

Performa Kelistrikan DSSC dari Dye Daun Bungur (*Lagerstroemis speciosa*) dengan Variasi Konsentrasi Dye

DSSC's Electrical Performance from Dye of Bungur Leaf (*Lagerstroemis speciosa*) with Varied Dye Concentration

Gusniar Paulin Ariyani^{1*)}, Haisen Hower¹, Tamrin Tamrin¹, Filli Pratama¹
¹Universitas Sriwijaya, Ogan Ilir 30862, Indralaya, Sumatera Selatan, Indonesia
^{*)}Penulis untuk korespondensi: gusniarpaulina@gmail.com

Sitasi: Ariyani GP, Hower H, Tamrin T, Pratama F. 2022. DSSC's electrical performance from dye of bungur leaf (*lagerstroemis speciosa*) with varied dye concentration. In: Herlinda S et al. (Eds.), Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-10 Tahun 2022, Palembang 27 Oktober 2022. pp. 105-112. Palembang: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI).

ABSTRACT

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) can convert solar energy into electrical energy using organic matter (dye) as a sensitizer, but it necessary to innovate on dye so that resulting efficiency is optimal. The purpose of this research was to determine the electrical performance of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) with varied dye concentrations of Bungur Leaf Extract (*Lagerstroemis speciosa*). The research methods included the preparation of the DSSC structure, the preparation and assembly of the DSSC, and DSSC analysis. The chlorophyll content in the leaves of Bungur was calculated based on the absorbance characteristics at wavelengths of 649 nm and 665 nm. The results of the measurement of chlorophyll levels in Bungur leaves were directly proportional to the addition of concentration. The higher the solvent concentration, the more chlorophyll would bind dye. At concentrations of 2% to 8%, the efficiency increased with the values respectively 0.0018%, 0.0047%, 0.0054%, and 0.0114%. Afterwards, at the highest concentration of 10%, the efficiency decreased by 0.0050%. The chlorophyll content in the leaf dye affected the performance of DSSC at a certain concentration limit which was due to the accumulation of dye molecules in the TiO₂ pores.

Keywords: DSSC, chlorophyll content, dye concentration, efficiency

ABSTRAK

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik menggunakan bahan organik (*dye*) sebagai sensitizer, namun perlu dilakukan inovasi pada dye agar efisiensi yang dihasilkan optimal. Adapun tujuan dari penelitian ini untuk mempelajari performa kinerja kelistrikan *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* dengan variasi konsentrasi dye ekstrak daun bungur (*Lagerstroemis speciosa*). Metode penelitian yang digunakan diantaranya persiapan struktur *DSSC*, penyusunan dan perangkaian *DSSC*, dan pengujian *DSSC*. Kandungan Klorofil pada daun bungur juga dihitung berdasarkan karakteristik absorbansi pada panjang gelombang 649 nm dan 665 nm. Hasil pengukuran kadar klorofil daun bungur berbanding lurus dengan penambahan konsentrasi, karena semakin tinggi konsentrasi pelarut maka akan mengikat lebih banyak klorofil pada larutan *dye*. Pada konsentrasi 2 % sampai 8%, efisiensi mengalami peningkatan dengan nilai secara berurutan adalah 0,0018 %, 0,0047 %, 0,0054%, dan 0,0114%. Kemudian pada konsentrasi tertinggi 10%, efisiensi mengalami penurunan yaitu 0,0050%. Kadar klorofil

Editor: Siti Herlinda et. al.

ISSN: 2963-6051 (print)

Penerbit: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)

pada *dye* daun bungur berpengaruh terhadap performa DSSC pada batas konsentrasi tertentu. Hal tersebut karena pengumpulan molekul *dye* pada pori TiO₂.

Kata kunci: *DSSC*, efisiensi, kadar klorofil, konsentrasi *dye*

PENDAHULUAN

Penggunaan energi yang berasal dari matahari merupakan alternatif sumber energi yang paling potensial. Hal ini disebabkan karena Indonesia mempunyai potensi energi matahari yang cukup besar. Sel surya menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang dapat memecahkan masalah ketersediaan energi. Sel surya merupakan perangkat yang dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik (Safriani *et al.*, 2020).

