dye daging buah naga merah diperoleh daya yang terbesar 162,35 mW dengan jarak lampu halogen dari divais DSSC 10 cm. Pengujian DSSC menggunakan mulberry powder dan buah naga tampak bahwa daya yang dihasilkan pada daun mulberry powder lebih tinggi dibandingkan dengan buah naga. Hasil pengujian karakteristik I-V pada divais DSSC menunjukkan grafik linier.

**Kata kunci:** DSSC, Daun Kelor, Bayam Merah, Ethanol.

### Pendahuluan

Energi yang biasanya berasal dari fosil yang keberadaannya semakin berkurang dan tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu banyak para ahli mencari cara untuk menciptakan energi baru/ alternatif, dan *dye-sensitized solar cell* (DSSC) merupakan salah satunya. Beberapa bahan pewarna alami dari ekstraksi bahan organik alam memiliki

spektrum absorbansi kisaran 300-800 nm, ini yang menjadikan ekstraksi bahan organik alam perlu untuk di selidiki lagi sebagai bahan sensitizer DSSC [1]. Karakteristik penentu performansi sel surya diantaranya struktur, jenis dye (karakteristik absorpsi cahaya), konsentrasi larutan elektrolit dan sumber cahaya yang digunakan. Ekstrak dye atau pigmen tumbuhan yang digunakan

sebagai fotosensitizer salah satunya berupa ekstrak klorofil atau anthosianin [2].

TiO<sub>2</sub> yang diaplikasikan pada DSSC harus dipreparasi pada permukaan yang luas sehingga dye terabsorpsi lebih banyak. Hal ini diharapkan mampu meningkatkan photocurrent. Utama lainnya adalah penggunaan dye mampu menyerap spektrum cahaya yang lebar dan sesuai dengan pita energi TiO<sub>2</sub> [3]. Dye dapat berupa dye alami maupun dye sintesis.

Pada proses fotosintesis, klorofil berperan sebagai penyerap cahaya dan mengubahnya menjadi energi kimia yang dibutuhkan pada tumbuhan. Sifat dari klorofil yang mampu menyerap cahaya merupakan fungsi dari dye pada DSSC. Arus yang dihasilkan oleh cahaya matahari paling tinggi pada keadaan cerah [4]. Pada artikel ini dye yang digunakan yaitu dari mulberry powder dari ekstrak daun mulberry (*Morus Alba L.*) dan buah naga (*Hylocereus Polyrhizus*) sebagai fotosensitizer pada fabrikasi DSSC *Solar Cell*. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengisolasi klorofil sehingga mampu menjadi dye pada system DSSC, mengetahui karakteristik I-V DSSC menggunakan dye klorofil dari isolasi klorofil mulberry powder dan buah naga. Uji kelistrikan pada kondisi terang dengan jarak lampu 10 cm, 20 cm, dan 30 cm.

## Tinjauan Pustaka

### Energi

Energi matahari merupakan energi yang tidak akan bisa habis hingga datangnya hari kiamat. Sinar yang dihasilkan mampu berubah dari satu bentuk energi menjadi energi yang lain. Batas energi yang dihasilkan cahaya matahari pun tanpa batas. Akan tetapi, cahaya yang masuk ke bumi akan berkurang jika keadaan langit mendung atau terjadi hujan, dan rotasi bumi mengakibatkan terjadinya malam. Hal-hal tersebutlah yang mempengaruhi besar kecilnya energi cahaya matahari yang masuk ke bumi [4]. Menurut Fonash [5] pasokan energi untuk sel surya adalah foton yang berasal dari matahari. Masukan ini

didistribusikan, dengan cara yang bergantung pada variabel seperti garis lintang, waktu, kondisi atmosfer, serta pada panjang gelombang yang berbeda.

