

Evaluasi Performa *Dye Sensitized Solar Cell* dengan Penambahan Gum Xhantan pada Larutan Elektrolit

Evaluation of Electrical Performance of Dye Sensitized Solar Cell with the addition of Xhantan Gum in Electrolyte

Imes Suci Ramadhani ^{*)}, Tamrin Tamrin, Filli Pratama
Program Studi Teknik Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian
Universitas Sriwijaya, Indralaya 30662, Sumatera Selatan, Indonesia
^{*)}Penulis untuk korespondensi: imessuci4@gmail.com

Sitasi: Ramadhani, I. S., Tamrin, T., & Pratama, F. (2023). Evaluation of electrical performance of dye sensitized solar cell with the addition of xhantan gum in electrolyte. *In: Herlinda S et al. (Eds.), Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-11 Tahun 2023, Palembang 21 Oktober 2023.* (pp. 88–103). Palembang: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI).

ABSTRACT

Dye Sensitized Solar Cell is a set of photoelectrochemical-based solar cells that can convert solar energy into electrical energy by utilizing plant-derived dyes as a sensitizer. The factor that can affect the performance of a DSSC is the electrolyte solution. Electrolyte solution with the addition of a thickening agent can overcome the evaporation of the electrolyte solution. The electrolyte solution used in this study was iodine with a concentration of 0.1 N and added thickening agents, namely Xhantan gum. This study aimed to determine the performance of DSSC with water hyacinth leaf extract as a light sensitizer with the addition of Xhantan gum. This study consisted of three stages, namely DSSC structure, arrangement and assembly of DSSC layers, and measurement of DSSC. The TCO glass used has a resistance between 0.9 Ω to 15.1 Ω DSSC. The concentration of thickening agent in the electrolyte solution were 1%, 3%, 5% and a control sample without thickening agent. The parameters observed in this study were calculation of chlorophyll content with absorbance measured at 649 nm and 665 nm, current and voltage characteristics, power, fill factor, and DSSC efficiency. The best DSSC performance using water hyacinth dye with the addition of a thickening agent of 3% Xhantan gum electrolyte solution. The electrical characteristics generated in the sample were I_{sc} : 0.0138 mA, V_{oc} : 0.743 mV, I_{max} : 0.0103 mA, V_{max} : 0.519 mV, P_{max} : 0.00535 mW, FF: 0.5214, and an efficiency of 0, 0185%. The chlorophyll level produced by chlorophyll dye is 36.3713 mg/L. Chlorophyll is a dye with the ability to absorb light and donate electrons. The electrolyte solution in DSSC has an effect on increasing DSSC performance at a concentration of 3%, but at a concentration of 5% DSSC performance decreases due to the low current originating from a large charge concentration, especially in an electrolyte solution that is too thick.

Keywords: DSSC, electrolyte solution, gum arabic, gum concentration, performance, xhantan gum

ABSTRAK

Dye Sensitized Solar Cell merupakan seperangkat sel surya berbasis fotoelektrokimia yang dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik dengan memanfaatkan zat warna yang berasal dari tumbuhan sebagai *sensitizer*. Faktor yang dapat mempengaruhi performa suatu *DSSC* adalah larutan elektrolit. Larutan elektrolit dengan penambahan

Editor: Siti Herlinda et. al.

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

Penerbit: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)

bahan pengental dapat mengatasi terjadinya penguapan pada larutan elektrolit. Larutan elektrolit yang digunakan pada penelitian ini adalah iodine dengan konsentrasi 0,1 N dan ditambahkan bahan pengental yakni gum Xhantan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari serta mengetahui evaluasi performa dye sensitized solar cell dengan penambahan gum xhantan pada larutan elektrolit. Penelitian ini terdiri atas tiga tahapan yaitu persiapan struktur DSSC, penyusunan dan perangkaian lapisan DSSC, dan pengukuran DSSC. Kaca TCO yang digunakan memiliki resistensi antara 0,9 k Ω sampai dengan 15,1 k Ω DSSC. Variasi konsentrasi bahan pengental pada larutan elektrolit yaitu 1%, 3%, 5% dan sampel kontrol tanpa bahan pengental. Parameter yang diamati pada penelitian ini adalah perhitungan kadar klorofil dengan data absorbansi dititik 649 nm dan 665 nm, karakteristik arus dan tegangan, perhitungan daya, *fill factor*, dan efisiensi DSSC. Performa DSSC terbaik menggunakan dye eceng gondok dengan penambahan bahan pengental pada larutan elektrolit gum Xhantan adalah dengan konsentrasi bahan pengental 3%. Karakter kelistrikan yang dihasilkan pada sampel tersebut adalah I_{sc} : 0,0138 mA, V_{oc} : 0,743 mV, I_{max} : 0,0103 mA, V_{max} : 0,519 mV, P_{max} : 0,00535 mW, FF: 0,5214, dan efisiensi sebesar 0,0185%. Kadar klorofil yang dihasilkan oleh dye klorofil yakni 36,3713 mg/L. Klorofil merupakan dye dengan kemampuan zat warna untuk menyerap cahaya dan mendonorkan electron. Larutan elektrolit pada DSSC berpengaruh terhadap peningkatan performa DSSC pada konsentrasi 3% namun pada konsentrasi 5% mengalami penurunan performa DSSC akibat arus rendah berasal dari konsentrasi muatan yang besar, terutama pada larutan elektrolit yang terlalu kental.

Kata kunci: DSSC, gum xhantan, gum arabik, konsentrasi gum, larutan elektrolit, performa

PENDAHULUAN

Energi mempunyai peranan yang sangat penting dalam kehidupan manusia untuk keberlangsungan hidup. Energi yang tersedia saat ini masih bergantung pada minyak, gas, bahan bakar fosil atau lainnya yang mengakibatkan semakin menipisnya persediaan sumber energi yang tak terbarukan seiring dengan bertambahnya jumlah pengguna energi di dunia (Hardeli *et al.*, 2013). Oleh karena itu, diperlukan energi alternatif yang dapat diperbaharui misalnya memanfaatkan energi matahari atau sel surya.

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan mendasar di kehidupan manusia sehingga mengakibatkan penggunaan listrik semakin meningkat. Oleh karena itu, diperlukan sumber energi alternatif agar dapat mengurangi penggunaan energi fosil. Salah satunya yaitu mengembangkan pemanfaatan energi matahari yang dinilai sebagai salah satu upaya yang paling baik dilakukan di Indonesia, karena Indonesia sendiri terletak di daerah tropis yang sangat berpotensi dalam pengembangan energi listrik yang bersumber dari energi matahari. Adapun salah satu teknologi yang memanfaatkan energi matahari adalah teknologi DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*).