Sel surya mulai dikembangkan untuk mencapai efisiensi dan harga produksi yang terjangkau. Sel surya sudah mengalami tahap pengembangan dari generasi sel surya silikon hingga sel surya berbasis *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* (Nadeak dan Susanti, 2012). *DSSC* adalah sel surya generasi ketiga yang dikembangkan pada tahun 1991 oleh Michael Gratzel. *DSSC* berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik menggunakan bahan organik (*dye*) sebagai sensitizer. *DSSC* terdiri dari kaca substrat yaitu TCO (*Tin Conductive Oxide*) sebagai lapisan semikonduktor, *dye* sebagai penyerap cahaya, larutan elektrolit sebagai wadah untuk reaksi redoks, dan lapisan karbon sebagai katalis mempercepat reaksi (Musaffa, 2018). *DSSC* memiliki keunggulan dibandingkan sel surya jenis lain, yaitu biaya produksi yang rendah dan tidak membutuhkan bahan dengan kemurnian tinggi (Andari, 2017).

Bagian tanaman seperti daun, biji, buah, batang, dan akar dapat dijadikan *dye* pada *DSSC* karena bahan tersebut melimpah di alam dan ramah lingkungan (Kimpa, *et al.*, 2012). *Sensitizer* dalam *DSSC* meliputi pigmen klorofil, beta-karoten, antosianin, dan tanin yang semuanya terdapat pada tumbuhan. Curcumin adalah bahan pewarna lain yang bisa digunakan (Dahlan, *et al.*, 2016).

Bungur dapat tumbuh didaerah gersang maupun yang tergenang oleh air, sehingga tumbuhan bungur banyak ditemukan di daerah manapun (Ekayanti, *et al.*, 2012). Bungur mengandung senyawa saponin, flavonoid, dan alkaloid (Mochtar, 2016). Pada daun bungur terdapat pigmen klorofil yang dapat dijadikan sebagai *dye* dalam pembuatan *DSSC*. Klorofil sebagai fotosensitizer menjadi zat warna utama yang efektif pada proses fotosintesis. Puncak absorbansi klorofil yaitu 420 nm dan 660 nm pada spektrum cahaya tampak (Ahiha, *et al.*, 2018).

Pembuatan *dye* bubuk dilakukan menggunakan metode *foam-mat drying*. *Foam mat drying* merupakan teknik pengeringan larutan ekstrak dengan menambahkan zat pembuih pada teknik pembusaan. Pengeringan bahan menggunakan teknik ini memiliki keunggulan yaitu jaringan sel yang terkandung pada bahan tidak rusak karena dilakukan pada suhu yang rendah, proses penguapan pada air yang cepat, dan memperluas area interface karena adanya bahan pengisi (Asiah, *et al.*, 2012). Rendemen pigmen pada bahan yang di ekstrak lebih tinggi menggunakan metode maserasi dibanding soxhletasi (Anggistia *et al.*, 2016).

Performa *DSSC* juga dapat dipengaruhi oleh proses ekstraksi dan konsentrasi *dye*. Maserasi adalah proses di mana pelarut digunakan untuk mengekstrak bahan aktif dari produk yang diproses. Metode ini dapat menghasilkan stabilitas zat warna yang tinggi jika sifat bahan yang akan diekstrak sesuai dengan metode maserasi (Efelina, *et al.*, 2020).

Penambahan konsentrasi menyebabkan efisiensi *DSSC* semakin tinggi karena arus yang dihasilkan semakin meningkat. Dengan ditambahkan kepekatan larutan *dye* (konsentrasi), maka elektron yang dihasilkan oleh molekul *dye* juga akan semakin banyak. Aliran muatan yang dihasilkan elektron akan menimbulkan arus listrik (Hardani, *et al.*, 2016). Konsentrasi