Energi yang dipancarkan oleh matahari yang mencapai Bumi setiap menit akan cukup untuk memenuhi kebutuhan energi seluruh penduduk manusia di planet kita selama satu tahun, jika bisa ditangkap dengan benar seperti pemanfaatannya pada panel surya yang menyerap cahaya matahari untuk menghasilkan energi. Intensitas radiasi matahari sangat besar pengaruhnya terhadap daya ( $P_{out}$ ) keluaran sel fotovoltaik, dimana pada saat pagi hari intensitas radiasi matahari lebih besar sehingga menghasilkan daya yang lebih besar. Sedangkan intensitas cahaya matahari pada siang dan sore hari cenderung menurun sehingga daya yang dihasilkan lebih kecil [6].

### DSSC

*Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) adalah salah satu teknologi sel surya nonkonvensional yang berkembang sejalan dengan perkembangan nanoteknologi. DSSC terdiri dari nanokristal TiO<sub>2</sub> sebagai fotoelektroda, dye sebagai penyerap cahaya, dan elektrolit sebagai pendonor elektron disusun dengan struktursandwich. Pada dasarnya prinsip kerja dari DSSC merupakan reaksi dari transfer elektron [2]. DSSC terdiri dari sebuah elektrode kerja, sebuah counter electrode dan sebuah elektrolit. Berbeda dengan sel surya konvensional, pada DSSC absorpsi cahaya dan transfer muatan listrik terjadi pada proses yang terpisah. Absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul dye, sedangkan transfer muatan dilakukan oleh semikonduktor anorganik nanokristal yang memiliki celah pita relatif besar. Salah satu semikonduktor yang sering digunakan adalah titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) yang relatif murah, banyak dijumpai, inert, dan juga tidak beracun [6].

Absorpsi cahaya dari DSSC dilakukan oleh molekul dye dan separasi muatan oleh injeksi elektron dari dye pada TiO<sub>2</sub> di permukaan elektrolit semikonduktor. Dengan struktur pori yang

nano maka permukaan dari  $\text{TiO}_2$  menjadi luas sehingga memperbanyak dye yang terabsorpsi dan akan meningkatkan efisiensi. Meskipun hanya selapis dye, dapat mengabsorpsi kurang dari 1% dari cahaya yang datang [7]. Saat penyusunannya, molekul dye menjadi sebuah lapisan dye yang tebal. Lapisan tersebut mampu meningkatkan kemampuan optis DSSC. kontak langsung antara molekul dye dengan permukaan elektrode semikonduktor dapat memisahkan muatan dan berkontribusi pada pembangkit arus.

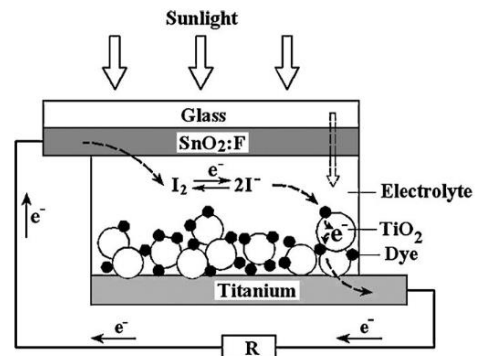
### Lapisan $\text{TiO}_2$

Aplikasi  $\text{TiO}_2$  sebagai semikonduktor telah banyak dilaporkan. Berbagai metode dilakukan dalam aplikasi pemanfaatan  $\text{TiO}_2$  pada DSSC diantaranya [6] tentang preparasi  $\text{TiO}_2$  dengan metode Micro-Plasma oxidation (MPO).  $\text{TiO}_2$  dengan struktur nanopori yaitu ukuran pori dalam skala nano akan menaikkan kinerja sistem karena struktur nanopori mempunyai karakteristik luas permukaan yang tinggi sehingga akan menaikkan jumlah dye yang terserap yang implikasinya akan menaikkan jumlah cahaya yang diserap material tersebut.