DSSC adalah teknologi surya yang mampu mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik secara langsung dengan bantuan photosensitizer, DSSC pertama kali dikembangkan oleh Professor Michael Gratzel pada tahun 1991 (Ardianto *et al.*, 2015). DSSC termasuk sel surya generasi baru yang berkembang oleh kebutuhan sel surya yang rendahnya biaya produksi, macam-macam substrat yang bisa digunakan, dan ramah lingkungan dalam fabrikasinya. Adapun DSSC bekerja berdasarkan prinsip fotoelektrokimia dengan dye sebagai agen penyerap cahaya dan semikonduktor sebagai tempat separasi muatan (Amrullah *et al.*, 2017). Sebuah DSSC terdiri dari kaca transparan (TCO), pasta titanium dioksida (TiO₂), Dye, elektrolit redoks katalisator, dan kaca TCO (Hardeli *et al.*, 2013). DSSC terbagi menjadi beberapa bagian yang terdiri dari nanopori

bahan semikonduktor, molekul *dye* yang terabsorpsi di permukaan bahan semikonduktor dan katalis yang dideposisi diantara dua kaca konduktif (Firmanila, 2016).

Performa dari sebuah *solar cell* mempengaruhi besar tidaknya arus listrik yang dihasilkan, performa tersebut bisa ditentukan dari beberapa hal, yang paling utama adalah efisiensi dan fill factor dari solar cell tersebut, dimana kedua parameter ini bisa dipengaruhi oleh banyak factor misalnya dari konstruksi solar cell itu sendiri maupun faktor dari luar seperti intensitas cahaya, temperatur dan faktor lainnya (Taqwa dan Dwiyanoro, 2015). Zat warna alami digunakan sebagai sensitizer alternatif karena memiliki keunggulan, yaitu dapat diekstraksi dari bahan alam dengan menggunakan prosedur sederhana tanpa harus mengekstraksi bahan alam yang dari tahap awal hingga tahap pemurnian. Kelebihan lain dari zat warna alami, yaitu harga produksi murah, dapat terdegradasi secara alami, bahan baku mudah diperoleh, ramah lingkungan, mengurangi penggunaan logam mulia dan tidak memerlukan sintesis bahan kimia yang mahal (Pujilestari, 2015). Saat ini, *photosensitizer* pada *DSSC* yang banyak digunakan berasal dari zat warna alami, seperti klorofil, karotenoid, antosianin, flavonoid, sianin dan tanin.

Dye yang ramah lingkungan dan melimpah di alam, seperti *dye* dari bagian daun, biji, buah, batang dan akar tanaman menjadi pilihan alternatif sebagai sensitizer pada *DSSC*, serta zat-zat seperti klorofil, betakaroten, antosianin, tanin, kurkumin, dan sebagainya pada tumbuhan juga dapat diaplikasikan sebagai sensitizer (Dahlan *et al.*, 2016).

Salah satu sumber klorofil yang dapat digunakan sebagai *dye* alami adalah daun eceng gondok, hal ini dapat dilihat dari warna daun eceng gondok itu sendiri berwarna hijau. Daun eceng gondok merupakan tumbuhan gulma yang hidup mengapung di perairan danau, sungai dan rawa yang memberikan dampak negatif pada lingkungan perairan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penanggulangan untuk pertumbuhan daun eceng gondok. Daun eceng gondok itu sendiri mengandung klorofil yang terletak di sel epidermis, selain berfungsi sebagai fotosintesis kandungan klorofil tersebut dapat dimanfaatkan sebagai zat warna yang dapat digunakan untuk *DSSC* (Hasyim, 2016).

Untuk mendapatkan *dye* organik yang baik, perlu menggunakan metode ekstraksi yang tepat terkait lama waktu ekstraksi yang digunakan. Salah satu metode ekstraksi yang sering digunakan yaitu metode ekstraksi dengan menggunakan energi panas microwave dan gelombang suara (sonikasi). *Ultrasonic Assisted Extraction* (UAE) adalah salah satu metode ekstraksi bahan dengan bantuan gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik adalah gelombang suara yang memiliki frekuensi diatas pendengaran manusia (≥ 20 kHz) (Sholihah *et al.*, 2017). Metode ekstraksi dengan menggunakan gelombang ultrasonik ini untuk memperoleh kandungan antioksidan yang lebih tinggi dengan waktu yang relatif singkat.

Gelombang ultrasonik yang dihasilkan akan menyebabkan terjadinya efek kavitasi yang berarti terjadinya pertumbuhan, pembentukan, dan pemecahan gelembung dalam suatu cairan akibat adanya panas yang dihasilkan getaran yang terjadi secara terus menerus. Teknologi ekstraksi ini memiliki beberapa keunggulan diantaranya waktu yang digunakan untuk ekstraksi cenderung lebih singkat dan efisien dan bagus digunakan untuk sampel yang tidak tahan terhadap panas. Selain *dye*, elektrolit berperan penting terhadap performa *DSSC*. Elektrolit berfungsi untuk menggantikan elektron yang hilang pada pita HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) *dye* akibat bereksitasi ke pita LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) melalui proses reaksi reduksi-oksidasi (redoks). Pada umumnya elektrolit yang digunakan dalam *DSSC* berbentuk cair dan mengandung sistem redoks. Salah satu kelemahan elektrolit dengan iodin adalah mudah kering, oleh karena itu *dye* pada penelitian ini ditambahkan bahan pengental, bahan pengental yang akan digunakan adalah gum xhantan dan gum arabik.

Gum xhantan adalah polisakarida ekstraselular dari hasil sekresi dari bakteri *Xanthomonas campestris*. Gum xanthan memiliki beberapa keunggulan yaitu, viskositas yang tinggi pada konsentrasi yang rendah, bersifat pseudoplastik dan tidak peka terhadap temperatur, pH serta konsentrasi elektrolit (Gustiani *et al.*, 2017). Berdasarkan latar belakang tersebut penelitian ini akan mempelajari Evaluasi Performa Dye Sensitized Solar Cell dengan Penambahan Gum Xhantan Pada Larutan Elektrolit.

BAHAN DAN METODE

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: 1) Alat pencatat, 2) Alat suntik ukuran 3 mL, 3) Amperemeter, 4) Batang pengaduk kaca, 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) Kabel jumper, 12) Klip binder no. 105, 13) Kertas alumunium, 14) Kertas saring, 15) Lampu halogen Hapika 50 Watt, 16) Luxmeter (HS1010), 17) Mikrometer sekrup, 18) Mistar, 19) Multimeter digital (DT-830B), 20) Neraca digital Ohaus, 21) Oven Kirin, 22) Penjepit kabel jumper, 23) Blender, 24) Pinset, 25) Pipet tetes, 26) Pisau, 27) Potensiometer 500 k Ω (variabel resistor), 28) Project board, 29) Refrigerator, 30) Sonikator Cole-Parmer, 31) Spatula besi, 32) Statif, 33) Stopwatch analog, 34) Spektrofotometer UV-Vis, 35) Tissue, 36) Voltmeter dan 37) Wattmeter.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: 1) Air, 2) Asam asetat 0,25 N, 3) Akuades, 4) Bubuk Titanium dioksida (TiO₂), 5) Daun eceng gondok yang berwarna hijau tua, 6) Iodin 0,1 N, 7) Kaca Transparent Conductive Oxide (TCO), 8) Katalis karbon (jelaga lilin), dan 9) Gum xhantan.

Pengolahan data penelitian ini menggunakan metode deksriptif. Adapun beberapa tahap yang dilakukan saat penelitian diantaranya adalah sebagai berikut: 1) Persiapan struktur *DSSC*, 2) Penyusunan dan perangkaian *DSSC*, 3) Pengujian *DSSC*.

