



Artikel Penelitian

Karakterisasi Elektrokimia Ekstrak Klorofil dari Daun Salam (*Syzygium polyanthum*) pada pH Basa sebagai Sensitizer pada *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Indah Tri Wahyuni, Pirim Setiarso*

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia, 60231

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel

Diterima 29 November 2021

Direvisi 20 Mei 2022

Tersedia online 13 Desember 2022

* Penulis korespondensi:
pirimsetiarso@unesa.ac.id

ABSTRAK

Chlorophyll is a plant pigment that has the potential to be used as a dye (sensitizer) in DSSC. The performance of DSSC is highly dependent on the wide bandgap of the dye used. This study aims to determine the optimum pH of bay leaf extract in an alkaline condition through an electrochemical analysis. Bay leaves (*Syzygium polyanthum*) were extracted by maceration method using 96% ethanol solvent with a pH variation from 8 to 13. Bay leaf extract was characterized using UV-Vis spectrophotometry to determine the wavelength absorption. The results showed that the bay leaf extract contains chlorophyll compounds with absorption wavelengths of 664 and 410 nm for chlorophyll a and at wavelengths 613.5 and 466.5 nm for chlorophyll b. In electrochemical characterization, the optimum pH of bay leaf extract was 13 with a bandgap value of 0.60105 eV.

Keywords: Bay leaf, DSSC, electrochemical, chlorophyll

Klorofil merupakan pigmen tumbuhan yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai zat warna (*sensitizer*) pada DSSC. Kinerja DSSC sangat dipengaruhi oleh sensitifitas lebar *bandgap* zat warna yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pH optimum ekstrak daun salam dalam kondisi basa secara elektrokimia. Daun salam (*Syzygium polyanthum*) diekstraksi dengan metode maserasi menggunakan pelarut etanol 96% dengan variasi pH 8 hingga 13. Ekstrak daun salam dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui serapan panjang gelombang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak daun salam mengandung senyawa klorofil yang memiliki serapan panjang gelombang 664 dan 410 nm untuk klorofil a serta pada panjang gelombang 613,5 dan 466,5 nm untuk klorofil b. Pada karakterisasi elektrokimia, pH optimum ekstrak daun salam yaitu pada pH 13 dengan nilai *bandgap* sebesar 0,60105 eV.

Kata kunci: Daun salam, DSSC, elektrokimia, klorofil

1. Pendahuluan

Energi merupakan kebutuhan yang sangat penting dalam memenuhi segala kebutuhan hidup manusia. Hingga saat ini, sumber energi masih didominasi oleh energi tidak terbarukan yang berasal dari fosil seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara. Ketersediaan sumber energi tersebut di alam semakin lama akan semakin menipis jumlahnya sehingga perlu diciptakan sumber energi alternatif dan terbarukan. Pemanfaatan sinar matahari merupakan alternatif yang paling potensial karena ketersediaannya yang melimpah di alam. Sinar matahari dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan teknologi sel surya. Salah satu teknologi sel surya yang saat ini menarik perhatian para peneliti yaitu *dye sensitized solar cell* (DSSC). DSSC atau dikenal dengan istilah sel surya generasi ketiga, pertama kali dikembangkan oleh O'Regan dan

Gratzel pada tahun 1991 [1-3]. Prinsip kerja sel surya berlangsung melalui sistem fotovoltaik yang dapat mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik berdasarkan sensitifitas lebar *bandgap* dari bahan semikonduktor [4]. Di antara sel surya lainnya, DSSC memiliki keunggulan yaitu biaya produksi yang rendah, efisiensi tinggi, fabrikasi sederhana, ramah lingkungan, dan transformasi energi yang baik dalam keadaan terang maupun gelap [5].

Salah satu komponen penting yang dapat mempengaruhi efisiensi DSSC adalah pewarna. Pewarna berfungsi menyerap cahaya untuk menghasilkan elektron dan mengirimkan elektron ke pita konduksi semikonduktor [6]. Setiap pewarna harus memiliki karakteristik khusus seperti: (a) mengandung gugus kromofor yang dapat memberikan karakteristik zat warna, (b) absorpsi pada spektra kisaran daerah cahaya tampak (400–700 nm), (c) mengandung gugus karboksil atau hidroksil yang dapat mengikat permukaan semikonduktor dengan baik untuk mempermudah proses transfer elektron ke celah pita konduksi semikonduktor, (d) memiliki stabilitas yang baik dalam menyerap foton, (e) energi HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) harus lebih rendah dari potensial redoks elektrolitnya, dan (f) energi LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) harus cukup tinggi dari pita konduksi semikonduktor [7-9].