Fungsi absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul dye yang terabsorpsi pada permukaan  $\text{TiO}_2$ . Dye yang umumnya digunakan dan mencapai efisiensi paling tinggi yaitu jenis ruthenium complex. Walaupun DSSC menggunakan ruthenium complex telah mencapai efisiensi yang cukup tinggi, namun dye jenis ini cukup sulit untuk disintesa dan ruthenium complex komersil berharga mahal. Sebuah kelompok studi di Jepang, telah mencoba lebih dari dua puluh jenis dye alami dari ekstrak tumbuhan sebagai fotosensitizer pada sistem sel surya ini, diantaranya adalah kol merah, kunyit, teh hijau, dan sebagainya. Ekstrak dye atau pigmen tumbuhan yang digunakan sebagai fotosensitizer berupa ekstrak klorofil, karoten [7] atau antosianin [8].

Fabrikasi DSSC di laboratorium yaitu menggabungkan dua kaca dengan lapisan yang berbeda dengan struktur sandwich, sebagai substrat dan superstrat,

yang salah satunya yaitu lapisan  $\text{TiO}_2$  dimana cahaya masuk dan yang lainnya yaitu counter-electrode yang dilapisi katalis contohnya platina. Untuk meminimalisasi biaya produksi pada skala massal, satu sel bisa dideposisikan secara langsung antara kaca dengan luas permukaan yang tinggi [9].



Gambar 1. Struktur DSSC [7].

Untuk mengadaptasi proses produksi sel surya lapisan tipis sehingga lebih mudah mencapai tahap komersialisasi. Pada struktur monolithic, semua lapisan dari sel dapat dideposisikan masing-masing diatas yang lainnya pada satu kaca [10] yang dilapisi TCO, sedangkan satu kaca lain yang berlawanan hanya berfungsi sebagai pelindung dan enkapsulasi.

### Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode eksperimental dengan variabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu karakteristik fotosensitizer serbuk daun mulberry dan buah naga. Variabel terikat pada penelitian ini yaitu pembuatan lapisan DSSC. Variabel terkontrol dalam penelitian ini yaitu pelarut dye yang digunakan berupa ethanol, dan logam oksida nanokristal yang digunakan yaitu  $\text{TiO}_2$ .  $\text{TiO}_2$  dicampurkan dengan air secukupnya untuk membuat pasta, tidak terlalu cair dan tidak terlalu pekat. Pasta  $\text{TiO}_2$  kemudian dideposisikan pada kaca konduktif dengan metode *doctor blade*. Kemudian dikeringkan selama 1 jam pada suhu ruang dibawah sinar matahari.

Proses penelitian diawali dengan persiapan alat dan bahan penelitian. Pada

tahap pertama yaitu pembuatan dye dari daun mulberry yang sudah berupa serbuk dan daging buah naga merah. Ekstrak daun Mulberry yang digunakan dalam penelitian ini merupakan Classic Mulberry Powder dari PT. Healt Wealth International yang mengandung mengandung 90 mg ekstrak daun mulberry atau murbei dan 350 mg mentha herba. Sedangkan Buah naga yang digunakan yaitu buah naga merah (*hylocereus polyrhizus*) dengan kulit buah berwarna merah muda dan daging buah berwarna merah-ungu. Proses isolasi terdiri dari proses pembuatan larutan ekstrak *mulberry powder* dan buah naga dengan mengambil dagingnya, dan dicampurkan dengan air destilasi (*aquadest*) sebagai pelarut. Serbuk mulberry powder sebanyak 1 gram dilarutkan kedalam 100 mL aquades dan diaduk sampai rata, diblender selama 10 menit. Begitu juga dengan daging buah naga yang diperoleh dicampurkan dengan 100 mL aquades dan diblender selama 10 menit sampai menunjukkan warna yang homogen. Kemudian keduanya bahan dye yang telah diaduk, disaring dengan menggunakan kertas saring sehingga tidak ada endapan yang tersisa. Selanjutnya simpan larutan.