Adapun *Dye Sensitized Solar Cell* dibuat dengan menggunakan substrat kaca *capasitive touch screen*. Ukuran substrat yang dibuat memiliki dimensi yakni 2,1 cm x 2,1 cm x 0,1113 cm. Ketebalan selotip yang digunakan adalah 0,03705 cm (3 lapis selotip x 0,01235 cm). *DSSC* diuji dengan 7 sampel yang memiliki perbedaan terhadap lama ketahanan elektrolit yang ditambahkan bahan pengental gum xhantan dan gum arabik. Pengukuran masing-masing sampel dilakukan dengan menggunakan intensitas cahaya tertinggi yakni dengan jarak 10 cm. Metode yang digunakan untuk membuat elektrolite gell adalah dengan menambahkan gum xhantan dan gum arabik pada larutan elektrolit (Iodin) sesuai konsentrasi yang telah ditentukan. Beberapa *DSSC* yang dibuat dengan variasi konsentrasi elektrolit dengan penambahan gum xhantan dan gum arabik, diantaranya :

- A). A1 = gum xhantan 1%
- B). A2 = gum xhantan 3%
- C). A3 = gum xhantan 5%

Cara kerja pelaksanaan penelitian ini sebagai berikut:

Persiapan Struktur Dye Sensitized Solar Cell

Kegiatan persiapan untuk membuat struktur *DSSC* diawali dengan pemotongan kaca substrat, pembuatan sensitizer (ekstraksi daun eceng gondok dengan penambahan gum xhantan dan gum arabik), pembuatan pasta dari bubuk Titanium dioksida (TiO₂) yang dicampur dengan asam asetat dan pembuatan elektroda kerja (berupa pendeposisian TiO₂ dan pelapisan *dye*) serta elektroda pembanding yang dilapisi katalis karbon.

Pemotongan Kaca Substrat

Adapun tahapan dalam pemotongan kaca substrat ini antara lain:

- 1) Kaca substrat *capasitive touch screen* dipisahkan dari lapisan anti gores dan lapisan plastik pelindung.
- 2) Kaca kemudian diberi tanda dengan spidol untuk menentukan luasan daerah pemotongan yang dibutuhkan yakni 2,1 cm x 2,1 cm.
- 3) Kaca substrat kemudian dipotong dengan menggunakan pemotong kaca (*cutter glass*) dengan posisi tegak lurus yang dibantu mistar.
- 4) Kaca selanjutnya dibersihkan dari kotoran dan bekas spidol secara perlahan menggunakan tissue.

Pembuatan Sensitizer

Adapun proses pembuatan sensitizer yang terdiri atas bahan utama berupa daun eceng gondok, antara lain meliputi:

1. Pembuatan sensitizer menggunakan alat sonikator Cole-Parmer.
2. Sonikator dihubungkan dengan arus listrik kemudian dihidupkan melalui tombol power yang terdapat pada bagian belakang alat.
3. Daun eceng gondok dibersihkan sampai bersih.
4. Daun eceng gondok yang telah dibersihkan selanjutnya dipotong-potong kecil dan dihaluskan menggunakan blender hingga halus. Kemudian ditimbang sebanyak 50 gram dengan menggunakan neraca digital Ohaus.
5. Alat sonikator yang telah diberi air sebanyak 1/4 dari dasar wadah penampung gelas yang akan dimasukkan kemudian dipanaskan terlebih dahulu selama 30 menit dengan temperatur 25°C.
6. Daun eceng gondok yang telah ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam gelas ukuran 100 mL dengan ditambahkan 100 mL akuades sebagai pelarut. Perbandingan untuk bahan eceng gondok: pelarut adalah 1:5.
7. Penggunaan alat dikondisikan setelah satu jam untuk diistirahatkan selama 30 menit sebelum dioperasikan kembali.
8. Hasil sonikasi kemudian didinginkan dengan suhu ruangan sebelum memasuki tahap penyaringan.
9. Hasil rendemen (zat ekstraksi) selanjutnya disaring dengan kertas saring untuk memisahkan ampas dan ekstrak klorofil daun eceng gondok, kemudian hasil filtrasi dimasukkan kedalam beaker glass.
10. Kemudian masukkan ke dalam botol kaca transparan yang dilapisi aluminium foil menggunakan corong gelas.
11. Selanjutnya disimpan dalam refrigerator untuk menghindari degradasi zat warna.

Pembuatan Pasta TiO₂

- 1) Bubuk Titanium dioksida (TiO₂) ditimbang sebanyak 1 gram kemudian dituangkan ke dalam gelas dengan ukuran 50 mL.
- 2) Kemudian asam asetat ditambahkan sebanyak 1,8 mL lalu diaduk menggunakan spatula besi sampai homogen.

Pembuatan Konsentrasi Larutan Elektrolit Gum Xhantan

Proses pembuatan larutan konsentrasi larutan elektrolit 1%, 3%, dan 5% dengan mencampurkan bahan pengental dengan larutan iodine.

Perhitungan larutan elektrolit dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$C = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

C = Konsentrasi larutan elektrolit dengan bahan pengental (mg/mL)

m = Massa bahan pengental yang akan diambil (gram)

V = Volume iodine yang akan dibuat (mL)

Berikut langkah-langkah pembuatan larutan konsentrasi larutan elektrolit:

- 1) Siapkan larutan iodine dengan konsentrasi 0.1N sebanyak 1ml.
- 2) Kemudian tambahkan gum xhantan dan gum arabik untuk setiap perlakuan sebagai bahan pengental larutan iodine sesuai konsentrasi yang dibutuhkan yaitu: 1%, 3%, dan 5%.
- 3) Setelah itu aduk hingga merata larutan dan bahan pengental tersebut.

Pembuatan Elektroda Kerja dan Elektroda Pembanding

1. Dua substrat kaca konduktif dibersihkan untuk satu sampel dengan menggunakan tissue yang telah ditetesi etanol 95%.
2. Pengukuran nilai resistivitas kaca dengan mengarahkan multimeter ke sisi konduktif kaca. Sisi konduktif kaca ini yang akan dijadikan sebagai elektroda kerja dan elektroda pembanding.
3. Elektroda kerja direkatkan dengan selotip sebanyak tiga lapis untuk memberikan luasan kerja $2,1 \times 2,1$ cm dengan area offset 0,15 cm di sisi kiri kanan dan 0,3 cm di sisi atas kaca.
4. Oven dipanaskan terlebih dahulu selama 5 menit dengan suhu 105°C.
5. Pasta titanium dioksida (TiO₂) dideposisikan pada luasan area aktif elektroda kerja dan ratakan menggunakan batang pengaduk kaca dalam posisi sekali tekan, kemudian keringkan selama 5 menit.
6. Elektroda kerja dengan lapisan TiO₂ dioven selama 5 menit pada suhu 105°C.
7. Elektroda Kerja dengan lapisan TiO₂ didinginkan pada suhu ruangan selama 5 menit sampai 10 menit.
8. Sensitizer dari *dye* daun eceng gondok ditetaskan sebanyak 0,5 mL ke kaca working electrode dengan lapisan TiO₂ yang berbeda.
9. Oven kembali substrat kaca working electrode yang telah ditetesi *dye* selama 10 menit pada suhu 105°C, kemudian didinginkan pada suhu ruangan.
10. Pengulangan langkah kerja dilakukan pada tahap ke 8 dan 9 untuk pembuatan elektroda kerja.
11. Pada sisi konduktif kaca elektroda pembanding diarahkan ke jelaga lilin hingga berwarna hitam pekat dan merata.