yang semakin tinggi akan membentuk ikatan antara *dye* dan TiO_2 semakin kuat. Efisiensi *DSSC* dipengaruhi oleh ikatan *dye* dan TiO_2 , sehingga konsentrasi *dye* berpengaruh terhadap efisiensi *DSSC* (Setiawan, *et al.*, 2015). Hardani, *et al.* (2016) dengan menggunakan variasi konsentrasi *dye* 0,1%, 0,5%, dan 1%, hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi *dye* meningkatkan nilai arus secara linear. Nilai arus yang dihasilkan *dye* meningkat secara linier ketika nilai tegangan bertambah. Efisiensi terus meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi, dengan hasil konsentrasi *dye* 1% menunjukkan konsentrasi dengan efisiensi tertinggi sebesar 0,298%.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penelitian ini dilakukan pengekstrakan daun bungur menggunakan metode maserasi dengan suhu dan lama waktu ekstraksi yang sama setiap perlakuan, kemudian dilakukan pengeringan terhadap ekstrak daun bungur menggunakan metode *foam-mat drying* untuk mendapatkan *dye* bubuk ekstrak daun bungur. Adapun pengaplikasiannya terhadap *DSSC* maka akan dilakukan variasi perlakuan konsentrasi *dye* sehingga diperoleh performa terbaik *DSSC* pada tingkat konsentrasi *dye* tertentu. Tujuan dari penelitian ini untuk mempelajari performa kinerja kelistrikan *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* dengan variasi konsentrasi *dye* ekstrak daun bungur (*Lagerstroemis speciosa*).

BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: 1) Alat suntik ukuran 6 mL, 2) Amperemeter, 3) Batang pengaduk kaca, 4) *Blender*, 5) *Bread board*, 6) Botol kaca, 7) Cawan petri, 8) *Cotton bud*, 9) *Cutter glass*, 10) Erlenmeyer 100 mL dan 500 mL, 11) Filtrasi vakum, 12) Gelas ukur 10 mL, 13) Gelas *Beaker* 20 mL dan 50 mL, 14) Gunting, 15) *Hair dryer*, 16) *Hand mixer*, 17) Kaca *Transparent Conductive Oxide (TCO)*, 18) Kertas aluminium foil, 19) Kertas saring, 20) Kabel jumper, 21) Klip *binder* no. 105, 22) Lampu halogen Halopika 50 Watt, 23) Lumpang porselen, 24) *Luxmeter* HS-1010, 25) *Magnetic stirrer*, 26) Mistar, 27) Multimeter digital DT-830B, 28) Neraca digital Ohaus, 29) *Oven Furnace*, 30) *Oven Memmert*, 31) Penjepit kabel jumper, 32) Pinset, 33) Potensiometer 500 k Ω , 34) Refrigerator, 35) Spatula besi, 36) Spektrofotometer UV-Vis, 37) Statip 38) Stoples, 39) *Stopwatch analog*, 40) *Voltmeter*, dan 41) *Wattmeter*

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: 1) Aquadest, 2) Daun bungur, 3) Dextrin, 4) Iodin 0,1 N, 5) Jelaga lilin, 6) Kaca *Transparent Conductive Oxide (TCO)*, 7) Methanol, 8) Putih telur, dan 9) Bubuk titanium dioksida (TiO_2).

Pembuatan dan Pengujian *Dye Sensitized Solar Cell*

Pada proses persiapan struktur, penyusunan, dan perangkaian *DSSC* memiliki beberapa tahapan diantaranya adalah : (1) Alat dan bahan untuk fabrikasi *dye sensitized solar cell* disiapkan. (2) Daun bungur dihaluskan dan direndam menggunakan aquades selama 24 jam pada suhu ruang dengan perbandingan antara bahan dan pelarut adalah 1 : 2 gram. Campuran bahan tersebut kemudian disaring. Selanjutnya proses pengeringan bahan dengan metode *foam-mat drying* dengan menambahkan dextrin dan putih telur dengan perbandingan 10% : 2% pada larutan ekstrak daun bungur. Kemudian larutan tersebut diaduk menggunakan *hand mixer* hingga berbuih. Kemudian buih tersebut dioven selama 24 jam pada suhu 45°C. Setelah dioven, buih dikikis hingga berbentuk bubuk dan disimpan. (3) Kaca *TCO* dipotong menggunakan *cutter glass* berukuran 25 mm x 25 mm x 1,13 mm, lalu direkatkan 4 lapisan selotip pada kaca yang akan digunakan sebagai elektroda kerja, perekatan berukuran 0,15 cm disisi kanan dan sisi kiri serta 0,3 cm disisi bawah sebagai

Editor: Siti Herlinda et. al.