Serbuk mulberry dan buah naga yang telah diekstrak kemudian dilakukan pengujian laboratorium untuk mengetahui sifat listriknya menggunakan multimeter digital. Setelah dye dibuat, kemudian mulai pembuatan lapisan DSSC yaitu berupa logam oksida nanokristal  $\text{TiO}_2$ , molekul zat warna (*dye*), dan elektrolit yang mengandung pasangan redoks KI. Ketiga komponen ini memiliki peranan penting dalam menghasilkan efisiensi konversi energi sistem DSSC. Kemudian dilakukan pengujian karakteristik I-V DSSC dengan dye serbuk daun mulberry dan buah naga. Hasil pengujian yang telah dilakukan dianalisis, dibandingkan hasil yang diperoleh dari kedua bahan *dye* dan membuat kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

Kaca konduktif ITO pada bagian yang bersifat konduktif untuk mendeposisikan pasta  $\text{TiO}_2$ . Bagian 3

sisinya dilapisi selotip (warna abu-abu) agar dapat dengan mudah memegang kaca tanpa merusak atau menyentuh bagian kaca yang telah dideposisikan dengan  $\text{TiO}_2$  seperti pada Gambar 2. Kaca konduktif yang pertama dideposisikan pasta  $\text{TiO}_2$  dan larutan dye di atasnya dan kaca konduktif yang kedua dilapisi dengan grafit.

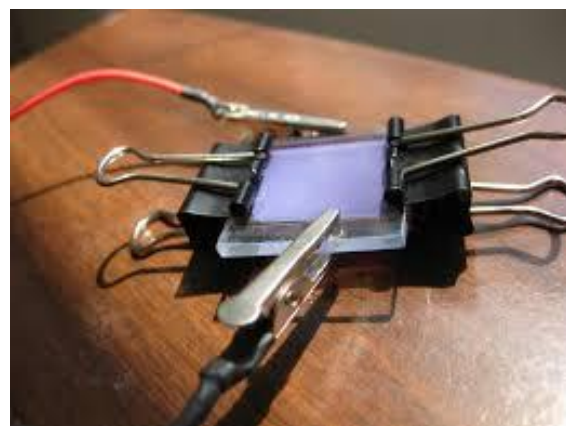


Gambar 2. Bagian konduktif pada kaca ITO untuk lapisan  $\text{TiO}_2$  dan grafit

Serbuk  $\text{TiO}_2$  sebanyak 0.5 g dimasukkan kedalam 100 mL gelas beaker. Larutan asam asetat 0.25 M 1 mL ditambahkan kedalam gelas beaker dan diaduk sampai rata. Pelapisan grafit pada kaca konduktif yang kedua diarsir menggunakan pensil 8B secara merata.

Kaca yang telah dideposisikan dengan pasta  $\text{TiO}_2$  dan dicelupkan kedalam larutan dye (buah naga dan mulberry) selama 2 jam kemudian dikeringkan. Setelah kering kaca tersebut disatukan dengan kaca yang telah dilapisi grafit dengan binder klip dikedua sisinya seperti pada Gambar 3.

Iodine diteteskan perlahan dari kedua sisi sampai menyerap merata pada sisi tengah kedua kaca konduktif. Iodide ini digunakan untuk mendonor elektron kepada dye yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron, kemudian dari siklus ini, secara langsung akan terjadi konversi cahaya matahari menjadi listrik.



Gambar 3. Fabrikasi DSSC

Tegangan rangkaian terbuka diukur dengan menggunakan multimeter digital selama 10 menit di bawah cahaya lampu 150 W.

### Hasil dan Pembahasan

Data hasil penelitian yang diperoleh yaitu pengukuran I-V dan daya yang diperoleh pada masing-masing sampel.

#### Karakterisasi I-V kaca ITO dengan deposisi pasta TiO<sub>2</sub>

Pada penelitian ini menggunakan film ITO dengan ketebalan yaitu  $1.0 \times 10^{-5}$  cm. Film ITO yang telah ditambahkan dengan lapisan TiO<sub>2</sub> memiliki ketebalan yaitu  $1.7 \times 10^{-3}$  cm. Dari hasil pengukuran arus dan tegangan dengan menggunakan multimeter digital, diperoleh nilai arus I dan tegangan V, sehingga resistansinya dapat dihitung  $R = V/I$ , sehingga diperoleh nilai resistansi pada Tabel 1.