Pewarna pada DSSC meliputi pewarna sintesis dan pewarna alami. Penggunaan pewarna sintesis berbasis Ruthenium menghasilkan efisiensi yang besar pada DSSC yaitu sekitar 11-12% [10]. Namun, pewarna jenis ini memiliki beberapa kelemahan seperti harganya mahal, sulit didapat, sifatnya beracun, sulit untuk disintesis, dan tidak ramah lingkungan [11]. Hal ini menyebabkan pewarna alami terus dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut meskipun efisiensi yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan pewarna sintesis. Hal ini dikarenakan cepatnya laju degradasi pewarna dan kurangnya ikatan terhadap TiO₂ [12]. Di sisi lain, pewarna alami memiliki beberapa keunggulan seperti absorpsi besar pada spektra daerah cahaya tampak, biaya produksi yang rendah, mudah diekstraksi, ketersediaannya yang melimpah di alam, tidak beracun, dan ramah lingkungan [11]. Pada umumnya, pewarna alami diambil dari bagian tumbuhan seperti bunga, daun, dan buah karena mengandung beragam pigmen seperti klorofil dan antosianin [13].

Hal di atas menjadi latar belakang penelitian ini, dimana dilakukan analisis kinerja pewarna alami dari ekstrak daun salam (*Syzygium polyanthum*) yang berperan sebagai zat warna (*sensitizer*) pada DSSC. Pemilihan daun salam pada penelitian ini karena sepengetahuan penulis belum ada peneliti yang memanfaatkan daun salam sebagai *sensitizer* pada DSSC. Daun salam mudah ditemukan di Indonesia dan penggunaannya diharapkan dapat memaksimalkan pemanfaatan daun salam yang selama ini hanya digunakan sebagai obat tradisional atau penyedap masakan [14]. Daun salam mengandung pigmen klorofil yang dapat menyerap cahaya pada panjang gelombang 400-700 nm [15]. Klorofil memiliki dua jenis molekul berbeda yaitu klorofil a dan klorofil b, yang memiliki puncak serapan pada panjang gelombang 410, 430, dan 662 nm untuk klorofil a sedangkan klorofil b pada panjang gelombang 453 dan 642 nm [16]. Klorofil juga dapat mengkonversi energi lebih baik karena memiliki gugus karboksilat yang dapat mengikat semikonduktor TiO₂ sehingga menyebabkan efisiensi DSSC meningkat [13].

Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kestabilan klorofil adalah pH karena dapat mempengaruhi kecepatan proses transfer elektron dari pewarna ke pita konduksi semikonduktor sehingga dapat berpengaruh terhadap nilai *bandgap* yang dihasilkan. Pada media basa, kondisi klorofil lebih stabil, sehingga dapat menghindari terjadinya proses degradasi klorofil menjadi feofitin [17-18]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan pH optimum ekstrak daun salam dalam kondisi basa secara elektrokimia. Sebagai studi pendahuluan, ekstrak daun salam dikarakterisasi dengan metode spektrofotometri UV-Vis untuk mengetahui serapan panjang gelombang ekstrak daun salam. Karakterisasi elektrokimia dilakukan dengan metode voltametri siklik untuk menentukan keadaan HOMO dan LUMO serta nilai *bandgap* pewarna. Nilai *bandgap* yang dihasilkan kemudian digunakan untuk menentukan pH optimum ekstrak daun salam yang berpotensi sebagai *sensitizer* pada DSSC.

2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan

Pada penelitian ini, bahan utama yang digunakan yaitu daun salam (*Syzygium polyanthum*) sedangkan bahan kimia yang digunakan adalah aquades (CIMS), etanol 96% *pro analysis* (FULLTIME), NaOH *pro analysis* (Merck), dan KCl *pro analysis* (Merck).