ISSN: 2963-6051 (print)

Penerbit: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)

celah offset. 3) Bubuk TiO₂ dicampurkan dengan methanol dengan perbandingan 1:2 dan diaduk hingga membentuk pasta, kemudian pasta TiO₂ dilapiskan pada kaca TCO secara merata. Kemudian dipanaskan di oven furnace pada suhu 400°C selama 1 jam. (4) Pembuatan larutan konsentrasi dye daun bungur dilarutkan menggunakan methanol dengan konsentrasi 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10%. Kemudian elektroda kerja yang dilapisi TiO₂ direndam pada larutan konsentrasi dye selama 24 jam. (5) Pembuatan elektroda pembanding menggunakan jelaga lilin dengan ukuran yang sama dengan elektroda kerja. (6) Tumpuk elektroda kerja dan pembanding secara berhadapan, menghasilkan dua area offset untuk dihubungkan dengan load. Kemudian jepit dua lapisan tersebut dengan klip binder ukuran 105.

Pada DSSC yang telah dirangkai dilakukan pengujian yaitu pengujian langsung tegangan dan arus dengan menggunakan multimeter digital. Sebelumnya DSSC ditetesi dengan elektrolit yaitu iodin sebanyak 0,5 ml. Sumber cahaya yang digunakan yaitu lampu halogen dengan jarak 10 cm dengan DSSC.

Kandungan Klorofil Daun Bungur

Kandungan klorofil pada daun bungur dapat dihitung dengan menggunakan rumus perhitungan metode Wintermans dan De Mots seperti pada penelitian Rakhman *et al.*, (2014) sesuai Persamaan (1) dan (2).

$$\text{Klorofil a} = (13,7 \times A_{665}) - (5,76 \times A_{649}) \dots\dots(1)$$

$$\text{Klorofil b} = (25,8 \times A_{649}) - (7,60 \times A_{665}) \dots\dots(2)$$

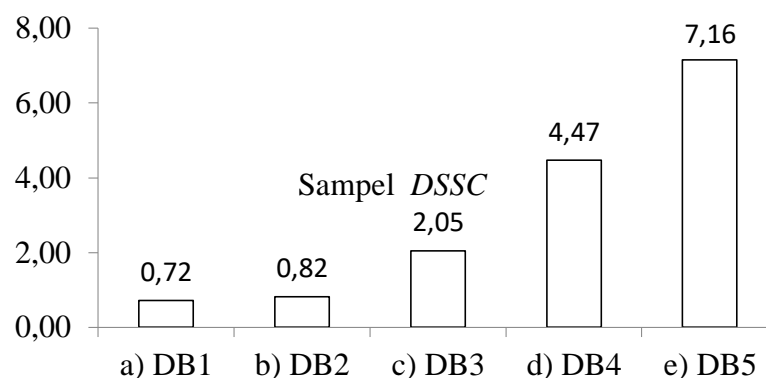
Jumlah kandungan klorofil total dihitung dengan metode yang sama seperti pada penelitian Rakhman *et al.*, (2014) sesuai pada Persamaan (3).

$$\text{Klorofil Total} = (20,0 \times A_{649}) + (6,10 \times A_{665}) \dots\dots(3)$$

HASIL

Kadar Klorofil Dye Ekstrak Daun Bungur

Kandungan klorofil yang terdapat didalam daun bungur akan diukur berdasarkan data absorbansi pada dye. Karena hasil pengujian tersebut digunakan untuk menghitung kandungan klorofil pada setiap konsentrasi, maka data absorbansi yang dikumpulkan dalam penelitian ini berada pada rentang panjang gelombang cahaya tampak yaitu 649 nm dan 665 nm.



Gambar 1. Grafik kadar klorofil total dye daun bungur, a) konsentrasi 2%, b) konsentrasi 4%, c) konsentrasi 6%, d) konsentrasi 8%, e) konsentrasi 10%

Hasil Pengukuran DSSC

Sampel DSSC dilakukan pengukuran arus dan tegangan pada daun bungur dengan 5 sampel, masing-masing memiliki variasi konsentrasi *dye* yang berbeda yaitu konsentrasi 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10%. Berdasarkan data arus dan tegangan yang dihasilkan, didapat pula nilai karakteristik kelistrikan lainnya diantaranya : 1) nilai *current short circuit* (I_{sc}), 2) nilai *voltage open circuit* (V_{oc}), 3) nilai *current maximum* (I_{max}), 4) nilai *voltage maximum* (V_{max}), 5) nilai faktor pengisian (*Fill Factor*), 6) nilai *power maximum* (P_{max}), dan 7) nilai efisiensi DSSC. Data tersebut dalam masing-masing sampel DSSC disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai karakteristik kelistrikan DSSC dengan variasi konsentrasi *dye* daun bungur