Dari hasil di atas menunjukkan bahwa lapisan TiO<sub>2</sub> meningkatkan nilai resistansi, dengan meningkatnya nilai resistansi, maka sifat konduktivitas bahan akan menurun. Sebelum dideposisi TiO<sub>2</sub> film ITO bersifat konduktor, setelah dideposisi TiO<sub>2</sub> film tersebut bersifat semikonduktor seiring dengan meningkatnya ketebalan film. Investigasi selanjutnya dapat disebabkan karena kristalinitas, pengaruh dari batas butir (*grain boundaries*) dibutuhkan untuk penjelasan lebih lanjut.

Tabel 1. Ketebalan dan resistansi film ITO dan TiO<sub>2</sub>

Parameter	ITO tanpa TiO <sub>2</sub> film	ITO + TiO <sub>2</sub> film
Ketebalan ITO	0,05 cm (ketebalan ITO)	0,1 cm (ketebalan +TiO <sub>2</sub> )
Resistansi (V/I)	2.3 Ω	$1.5 \times 10^4$ Ω
Karakteristik	Konduktor	Semikonduktor

Konduktivitas listrik suatu larutan bergantung pada konsentrasi, jenis, dan pergerakan ion di dalam larutan. Ion yang mudah bergerak memiliki konduktivitas listrik yang besar. Aceton merupakan pelarut semi polar dan klorofil merupakan

molekul polar sehingga kepolaran sampel tersebut berkontribusi terhadap nilai konduktivitas listrik klorofil.

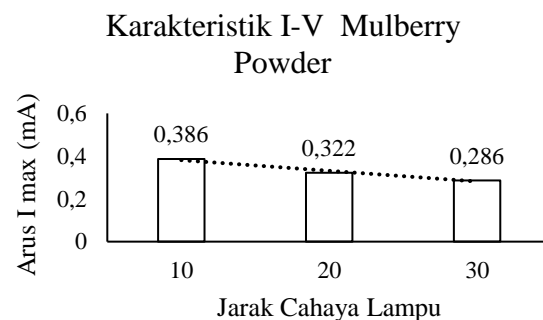
#### Karakterisasi I-V DSSC

Kinerja DSSC dihasilkan dari pengukuran arus dan tegangan dengan multimeter dalam keadaan disinari lampu halogen 150 watt dengan variasi jarak lampu terhadap sel sebesar 10 cm, 20 cm dan 30 cm masing-masing dengan intensitas 217 lux, 159 lux dan 64 lux. Hasil pengukuran karakteristik I-V DSSC ditunjukkan seperti pada Tabel 2 dan 3. Arus dan tegangan yang diperoleh untuk jarak 10 cm lebih besar dibandingkan dengan jarak 20 cm dan 30 cm. Hal ini disebabkan oleh intensitas cahaya lampu yang diterima semakin kecil pada jarak yang jauh terhadap DSSC sehingga nilai semakin kecil. Hal ini disebabkan perbedaan intensitas lampu halogen yang digunakan lebih besar sehingga cahaya yang diserap oleh molekul dye lebih banyak dan mempercepat transfer elektron pada elektroda TiO<sub>2</sub> yang pada akhirnya akan meningkatkan kinerja sel surya.

Tabel 2. Hasil pengukuran I-V DSSC *Mulberry Powder* dengan sumber cahaya lampu halogen 150 watt.

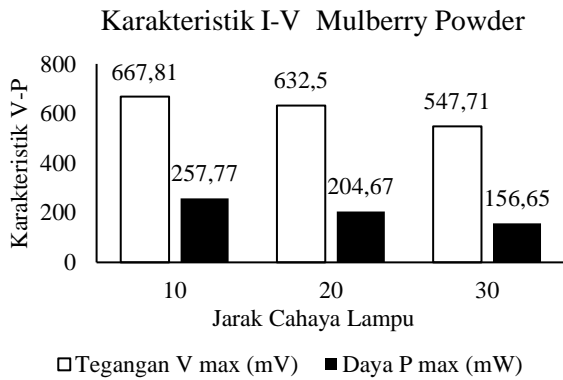
Karakteristik I-V	Jarak 10 cm	Jarak 20 cm	Jarak 30 cm
I max (mA)	0,386	0,322	0,286
V max (mV)	667,81	632,5	547,71
P max (mW)	257,77	204,67	156,65

Dari tabel 2 dapat kita baca bahwa semakin jauh jarak lampu maka arus, tegangan dan daya yang dihasilkan akan semakin kecil (Gambar 4).