Penyusunan dan Perangkaian DSSC

- 1) Elektroda kerja (yang telah dilapisi dengan TiO₂ dan ditetesi ekstrak *dye* masing-masing sampel dan perlakuan berbeda) dan elektroda pembanding (yang telah dilapisi katalis karbon) ditumpuk dengan merekatkan keduanya pada keadaan berhadapan, kemudian beri area offset sebagai penghubung untuk sirkuit luar.
- 2) Dua area yang lain dijepit menggunakan klip binder ukuran 105 agar dapat merekat dengan benar.
- 3) Dua area offset elektroda dihubungkan dengan kabel jumper dan dijepit menggunakan penjepit kabel jumper.
- 4) Struktur DSSC yang telah berbentuk susunan roti lapis (sandwich) selanjutnya ditetesi larutan elektrolit sebanyak 0,5 mL melalui celah *offset*.

Pengujian Rangkaian DSSC

- 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 kontinyu 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.
- 6) Waktu pengukuran arus dan tegangan menggunakan *stopwatch* yang mulai dioperasikan saat proses pengukuran mulai berlangsung.
- 7) Kemudian data hasil pengamatan dicatat dan ulangi pengukuran untuk masing-masing sampel elektrolit dengan bahan pengental gum Xhantan.

Parameter Penelitian

Adapun parameter penelitian yang diamati dalam penelitian ini diantaranya: 1) Kandungan klorofil berdasarkan data absorbansi *dye*, 2) Pengukuran arus dan tegangan, 3) Perhitungan daya, 4) Pengukuran Fill Factor (faktor pengisian) dan 5) Perhitungan efisiensi DSSC.

Kandungan Klorofil Daun Eceng Gondok

Klorofil terlarut dalam daun eceng gondok akan diukur berdasarkan data karakteristik absorbansi *dye*. Absorbansi *dye* dilakukan dengan mengekstrak daun eceng gondok kemudian diukur dengan alat spektrofotometer. Pengukuran karakteristik absorbansi *dye* dilakukan pada panjang gelombang cahaya tampak 649 nm dan 665 nm. Tahapan pengujian ekstrak *dye* dilakukan dengan mengekstraksi bahan segar kemudian menurunkan tingkat viskositas *dye* melalui penambahan pelarut. Perbandingan *dye* dengan akuades (pelarut) adalah 1:1 yakni 1 mL *dye* dalam 1 mL pelarut. Hasil pengukuran tersebut selanjutnya kemudian digunakan untuk menentukan kandungan klorofil yang terdapat dalam daun eceng gondok sesuai dengan perlakuan masing-masing ekstraksi.

Kandungan klorofil pada daun eceng gondok dapat dihitung dengan menggunakan rumus perhitungan metode Wintermans dan De Mots seperti pada penelitian Posumah (2017) seperti pada Persamaan (1) dan (2).

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

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

Jumlah kandungan klorofil total dapat dihitung dengan metode yang sama seperti pada penelitian Gibson *et al.* (2017) sesuai pada Persamaan (3).

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

Keterangan:

Klorofil a: Jumlah klorofil a terlarut dalam ekstrak daun eceng gondok (mg/L)

Klorofil b: Jumlah klorofil b terlarut dalam ekstrak daun eceng gondok (mg/L)

A_{665} : Absorbansi pada gelombang cahaya tampak ke 665

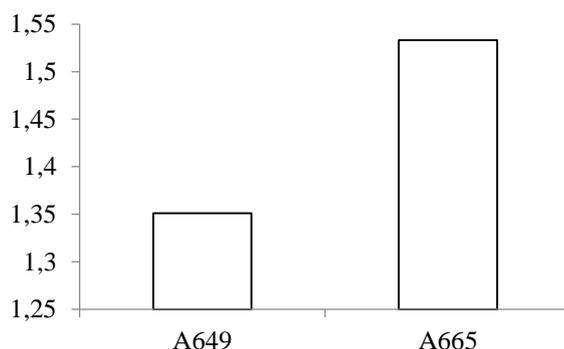
A_{649} : Absorbansi pada gelombang cahaya tampak ke 649

Klorofil total : Jumlah total klorofil dalam ekstrak daun eceng gondok (mg/L)

HASIL DAN PEMBAHASAN

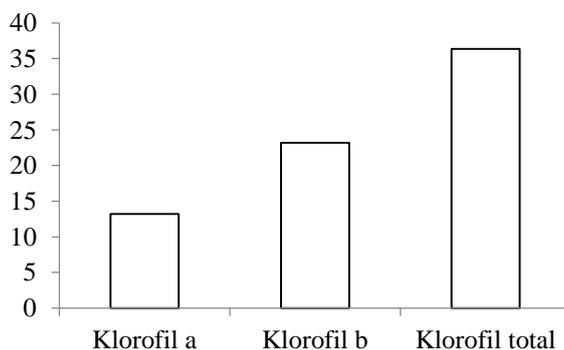
Pengukuran Kadar Klorofil Berdasarkan Data Absorbansi

Klorofil yang terdapat pada daun eceng gondok dapat diukur berdasarkan data absorbansi *dye*. Pengujian absorbansi dianalisa menggunakan spektrofometer UV-Vis yang dilakukan untuk mengetahui daerah serapan panjang gelombang maksimum dari ekstrak *dye* yang akan digunakan. Secara umum daerah serapan panjang gelombang yang dianalisa pada rentang panjang gelombang 500 nm-700 nm (Megawati *et al.*, 2020). Pada penelitian ini data absorbansi dilakukan pada rentang panjang gelombang 649 nm dan 665 nm. Data sampel nilai absorbansi dalam penelitian ini pada saat gelombang 649 nm sebesar 1,351, dan pada gelombang 665 nm yakni sebesar 1,533. Berikut data absorbansi klorofil daun eceng gondok terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Absorbansi klorofil pada gelombang 649 dan 665 nm

Setelah didapat hasil absorbansi maka dapat mengetahui klorofil a, klorofil b dan klorofil total (Lampiran 1), dimana klorofil a dan klorofil b merupakan pigmen utama fotosintetik, yang berperan menyerap cahaya violet, biru, merah dan memantulkan cahaya hijau (Pratama dan Laily, 2015), Kedua jenis klorofil ini memiliki serapan cahaya pada dua daerah rentang panjang gelombang yaitu 400 nm - 490 nm dan 620 nm - 680 nm (Gibson *et al.*, 2017). Hasil pengukuran klorofil pada daun eceng gondok dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Klorofil pada daun eceng gondok

Berdasarkan data tersebut klorofil a merupakan hasil absorbansi pada gelombang 649 nm dan klorofil b pada gelombang 665 nm. Nilai klorofil a yakni sebesar 13,2203 mg/L, nilai klorofil b sebesar 23,205 mg/L, dan didapat nilai klorofil total sebesar 36,3713 mg/L.