2.2. Ekstraksi Pewarna Alami (Dye)

Bahan yang digunakan sebagai pewarna alami yaitu daun salam. Daun salam segar dicuci di bawah aliran air untuk menghilangkan kotoran yang menempel kemudian daun salam ditiriskan agar terbebas dari sisa-sisa air cucian. Selanjutnya, daun salam yang telah kering dipotong kecil-kecil untuk mendapatkan hasil ekstrak yang maksimal. Untuk proses ekstraksi dilakukan dengan metode maserasi yaitu sebanyak 10 gram sampel direndam dalam 50 mL etanol 96% selama 24 jam pada ruangan gelap sehingga dihasilkan perbandingan sampel:pelarut adalah 1:5 (b/v) [19]. Selanjutnya

ekstrak disaring dengan menggunakan kertas saring Whatman No.42 untuk mendapatkan filtrat. Filtrat yang diperoleh dikumpulkan dalam satu wadah kemudian ditutup dengan aluminium foil agar tidak terjadi evaporasi.

2.3. Penentuan pH Optimum

Penentuan pH optimum pewarna alami dilakukan dengan kondisi basa yaitu sampel daun salam diekstraksi menggunakan pelarut etanol dengan menambahkan NaOH 0,6 M hingga pH larutan menjadi 8, 9, 10, 11, 12, dan 13. Ekstrak daun salam dengan variasi pH dilakukan uji pendahuluan menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis kemudian dilakukan analisis secara elektrokimia dengan metode voltametri siklik. Hasil voltamogram dengan berbagai variasi pH dibandingkan untuk mendapatkan pH optimum.

2.4. Analisis Serapan Pewarna Alami

Analisis hasil ekstrak daun salam dengan variasi pH (8, 9, 10, 11, 12, dan 13) dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu 1800) dengan panjang gelombang cahaya yang digunakan antara 400-700 nm untuk mengetahui serapan panjang gelombang maksimum kandungan senyawa yang terkandung dalam ekstrak daun salam [20].

2.5. Analisis Elektrokimia Pewarna Alami

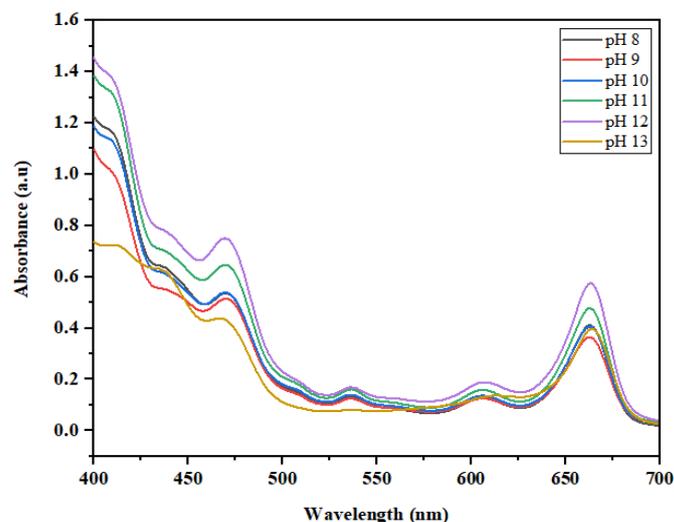
Analisis elektrokimia dilakukan untuk melihat energi HOMO dan LUMO sehingga dapat ditentukan nilai *bandgap* pewarna [21]. Karakterisasi elektrokimia hasil ekstrak daun salam dilakukan menggunakan instrumen voltameter tipe 797 VA Computrace dengan rentang potensial -1000 mV-1000 mV, waktu deposisi 10 detik, dan laju pindai 10 mV/detik. Di sini, kawat tembaga digunakan untuk elektroda kerja, Ag/AgCl untuk elektroda referensi, dan KCl 3 M digunakan sebagai elektrolit pendukung [22].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Serapan Panjang Gelombang Ekstrak Daun Salam

Proses ekstraksi daun salam dilakukan menggunakan metode maserasi. Ekstraksi dengan metode maserasi memiliki beberapa kelebihan di antaranya dapat mencegah terjadinya penguraian senyawa atau zat aktif yang sifatnya labil terhadap pemanasan, zat aktif yang diekstrak tidak akan rusak, serta mampu mengekstrak senyawa aktif dengan baik. Prinsip ekstraksi dengan metode maserasi berdasarkan distribusi zat terlarut berdasarkan sifat kelarutannya dalam pelarut di mana akan terjadi pemecahan dinding sel karena perbedaan tekanan antara bagian dalam sel dan luar sel sehingga senyawa aktif dalam sampel akan terlarut ke dalam zat pelarut yang digunakan [23-25].