Gambar 4. Grafik Arus (mA) yang dihasilkan DSSC *Mulberry Powder* dengan variasi cahaya.

Dari gambar 4, tampak bahwa semakin jauh jarak lampu terhadap sampel maka terlihat bahwa arus yang dihasilkan nilainya semakin kecil. Begitu juga dengan grafik tegangan dan daya pada gambar 5.

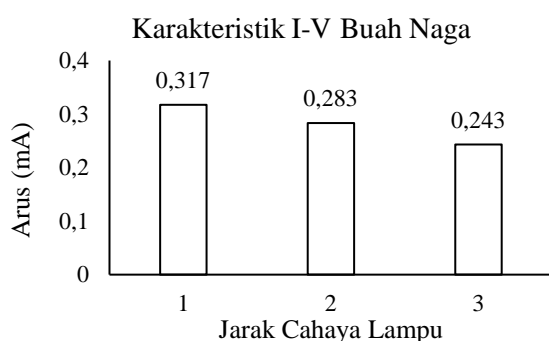


Gambar 5. Grafik Tegangan dan Daya yang dihasilkan DSSC Mulberry Powder dengan variasi cahaya.

Tabel 3. Hasil pengukuran I-V DSSC buah naga dengan sumber cahaya lampu halogen 150 watt.

Karakteristik I-V	Jarak 10 cm	Jarak 20 cm	Jarak 30 cm
I max (mA)	0,317	0,283	0,243
V max (mV)	512,14	498,53	431,11
P max (mW)	162,35	141,08	104,76

Dari data pada tabel 2 dan 3 dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak lampu halogen maka daya yang dihasilkan semakin kecil.

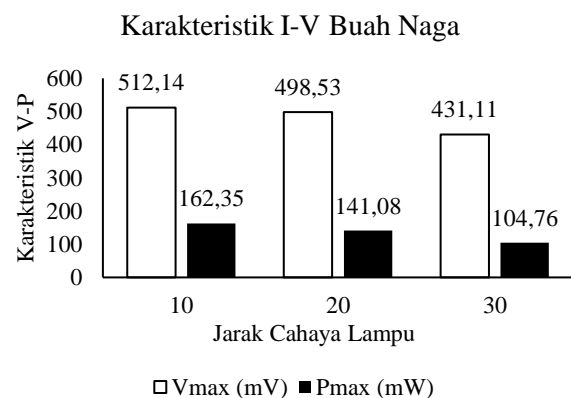


Gambar 6. Grafik Arus (mA) yang dihasilkan DSSC Buah Naga dengan variasi cahaya.

Dari gambar 6. tampak bahwa semakin jauh jarak lampu terhadap sampel maka terlihat bahwa arus yang dihasilkan nilainya semakin kecil. Begitu juga dengan grafik tegangan dan daya pada gambar 7. Hal ini disebabkan karena struktur material

pada DSSC pada buah naga menyerap cahaya yang masuk dan mengubahnya menjadi energi listrik.

Pada DSSC dengan dye mulberry powder diperoleh daya yang terbesar terdapat pada jarak lampu halogen 10 cm dengan daya sebesar 257,77 mW. Sedangkan pada DSSC dengan dye daging buah naga merah diperoleh daya yang terbesar 162,35 mW dengan jarak lampu halogen dari divais DSSC 10 cm.



Gambar 7. Grafik Tegangan dan Daya yang dihasilkan DSSC Buah Naga dengan variasi cahaya.