DSSC	Data Hasil Pengukuran dan Pengolahan Data							
	Voc (V)	Isc (mA)	Vmax (V)	Imax (mA)	Pinput (mW)	FF	Poutput (mW)	Efisiensi (%)
DB1	0,275	0,0054	0,217	0,0025	31,0	0,3653	0,0005	0,0018
DB2	0,388	0,0087	0,275	0,0055	32,0	0,4481	0,0015	0,0047
DB3	0,412	0,0068	0,289	0,0059	31,3	0,6086	0,0017	0,0054
DB4	0,556	0,0114	0,440	0,0085	32,9	0,5901	0,0037	0,0114
DB5	0,477	0,0058	0,392	0,0042	32,8	0,5951	0,0017	0,0050

PEMBAHASAN

Kadar Klorofil Daun Bungur

Berdasarkan data hasil pengukuran kadar klorofil daun bungur pada Gambar 1. menunjukkan bahwa kandungan kadar klorofil pada daun bungur terus meningkat seiring dengan tingginya konsentrasi sampel daun bungur. Larutan dengan konsentrasi yang semakin pekat maka semakin banyak pula kandungan zat terlarut di dalamnya, sedangkan pada larutan dengan konsentrasi yang rendah maka zat terlarut yang terkandung lebih sedikit. Kadar klorofil total daun bungur tertinggi terdapat pada sampel DB5 konsentrasi 10% yaitu sebesar 7,16 mg/L. Adapun nilai kadar klorofil total daun bungur terendah terdapat pada sampel DB1 konsentrasi 2% yaitu sebesar 0,72 mg/L.

Tingkat kepekatan larutan mempengaruhi zat terlarut (*dye*), hal ini sesuai dengan hasil pengukuran kadar klorofil daun bungur dimana peningkatan kadar klorofil berbanding lurus dengan penambahan konsentrasi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rakhman, *et al.* (2014) menggunakan *dye* ekstrak daun pepaya dengan variasi konsentrasi pelarut *ethanol* 70%, 80%, dan 98%, hasil menunjukkan bahwa kadar klorofil tertinggi yaitu pada konsentrasi 98% sebesar 80,076 mg/L, karena semakin tinggi konsentrasi pelarut maka pelarut tersebut akan semakin polar sehingga akan mengikat lebih banyak klorofil pada zat terlarut (*dye*).

Jenis pelarut *dye* berpengaruh terhadap kadar klorofil, jika bahan yang diekstrak memiliki pelarut dengan kepolaran yang sama maka pelarut tersebut akan melarutkan bahan dengan baik. Metanol merupakan pelarut ekstraksi pada penelitian ini. Pada penelitian Fitria *et al.* (2016), menggunakan *dye* buah senduduk menunjukkan penggunaan pelarut *methanol* menghasilkan nilai tegangan yang lebih tinggi dibanding pelarut *ethanol*. Hal tersebut disebabkan pelarut *methanol* lebih polar dibanding *ethanol* sehingga lebih baik untuk melarutkan pigmen antosianin, sehingga penyerapan foton atau cahaya pada *dye* meningkat dan menghasilkan tegangan yang tinggi.

Efisiensi Daun Bungur

Konsentrasi larutan *dye* mempengaruhi efisiensi. Larutan yang semakin pekat akan menghasilkan tegangan yang semakin tinggi pula. Semakin tinggi kepekatan larutan *dye*, maka cahaya yang diserap akan semakin banyak karena kemampuan *dye* semakin meningkat. Hal tersebut menyebabkan kemampuan sel surya dalam mengkonversikan menjadi energi listrik meningkat karena foton yang tereksitasi semakin banyak (Fitria, *et al.*, 2016). DSSC daun bungur yang mengandung klorofil akan melekat di permukaan partikel TiO₂ dan menyerap energi foton sehingga elektron dari *dye* mendapatkan energi untuk tereksitasi dan mampu menghasilkan arus (Alimuddin, 2016).

Pada efisiensi sampel DSSC, penambahan konsentrasi *dye* menyebabkan efisiensi semakin meningkat, namun pada batas konsentrasi tertentu pula nilai efisiensi menurun. Hubungan antara konsentrasi terhadap nilai efisiensi bersifat linear sampai batas konsentrasi tertentu. Secara keseluruhan nilai karakteristik kelistrikan dan efisiensi sampel DSSC daun bungur berdasarkan variasi konsentrasi pelarut *dye* dapat dilihat pada Tabel 1. Pada konsentrasi 2 % sampai 8%, efisiensi mengalami peningkatan dengan nilai secara berurutan adalah 0,0018 %, 0,0047 %, 0,0054%, dan 0,0114%. Kemudian pada konsentrasi tertinggi 10%, efisiensi mengalami penurunan yaitu 0,0050%.