Proses pembentukan partikel menggunakan metode ultrasonik dengan pemanfaatan gelombang ultrasonik dan getaran, keduanya dapat bekerja secara bersamaan sehingga

memisahkan gumpalan partikel sehingga terpecah dan menjadi ukuran partikel yang lebih kecil. Namun, hasil dari ekstraksi tergantung pada frekuensi getaran, kapasitas alat dan lama proses ultrasonikasi (Istiqomah, 2013). Gelombang suara (gelombang ultrasonik) yang dihasilkan oleh peralatan tersebut menghasilkan getaran yang terjadi secara periodik dan terus menerus. Getaran tersebut membentuk gelombang longitudinal dengan arah rambat paralel (berupa regangan dan kerapatan kontinyu).

Klorofil sangat berperan di dalam *DSSC* yakni sebagai penyedia elektron. Dengan adanya elektron yang cukup, maka tegangan dan arus listrik akan muncul. Penelitian yang dilakukan Rakhman (2014) menyebutkan bahwa kandungan klorofil tertinggi mampu menyerap cahaya lebih banyak sehingga *DSSC* dengan *dye* menggunakan ekstrak klorofil tersebut menghasilkan daya yang paling besar. Kandungan klorofil yang tinggi berpengaruh terhadap kinerja *dye* sensitizer. Semakin tinggi kandungan klorofil, semakin baik kemampuan zat warna untuk menyerap cahaya dan mendonorkan elektron. Secara tidak langsung, ini mempengaruhi siklus redoks (reduksi-oksidasi) di *DSSC* dan dikaitkan dengan peningkatan kinerja *DSSC*.

Pengukuran terhadap Arus-Tegangan (I-V)

Pengukuran tegangan dan arus dilakukan sesuai dengan jumlah sampel atau jumlah *DSSC* yang dibuat. Hasil pengentalan elektrolit yang akan dibuat masing-masing 7 sampel dengan variasi konsentrasi 1%, 3%, dan 5%.

Pada kegiatan pengukuran terhadap arus dan tegangan dilakukan dengan menggunakan alat multimeter digital dan ampermeter yang telah terhubung pada media project board. Struktur *DSSC* yang telah siap untuk diuji kemudian dihubungkan dengan rangkaian media project board dengan menggunakan jumper cable pada area sisi offset. Pengukuran dilakukan menggunakan sumber cahaya dari lampu halogen yang telah dinyalakan dengan jarak cahaya lampu 10 cm,

Variabel beban yang digunakan dalam kegiatan pengukuran tersebut adalah potensiometer 500 k Ω . Kemudian untuk mengetahui besar atau kecilnya nilai hambatan yakni dengan cara merubah arah putaran potensiometer dari titik terendah ke tertinggi, hal ini bertujuan agar memperoleh nilai tegangan dan arus yang maksimal.

Adapun nilai kelistrikan yang diperoleh dan diketahui dari data pengukuran tegangan dan arus adalah a) nilai tegangan rangkaian terbuka b) arus hubungan pendek c) nilai tegangan maksimal d) nilai arus maksimal e) nilai fill factor f) nilai efisiensi g) nilai daya output. Data tersebut secara keseluruhan (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai karakteristik kelistrikan *DSSC dye* daun eceng gondok dengan penambahan bahan pengental pada larutan elektrolit

<i>DSSC</i>	Data Hasil Pengukuran dan Pengolahan Data								
	V_{oc} (V)	I_{sc} (mA)	V_{max} (V)	I_{max} (mA)	Pinput (mW)	FF	Poutput (mW)	Efisiensi (%)	
Kontrol	0,355	0,0107	0,220	0,005	27,3	0,28959	0,001100	0,004	
Gum Xhantan	1%	0,478	0,0105	0,367	0,0073	27,9	0,53379	0,0000027	0,010
	3%	0,743	0,0138	0,519	0,0103	28,9	0,52136	0,005346	0,019
	5%	0,584	0,0137	0,412	0,0078	28,1	0,40166	0,000003	0,011

Berdasarkan data Tabel 1 menunjukkan bahwa penambahan bahan pengental pada larutan elektrolit dalam *DSSC* dengan perlakuan variasi konsentrasi bahan pengental berpengaruh terhadap nilai karakteristik kelistrikan pada *DSSC* yang telah diuji. Besar kecilnya nilai I_{sc} , V_{oc} , I_{max} , dan V_{max} merupakan parameter yang dapat mempengaruhi efisiensi *DSSC*. Performa *DSSC* pada sampel gum xhantan terus bertambah seiring dengan

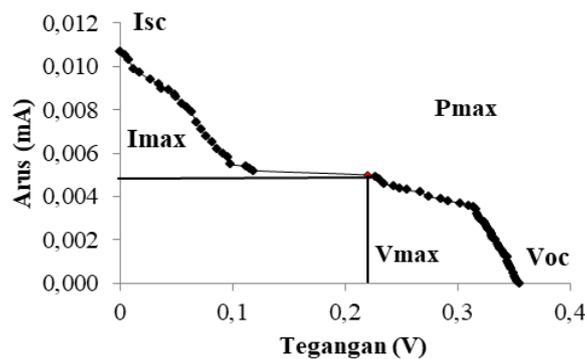
penambahan konsentrasi dari 1% dan 3% yang kemudian mengalami penurunan pada konsentrasi 5%, begitu juga performa *DSSC* pada sampel gum arabik yang mengalami penurunan pada konsentrasi 5%, hal ini dikarenakan tidak stabilnya alat pengukuran *DSSC*.

Data arus dan tegangan diperoleh dengan mengukur *DSSC* menggunakan rangkaian alat yang terdiri dari multimeter, voltmeter dan potensiometer yang dihubungkan pada media project board dengan cable jumper agar dapat mengetahui seberapa besar nilai arus dan tegangan yang dihasilkan. Pengukuran dilakukan dengan memutar secara perlahan potensiometer dari hambatan nol sampai hambatan maksimum. Penambahan larutan elektrolit sebelum pengukuran dilakukan dengan tujuan untuk mengganti elektron pada *dye* yang elektronnya telah mengalami eksitasi dan *dye* yang berlubang. Larutan elektrolit yang disuntikkan ke dalam struktur *DSSC* (melalui injeksi) mempengaruhi hasil pengukuran. Selain itu, proses pengukuran panjang akibat pengukuran yang tidak tetap juga mempengaruhi larutan elektrolit.

(Berdasarkan data dari Tabel 1 peningkatan dan penurunan nilai tegangan dapat dipengaruhi oleh kemampuan *dye* dalam menyerap energi matahari dalam bentuk foton serta banyaknya elektron yang dapat tereksitasi dari *dye*).

***DSSC* Kontrol (*Dye* Daun Eceng Gondok)**

DSSC kontrol yakni perlakuan *DSSC* dengan larutan elektrolit tanpa bahan pengental gum xhantan dan gum arabik yang memperoleh hasil kurva (I-V) terlihat pada Gambar 3.