Hasil pengujian DSSC menggunakan mulberry powder dan buah naga tampak bahwa daya yang dihasilkan pada daun mulberry powder lebih tinggi dibandingkan dengan buah naga. Hal ini menunjukkan bahwa serapan cahaya pada mulberry powder yang berwarna hijau pekat lebih tinggi dibandingkan dengan ekstrak dari daging buah naga.

## Kesimpulan

Dari hasil data dan pembahasan yang telah diperoleh dapat disimpulkan bahwa Dye klorofil daun mulberry dan buah naga mampu sebagai fotosensitizer. Telah berhasil dibuat divais sel surya tipe DSSC menggunakan  $TiO_2$  sebagai bahan semikonduktor serta klorofil mulberry powder dan buah naga sebagai dye pada DSSC. Klorofil hasil isolasi telah dibuat dan mampu menjadi dye pada DSSC dengan uji kelistrikan pada kondisi terang dengan jarak 10 cm, 20 cm, dan 30 cm. Daya yang dihasilkan paling besar terdapat pada mulberry powder dan buah naga merah

dengan jarak lampu halogen 10 cm. Nilai resistansi film ITO semakin tinggi setelah dideposisikan dengan pasta TiO<sub>2</sub>. Hal ini dikarenakan pada DSSC terdapat TiO<sub>2</sub> yang merupakan bahan semikonduktor. Pengujian DSSC menggunakan mulberry powder dan buah naga tampak bahwa daya yang dihasilkan pada daun mulberry powder lebih tinggi dibandingkan dengan buah naga. Hal ini menunjukkan bahwa serapan cahaya pada mulberry powder yang berwarna hijau pekat lebih tinggi dibandingkan dengan ekstrak dari daging buah naga. Untuk melihat serapan cahaya pada kedua bahan dapat dilakukan pengujian karakteristik optik material untuk pengujian selanjutnya.

### Referensi

- [1] Supriyanto, A., dkk. 2014. *Fabriksi Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Menggunakan Ekstraksi Bahan-bahan Organik Alam Celosia Argentums dan Lagerstromia sp.* Universitas Sebelas Maret.
- [2] Andari, A. 2017. *Sintesis dan Karakterisasi Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) dengan Sensitizer Antosianin dari Bunga Rosella.* Jurnal Fisika Dan Aplikasinya. Vol 13. No 2.
- [3] Sasaki Shin-Ichi, dkk. 2008. *Syntesis, Modification, And Optical Properties Of C3-Ethynylated Chlorophyll Derivatives.* Tetrahedron Letters 49. Hal 4133-4115.
- [4] Salim, M. B., dan Rajabiah, N. 2019. *Analisis Kemampuan Panel Surya Monokristalin 150 Watt pada Arus dan Pengisian Daya yang Dihasilkan.* JIPFRI, Vol. 3 No. 1. Hal 29-35.
- [5] Fonash, S. J. (2010). *Solar Cell Device Physics Secon Edition.* USA: Academic press is an imprint of Elsevier.
- [6] Gratzel, M. 2003. *Dye-Sensitized Solar Cell. Journal of Photochemistry and Photobiology C:Photochemistry Reviews* 4 hal 145-153.
- [7] Wang Song, dkk. 2007. *TiO<sub>2</sub> films prepared by micro-plasma oxidation method for dye-sensitized solar cell.* Electrochimia Acta 53. Hal 1883-1889.
- [8] Wongcharee K., 2006. *Dye-Sensitized Solar Cell using natural dyes extracted from rosella and blue pea flowers.* Elsevier. J.solmat. 11.005.
- [9] L. Rudawin, N. Rajabiah and D. Irawan, “Analisa Sistem Kerja Photovoltaic Berdasarkan Sudut Kemiringan Menggunakan Monocrystalline dan Polycrystallinel,” TURBO, vol. 9, no. 1, pp. 129–137, 2020.
- [10] N. Rajabiah, dan T. C. Wahyudi. 2022. *Kajian sifat listrik bayam merah dan daun kelor sebagai fotosensitizer pada DSSC solar cell.* TURBO Vol. 11 No. 1. Hal 153-158.