Hasil ini dapat dijelaskan sesuai dengan penelitian oleh Arifin *et al.* (2017), dengan pengendapan zat warna klorofil daun pepaya pada elektroda TiO₂. Karena fenomena ini, beberapa pelarutan TiO₂ oleh gugus karboksilat asam pewarna dapat terjadi. Ion Ti⁺ yang dihasilkan membentuk kompleks yang tidak larut dengan pewarna klorofil, menyebabkan pengendapan kompleks ini di pori-pori film. Hal ini menimbulkan molekul pewarna tidak aktif pada permukaan TiO₂.

Penelitian oleh Salafudin, *et al.* (2017), dengan perlakuan variasi konsentrasi *dye* bunga mawar menggunakan pelarut metanol menunjukkan bahwa nilai efisiensi terus meningkat dari konsentrasi *dye* 10% hingga mencapai puncak efisiensi tertinggi pada 50%, kemudian mengalami penurunan nilai efisiensi pada konsentrasi *dye* 70% karena molekul zat warna pada lapisan TiO₂ tidak teradsorpsi secara maksimal, kemudian kembali mengalami kenaikan nilai efisiensi pada konsentrasi 90% dan 100%. Variasi konsentrasi *dye* pada setiap sampel berpengaruh terhadap efisiensi, hal ini karena konsentrasi *dye* berpengaruh terhadap jumlah molekul *dye*. Lapisan TiO₂ yang direndam oleh larutan *dye* akan teradsorpsi pada lapisan pori, sehingga berpengaruh terhadap banyaknya elektron yang akan diinjeksikan ke TiO₂.

Sehingga, terjadinya penurunan efisiensi pada konsentrasi 10% ini diakibatkan karena *agregation* (molekul *dye* yang saling berkumpul) di pori TiO₂. Kemampuan TiO₂ tidak sesuai dengan banyaknya molekul pada larutan *dye*, sehingga terjadi pengendapan elektron *dye*. Rusdiana (2014) menyatakan perbedaan konsentrasi *dye* yang diberikan mempengaruhi jumlah *dye* yang teradsorpsi pada pori TiO₂, sehingga terjadi perubahan jumlah elektron yang diinjeksikan ke pita konduksi TiO₂.