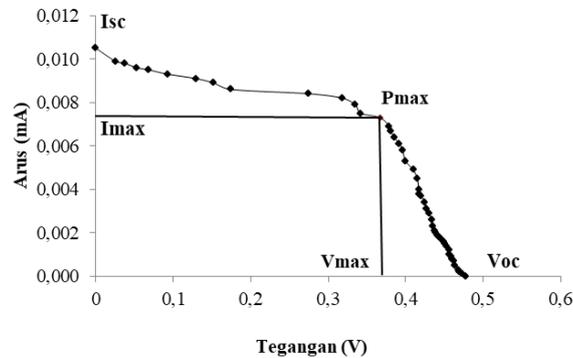


Gambar 3. Kurva karakteristik I-V *DSSC* Kontrol)

Nilai tegangan yang diperoleh pada saat rangkaian terbuka (V_{oc}) yakni sebesar 0,355 V dan nilai arus pada saat tegangan sama dengan nol (I_{sc}) diperoleh hasil 0,0107 mA, nilai tegangan maksimal (V_{max}) yakni 0,220 mV, nilai arus maksimal (I_{max}) sebesar 0,0050 mA, dan nilai daya maksimal (P_{max}) yakni sebesar 0,0011 mW. Kestabilan pengukuran tegangan dan arus selama 17,75 menit. Hasil arus dan tegangan yang dihasilkan oleh *DSSC* kontrol lebih rendah dibandingkan dengan sampel *DSSC* lainnya karena tanpa penambahan bahan pengental pada larutan elektrolit, sehingga pengukuran *DSSC* tidak stabil. Tingkat kelengkungan tegangan dan arus dapat mempengaruhi kestabilan *DSSC*, sedangkan kestabilan yang rendah akan membuat luas area fill factor menjadi rendah. Berdasarkan hasil pengukuran dapat dilihat pada kurva tegangan dan arus tersebut memiliki kestabilan yang baik dengan nilai fill factor yang diperoleh sebesar 0,2896.

DSSC A1 1% (Dye Daun Eceng Gondok dengan Bahan Pengental Gum Xhantan 1% pada Larutan Elektrolit)

DSSC A1 yaitu perlakuan sampel 2 dye daun eceng gondok dengan penambahan bahan pengental gum xhantan 1% pada larutan elektrolit yang memperoleh hasil kurva (I-V) terlihat pada Gambar 4.

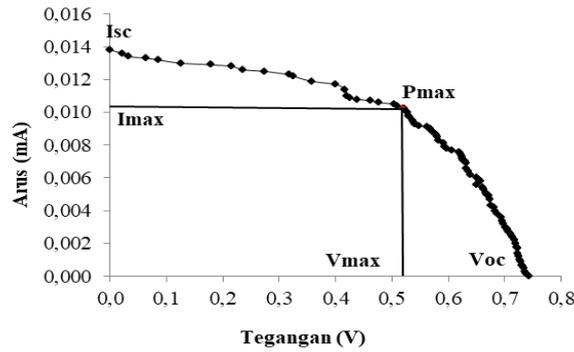


Gambar 4. Kurva karakteristik I-V DSSC A1 1%

Nilai tegangan yang diperoleh pada saat rangkaian terbuka (V_{oc}) yakni sebesar 0,478 V dan nilai arus pada saat tegangan sama dengan nol (I_{sc}) diperoleh hasil 0,0105 mA, nilai tegangan maksimal (V_{max}) yakni 0,367 V, nilai arus maksimal (I_{max}) 0,0073 mA, dan nilai daya maksimal (P_{max}) yakni 0,002679 mW. Kestabilan pengukuran tegangan dan arus selama 12,75 menit. Hasil arus dan tegangan yang dihasilkan oleh DSSC A1 mengalami peningkatan dibandingkan dengan sampel DSSC kontrol, karena dengan penambahan bahan pengental sebanyak 1% pada larutan elektrolit, sehingga pengukuran DSSC cukup stabil. Tingkat kelengkungan tegangan dan arus dapat mempengaruhi kestabilan DSSC, sedangkan kestabilan yang rendah akan membuat luas area (fill factor) menjadi rendah. Berdasarkan hasil pengukuran dapat dilihat pada kurva tegangan dan arus tersebut memiliki kestabilan yang baik dengan nilai (fill factor) yang diperoleh sebesar 0,5338.

DSSC A2 3% (Dye Daun Eceng Gondok dengan Bahan Pengental Gum Xanthan 3% pada Larutan Elektrolit)

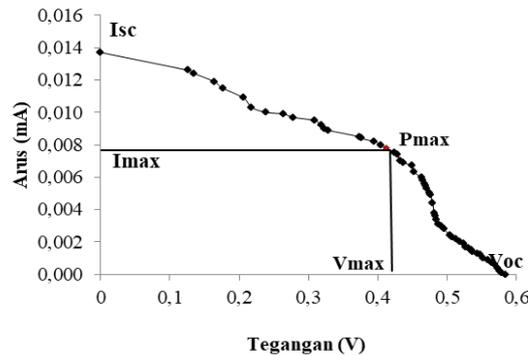
DSSC A2 yaitu perlakuan sampel 3 dye daun eceng gondok dengan penambahan bahan pengental gum xhantan 3% pada larutan elektrolit yang memperoleh hasil kurva (I-V) terlihat pada Gambar 5. Nilai tegangan yang diperoleh pada saat rangkaian terbuka (V_{oc}) yakni sebesar 0,743 V dan nilai arus pada saat tegangan sama dengan nol (I_{sc}) diperoleh hasil 0,0138 mA, nilai tegangan maksimal (V_{max}) yakni 0,519 V, nilai arus maksimal (I_{max}) 0,0103 mA, dan nilai daya maksimal (P_{max}) yakni 0,00535 mW. Kestabilan pengukuran tegangan dan arus selama 23,5 menit. Hasil arus dan tegangan yang dihasilkan oleh DSSC A2 mengalami peningkatan dibandingkan dengan sampel DSSC kontrol, karena dengan penambahan bahan pengental gum xhantan sebanyak 3% pada larutan elektrolit, sehingga pengukuran DSSC lebih lama dan stabil. Tingkat kelengkungan tegangan dan arus dapat mempengaruhi kestabilan DSSC, sedangkan kestabilan yang rendah akan membuat luas area fill factor menjadi rendah. Berdasarkan hasil pengukuran dapat dilihat pada kurva tegangan dan arus tersebut memiliki kestabilan yang baik dengan nilai fill factor yang diperoleh sebesar 0,5214.



Gambar 5. Kurva karakteristik I-V DSSC A2 3%

DSSC A3 5% (Dye Daun Eceng Gondok dengan Bahan Pengental Gum Xanthan 5% pada Larutan Elektrolit)

DSSC A3 yaitu perlakuan sampel 4 dye daun eceng gondok dengan penambahan bahan pengental gum xhantan 5% pada larutan elektrolit yang memperoleh hasil kurva (I-V) terlihat pada Gambar 6.