Daun salam diekstraksi menggunakan pelarut etanol 96% dengan variasi pH (8-13). Pemilihan etanol sebagai pelarut karena memiliki kelarutan yang relatif tinggi dan bersifat inert sehingga tidak bereaksi dengan komponen lainnya. Etanol juga bersifat semipolar karena dapat melarutkan baik senyawa polar maupun nonpolar [26]. Ekstrak daun salam dengan berbagai variasi pH dianalisis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang antara 400-700 nm. Hal ini bertujuan untuk mengetahui daerah serapan panjang gelombang maksimum senyawa yang terkandung dalam ekstrak daun salam.



Gambar 1. Spektra serapan panjang gelombang ekstrak daun salam dengan variasi pH (8-13)

Berdasarkan **Gambar 1** diketahui bahwa ekstrak daun salam pada variasi pH (8-13) memiliki serapan panjang gelombang maksimum pada daerah 400-480 nm dan 600-680 nm yang menunjukkan daerah serapan molekul klorofil. Klorofil dapat menyerap cahaya pada panjang gelombang 400-700 nm dan memiliki 2 jenis molekul berbeda yaitu klorofil a dan klorofil b [27]. Klorofil a memiliki puncak serapan pada panjang gelombang 410, 430 dan 662 nm, sedangkan klorofil b pada panjang gelombang 453 dan 642 nm [16]. Klorofil a mempunyai gugus metil (-CH₃) yang bersifat kurang polar, sedangkan klorofil b bersifat polar karena mengikat gugus formil (-CHO) [28]. Hasil karakterisasi ekstrak daun salam menunjukkan bahwa senyawa yang terkandung dalam hasil ekstrak yaitu klorofil. Hal ini bersesuaian dengan penelitian sebelumnya, klorofil yang diekstrak dari daun bayam dengan perlakuan variasi pH memiliki serapan panjang gelombang maksimum pada daerah 400-480 dan 600-680 nm [29].

Tabel 1. Serapan Panjang Gelombang Ekstrak Daun Salam pada Variasi pH

pH	λ_{maks} (nm)	Jenis Klorofil
8	663	Klorofil a
	606	Klorofil b
	469,5	Klorofil b
9	662,5	Klorofil a
	606	Klorofil b
	470	Klorofil b
10	663	Klorofil a
	606	Klorofil b
	469,5	Klorofil b
11	663	Klorofil a
	606	Klorofil b
	469,5	Klorofil b
12	663,5	Klorofil a
	607	Klorofil b
	469,5	Klorofil b
13	664	Klorofil a
	613,5	Klorofil b
	466,5	Klorofil b
	410	Klorofil a

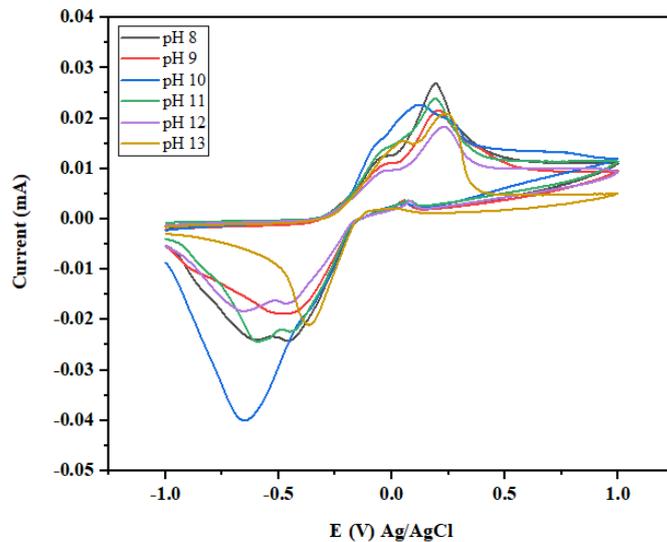
Tabel 1 menunjukkan serapan panjang gelombang maksimum senyawa yang terkandung dalam ekstrak daun salam dari pH 8-13. Hasil ekstrak daun salam pada pH 13 menghasilkan serapan maksimum pada panjang gelombang 664 dan 410 nm yang diduga senyawa klorofil a serta pada panjang gelombang 613,5 dan 410 nm yang diduga senyawa klorofil b. Secara teori, klorofil a memiliki puncak serapan pada panjang gelombang 410, 430 dan 662 nm, sedangkan klorofil b pada panjang gelombang 453 dan 642 nm [16]. Berdasarkan hasil yang didapatkan terjadi pergeseran serapan panjang gelombang yang diduga akibat dari efek pH pelarut. Perubahan pH pelarut akan berpengaruh terhadap warna hasil ekstrak daun salam karena setiap warna akan menyerap cahaya dengan warna dan panjang gelombang yang berbeda [30]. Klorofil juga sangat rentan mengalami degradasi warna yang disebabkan oleh pengaruh suhu, pH, ataupun cahaya. Pada kondisi pH tinggi (basa) dan suhu rendah, klorofil bersifat stabil sedangkan pada pH rendah (asam) dan suhu tinggi, klorofil sangat rentan mengalami degradasi menjadi senyawa feofitin [31].