KESIMPULAN

Kadar Klorofil daun bungur berbanding lurus dengan peningkatan konsentrasi, karena semakin tinggi konsentrasi pelarut maka pelarut tersebut akan semakin polar sehingga akan mengikat lebih banyak klorofil pada zat terlarut (*dye*). Kadar klorofil pada *dye* daun bungur berpengaruh terhadap performa DSSC pada batas konsentrasi tertentu. Efisiensi mengalami peningkatan dari konsentrasi 2% hingga 8%, dan terjadi penurunan pada konsentrasi 10%. Hal tersebut karena akumulasi molekul *dye* pada pori TiO₂.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Tamrin, M. Si. dan Ibu Prof. Ir. Filli Pratama, M. Sc. (Hons), Ph.D. atas segala arahan dan masukan dalam meninjau perkembangan penulisan, serta Bapak Ir. Haisen Hower, M.P. selaku dosen pembimbing serta kedua orang tua atas segala nasihat dan doa-doanya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahiha AH, Fahru N, Agus S. 2018. Kajian pH Klorofil terhadap Ikatan Kimia Dye pada TiO_2 sebagai Aplikasi *Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 14: 16-19.
- Andari, Rafika. 2017. Sintesis dan Karakterisasi *Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)* dengan *Sensitizer* Antosianin dari Bunga Rosella (*Hibiscus sabdariffa*). *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 1: 140-150.
- Alimuddin A. 2016. Perbandingan Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* dari Ekstrak Daun Pacar Air, Bunga Pacar Air Merah dan Ungu (*Impatiens balsamina Linn*) Sebagai *Dye Sensitizer* [Skripsi]. Makassar: Universitas Islam Negeri Alauddin.
- Andari, Rafika. 2017. Sintesis dan Karakterisasi *Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)* dengan *Sensitizer* Antosianin dari Bunga Rosella (*Hibiscus sabdariffa*). *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 1: 140-150.
- Anggista, Widiyandari, Anam. 2016. Identifikasi dan Kuantifikasi Antosianin dari Fraksi Bunga Rosella (*Hibiscus Sabdariffa L*) dan Pemanfaatannya sebagai Zat Warna *Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 19: 50-57.
- Arifin Z, Soeparman, Widhiyanuriyawan D, Suyitno S. 2017. *Performance Enhancement of Dye-Sensitized Solar Cells Using a Natural Sensitizer*. *International Journal of Photoenergy*. 1788: 1-5.
- Asiah N, Rangkum S, Prasetyaningrum A. 2012. Aplikasi Metode *Foam-Mat Drying* pada Proses Pengeringan Spirulina. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. 1: 461-67.
- Dahlan, Leng, Aziz. 2016. *Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)* dengan *Sensitiser Dye* Alami Daun Pandan, Akar Kunyit dan Biji Beras Merah (*Black Rice*). *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)*. 8 (1):1-8.
- Efelina V, Endah P, Farradina CS, Arnisa S, Reni R.. 2020. Karakterisasi Optik Ekstrak Bayam Merah (*Red Amaranth*) Untuk Aplikasi *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*. *Jurnal Teknologika*. 10:1-3.
- Ekayanti, Tania W, Bragastio, Abi NW. 2012. Pengaruh Ekstrak Daun Bungur (*Lagerstroemia speciosa*) Terhadap Penurunan Kadar Glukosa Darah pada Tikus Putih Strain Wistar. *Ejournal UMM*. 8: 43-46.
- Fitria A, Amun A, Ahmad F. 2016. Pembuatan Prototip *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* Menggunakan *Dye* Ekstrak Buah Senduduk (*Melastoma Malabathricum L*) dengan Variasi Fraksi Pelarut dan Lama Perendaman Coating TiO_2 . *Jom FTEKNIK*. 3: 1-9.
- Hardani M, Darmawan I, Cari, Agus S. 2016. Pengaruh Konsentrasi Ruthenium (N719) sebagai Fotosensitizer dalam *Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC)* Transparan. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 12: 104-108.
- Kimpa IM, Musa M, Kasim UI, Hassan NY, Muhammad M. 2012. *Photoelectric Characterization of Dye Sensitized Solar Cells Using Natural Dye from Pawpaw Leaf and Flame Tree Flower as Sensitizers*. *Materials Sciences and Applications*. 3:281–286.

- Mochtar F. 2016. Ekstrak Daun Bungur (*Lagerstronemia species*) Memperbaiki Profil Lipid Tikus Wistar Jantan Dislipidemia. [Tesis]. Bali: Universitas Udayana.
- Mussaffa QS. 2018. Uji Performansi DSSC Dengan Variasi Dye Dan Katalis. *Jurnal STATOR*. 1: 124-127.
- Nadeak MR, Susanti S. 2012. Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Kalsinasi terhadap Unjuk Kerja Semikonduktor TiO₂ sebagai *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* dengan Dye dari Ekstrak Buah Naga Merah. *Jurnal Teknik ITS*. 1: 81-86.
- Rakhman DF, Pramono SH, Maulana E. 2014. Pengaruh Variasi Konsentrasi Klorofil Terhadap Daya Keluaran *Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*. *Jurnal Mahasiswa TEUB*. 2: 1-9.
- Rusdiana D. 2014. Pembuatan Sel Surya TiO₂ Nanokristal Berbahan Dasar *Anthocyanin* sebagai Material Dye. Di dalam: Widodo et al. (eds), *Peran Fisika Dalam Mendukung Pembangunan Berkelanjutan. Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HIF JATENG & DIY*; Yogyakarta, 26 April 2014. Yogyakarta : HFI. p. 81-83.
- Safriani L, Winna PP, Euis SN, Cukup M, Annisa A. 2020. Pengaruh Penambahan Material Spiro-TAD dan Spiro-TPD Sebagai *Hole Transport Material* pada Karakteristik DSSC. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*. 4: 79-85.
- Setiawan A, Fatayati L, Aliah H. 2015. Pengaruh Konsentrasi Ekstrak Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus costaricensis*) Terhadap Efisiensi DSSC. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*. 11:1-7.