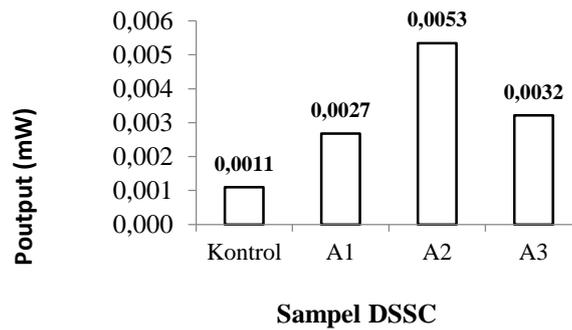


Gambar 6. Kurva karakteristik I-V DSSC A3 5%

Nilai tegangan yang diperoleh pada saat rangkaian terbuka (Voc) yakni sebesar 0,584V dan nilai arus pada saat tegangan sama dengan nol (Isc) diperoleh hasil 0,0137mA, nilai tegangan maksimal (Vmax) yakni 0,412 V, nilai arus maksimal (Imax) 0,0078 mA, dan nilai daya maksimal (Pmax) yakni 0,003239 mW. Kestabilan pengukuran tegangan dan arus selama 16 menit. Hasil arus dan tegangan yang dihasilkan oleh DSSC A3 mengalami peningkatan dibandingkan dengan sampel DSSC kontrol, karena dengan penambahan bahan pengental gum xhantan sebanyak 5% pada larutan elektrolit, sehingga pengukuran DSSC cukup stabil. Tingkat kelengkungan tegangan dan arus dapat mempengaruhi kestabilan DSSC, sedangkan kestabilan yang rendah akan membuat luas area fill factor menjadi rendah. Berdasarkan hasil pengukuran dapat dilihat pada kurva tegangan dan arus tersebut memiliki kestabilan yang baik dengan nilai fill factor yang diperoleh sebesar 0,4017.

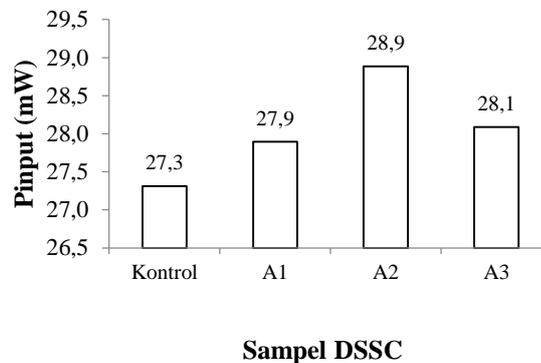
Perhitungan Daya

Data nilai tegangan dan arus yang telah diperoleh berdasarkan pengukuran, kemudian digunakan untuk perhitungan dan memperoleh nilai daya. Adapun masing-masing nilai daya dari DSSC kontrol, A1, A2, dan A3 terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Daya keluaran sampel *DSSC* (Poutput)

Nilai daya output diperoleh berdasarkan hasil kali dari nilai tegangan rangkaian terbuka, hubungan arus pendek, dan nilai fill factor. Nilai daya output berbanding lurus dengan nilai efisiensi, dimana jika nilai daya output pada lapisan *DSSC* tinggi maka nilai efisiensi yang diperoleh juga besar. Data nilai daya output dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Daya masukan sampel *DSSC* (Pinput)

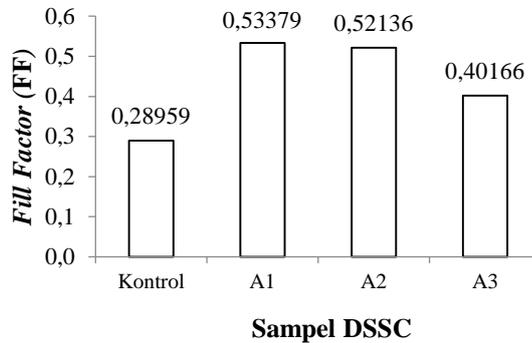
Daya input bertujuan agar dapat menjalankan siklus redoks pada *DSSC* yang akan diuji. Nilai daya input diperoleh berdasarkan hasil kali dari intensitas cahaya dengan luas permukaan aktif, nilai intensitas cahaya yang diperoleh dari cahaya lampu halogen dengan jarak terbaik yakni jarak 10 cm dari lapisan *DSSC*. Rata-rata nilai intensitas cahaya pada pengukuran *DSSC* kontrol, A1, A2, dan A3 adalah sebesar 42129 dan dapat dilihat pada Gambar 8.

Perhitungan *Fill Factor* (FF)

Besar kecilnya nilai fill factor akan mempengaruhi efisiensi dari *DSSC*. Nilai fill factor dapat dipengaruhi oleh nilai arus maksimal, tegangan maksimal, arus hubungan pendek dan tegangan rangkaian terbuka. Nilai *fill factor* yang tinggi akan membuat kinerja dari *DSSC* menjadi semakin baik dan menyebabkan semakin optimalnya efisiensi konversi energi. Adapun nilai *fill factor* yang diperoleh pada penelitian ini secara berurutan terlihat pada Gambar 9.

Berdasarkan data nilai yang diperoleh nilai *fill factor* terbesar pada terdapat pada *DSSC* A1 dengan nilai sebesar 0,53379 dan nilai terkecil terdapat pada *DSSC* kontrol dengan nilai sebesar 0,28959. Nilai *fill factor* dapat mempengaruhi nilai daya yang diperoleh, semakin besar nilai *fill factor* yang diperoleh maka nilai daya yang dihasilkan juga akan semakin besar. Selain itu, tingkat kestabilan pada saat pengukuran *DSSC* juga dapat mempengaruhi tingkat kelengkungan kurva tegangan dan arus, dimana kestabilan pengukuran *DSSC* yang

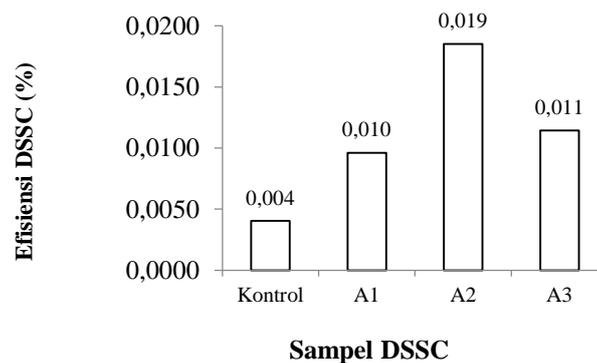
berbanding lurus dengan luasan area *fill factor*. Nilai *fill factor* juga dapat dilihat pada kestabilan kurva I-V, jika kurva tersebut menunjukkan kurva ideal maka nilai *fill factor* tinggi, dan sebaliknya.



Gambar 9. Nilai *fill factor* sampel *DSSC*

Perhitungan Efisiensi *DSSC*

Besar kecilnya arus listrik yang dihasilkan dapat mempengaruhi performa suatu *DSSC*. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi performa *DSSC* yaitu efisiensi. Efisiensi yang diperoleh dari hasil perbandingan antara nilai daya output dibagi daya input dikali 100%. Pada penelitian ini diperoleh data efisiensi *DSSC* dari hasil pengukuran dan perhitungan tegangan dan arus yang menunjukkan bahwa setiap penambahan konsentrasi nilai efisiensi yang dihasilkan mengalami kenaikan pada batas konsentrasi tertentu yaitu 3% dan mengalami penurunan pada konsentrasi 1% dan 5% yang disebabkan karena beberapa faktor yaitu karna terlalu sedikitnya penambahan bahan pengental dan terlalu banyaknya penambahan bahan pengental pada larutan elektrolit. Secara keseluruhan efisiensi sampel *DSSC* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Efisiensi *DSSC*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel *DSSC* yang ditambahkan bahan pengental pada elektrolit mengalami kenaikan efisiensi seiring dengan penambahan konsentrasi tersebut. Efisiensi *DSSC* tertinggi terdapat pada sampel dengan penambahan gum xhantan 3% sebesar 0,019%, dan efisiensi *DSSC* terendah terdapat pada sampel kontrol yang tidak ditambahkan bahan pengental yaitu sebesar 0,004%. Sampel *DSSC* dengan penambahan bahan pengental gum xhantan pada larutan elektrolit memiliki efisiensi meningkat sesuai dengan penambahan konsentrasi masing-masing efisiensi secara berurutan adalah 0,004%,

0,010%, dan 0,019%. Gum xanthan merupakan salah satu biopolimer yang memiliki sifat hidrofilik sehingga dengan mudah larut pada air dingin dan panas, namun tidak mudah larut pada kebanyakan pelarut organik (Gustiani *et. al.*, 2017). Gum xhantan merupakan polisakarida yang mudah larut dalam air serta sebagai zat penstabil tiksotropik yang viskositasnya rendah. Elektrolit yang ditambahkan gum xhantan dapat meningkatkan stabilitas dalam jangka panjang (Galliano *et.al.*, 2020).

Hasil pengujian sampel *DSSC* memiliki nilai yang berbeda, pada sampel *DSSC* kontrol efisiensi yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan hasil pengujian sampel *DSSC* yang tidak berikan tambahan bahan pengental gum xhantan ataupun gum arabik pada larutan elektrolit, maka dapat dikatakan bahwa penambahan bahan pengental pada larutan elektrolit berpengaruh pada stabilitas kinerja. Elektrolit yang ditambahkan bahan pengental dapat mencegah terjadinya penguapan yang menghasilkan arus dan tegangan yang stabil. Hal tersebut didukung dengan penelitian Galliano *et.al.*, (2020) penggunaan elektrolit gel untuk *DSSC* menghasilkan nilai efisiensi sebesar 4,40% bahkan setelah 288 jam, sedangkan nilai efisiensi elektrolit cair sebesar 2,28% karena koefisien difusi yang lebih rendah dan UV- terhadap penyerapan.

Elektrolit gel membutuhkan waktu lebih lama untuk menguap daripada elektrolit cair, sehingga lebih sedikit iodine yang hilang melalui penguapan. Sel elektrolit gel *DSSC* juga memiliki keadaan oksidasi yang lebih rendah dibandingkan sel elektrolit cair. Stabilitas jangka panjang dicapai dengan menggunakan elektrolit gel yang mengurangi kehilangan elektrolit dan penguapan.

KESIMPULAN

Performa *DSSC* terbaik menggunakan *dye* eceng gondok dengan penambahan bahan pengental pada larutan elektrolit gum xhantan adalah dengan konsentrasi bahan pengental 3%. Karakter kelistrikan yang dihasilkan pada sampel tersebut adalah I_{sc} : 0,0138 mA, V_{oc} : 0,743 mV, I_{max} : 0,0103 mA, V_{max} : 0,519 mV, P_{max} : 0,00535 mW, FF: 0,5214, dan efisiensi sebesar 0,0185%. Kadar klorofil yang dihasilkan oleh *dye* klorofil yakni 36,3713 mg/L. Klorofil merupakan *dye* dengan kemampuan zat warna untuk menyerap cahaya dan mendonorkan electron. Larutan elektrolit pada *DSSC* berpengaruh terhadap peningkatan performa *DSSC* pada konsentrasi 3% namun pada konsentrasi 5% mengalami penurunan performa *DSSC* akibat arus rendah berasal dari konsentrasi muatan yang besar, terutama pada larutan elektrolit yang terlalu kental.

UCAPAN TERIMA KASIH

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

DAFTAR PUSTAKA

- Amrullah S., Darwis D., & Iqbal. 2017. *Dye Sensitized Solar Cell Nanokristal TiO₂ Menggunakan Ekstrak Antosianin Melastoma malabathricum L.* *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 6 (3), 321 – 331.
- 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 Titanium Dioksida. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 3 (3), 325-337.
- Dahlan, D., Leng, T, S., & Aziz, H. 2016. *Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)* dengan sensitiser *dye* alami daun pandan, akar kunyit dan biji beras merah (Black Rice). *Jurnal Ilmu Fisika*, 8 (1), 1-8.
- Firmanila, V. 2016. Karakterisasi *DSSC* pada Semikonduktor ZnO-SiO₂ dengan pewarna ekstrak buah mangsi dan daun jati. *Skripsi*. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang.
- Gibson, M., Kasman dan Iqbal. 2017. Analisa kualitas klorofil daun jarak Keyar (*Ricinus comunis* L.) sebagai bahan pewarna pada *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*. *Penelitian Sains*, 16 (2), 31-40.
- Gustiani, S., Helmy, Q., Kasipah, C., & Novarini, E., 2017. Produksi dan karakterisasi gum xanthan dari ampas tahu sebagai pengental pada proses tekstil. *Arena Tekstil*, 32 (2), 51-58.
- 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.
- Hasyim, N, A. 2016. Potensi Fitoremediasi Daun Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Dalam Mereduksi Logam Berat Seng (Zn) Dari Perairan Danau Tempe Kabupaten Wajo. *Skripsi*. Universitas Alauddin Makassar.
- Istiqomah. 2013. Perbandingan Metode Ekstraksi Maserasi dan Sokletasi terhadap Kadar Piperin Buah Cabe Jawa (*Piperis retrofracti fructus*). *Skripsi*. Program Studi Farmasi Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Megawati, M., Mulyani, N. K. C., dan Alvionita, E. A. 2020. Pengaruh perbedaan pelarut asam pada ekstraksi antosianin bunga dadap merah (*Erythrina Crista-Galli*) dengan metode *Microwave Assisted Extraction*. *Journal of Chemical Process Engineering*, 5 (1), 33-39.
- Pratama, A. J. & Laily, A. N. 2015. Analisis kandungan klorofil gandasuli (*Hedychium gardneriannum* Shephard ex Ker-Gawl) pada Tiga Daerah Perkembangan Daun yang Berbeda. *Seminar Nasional Konservasi dan Pemanfaatan Sumber Daya Alam*, 216-219.
- Pujilestari, T. 2015. Sumber dan pemanfaatan zat warna alam untuk keperluan industri. *Dinamika Kerajinan dan Batik*, 32 (2), 93-106.
- Rakhman, D. F. 2014. Pengaruh variasi konsentrasi klorofil terhadap daya keluaran *Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*. *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Sholihah, M., Ahmad, U., & Budiastira, I. W., 2017. Aplikasi gelombang ultrasonik untuk meningkatkan rendemen ekstraksi dan efektivitas antioksidan kulit manggis. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 5 (2), 161-168.
- Taqwa, K, Z, & Dwiyanoro, B, A. 2015. Studi eksperimental pengaruh intensitas cahaya terhadap performa *DSSC (Dye Sensitized Solar Cell)* dengan ekstrak buah dan sayur sebagai *Dye Sensitizer* . *Jurnal Teknik ITS*, 4 (1), 20-24).