Proses ekstraksi daun salam dilakukan dengan menambahkan larutan NaOH hingga pH larutan menjadi 8, 9, 10, 11, 12, dan 13. Penambahan larutan NaOH menciptakan kondisi basa pada ekstrak daun salam. Dari hasil analisis serapan panjang gelombang ekstrak daun salam menggunakan spektrofotometer UV-Vis terlihat bahwa semakin tinggi pH dapat mencegah reaksi pembentukan feofitin yang berimplikasi adanya perubahan warna pada ekstrak daun salam. Hal ini dapat ditunjukkan dengan semakin besarnya nilai serapan panjang gelombang ekstrak daun salam dari pH 8-13. Dapat disimpulkan, ditinjau dari hasil karakterisasi ekstrak daun salam dengan spektrofotometer UV-Vis, sampel memiliki serapan panjang gelombang pada daerah cahaya tampak sehingga dapat digunakan sebagai *sensitizer* pada DSSC.

3.2. Analisis Elektrokimia Ekstrak Daun Salam

Analisis elektrokimia ekstrak daun salam dengan variasi pH (8-13) dilakukan dengan menggunakan voltameter siklik yang bertujuan untuk menentukan nilai *bandgap* ekstrak daun salam. Voltametri siklik merupakan suatu metode yang digunakan untuk menganalisis sifat elektrokimia pewarna [21]. Penentuan pH optimum dilakukan dengan 25 mL campuran larutan yaitu antara ekstrak daun salam dengan variasi pH (8-13) sebanyak 20 mL dengan 5 mL KCl 3 M [19]. pH optimum adalah keadaan dimana analit memberikan arus reduksi dan oksidasi tertinggi pada instrumen voltameter [32]. Pengukuran

dilakukan dengan menggunakan rentang potensial -1000 mV-1000 mV, waktu deposisi 10 detik, dan laju pindai 10 mV/detik. Hasil pengukuran berupa voltamogram yang dapat ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Hasil voltamogram ekstrak daun salam pada kondisi variasi pH (8-13)

Pada **Gambar 2** dapat ditunjukkan bahwa terjadi aktivitas redoks pada pewarna dari ekstrak daun salam. Dari hasil voltamogram yang diperoleh kemudian dianalisis untuk menentukan energi HOMO dan LUMO pada pewarna (*dye*). HOMO dianggap sebagai proses oksidasi dan LUMO dianggap sebagai proses reduksi [33]. Dalam karakterisasi elektrokimia, penting untuk melihat energi HOMO dan LUMO karena dapat menentukan energi celah pita (*bandgap*) pewarna. Pewarna harus memenuhi persyaratan tertentu seperti energi HOMO harus lebih rendah dibandingkan dengan potensial redoks elektrolitnya yaitu -4,8 eV dan energi LUMO harus cukup tinggi dibandingkan pita konduksi semikonduktor TiO₂ yaitu -3,2 eV [9, 34]. Keadaan energi HOMO dan LUMO pewarna dapat ditentukan menggunakan **Persamaan (1) dan (2)** [9].

$$E_{\text{HOMO}} = -e[E_{\text{oks}} + 4,4] \tag{1}$$

$$E_{\text{LUMO}} = -e[E_{\text{red}} + 4,4] \tag{2}$$

Dari nilai energi HOMO dan LUMO yang ditentukan melalui **Persamaan (1) dan (2)** kemudian dapat ditentukan energi *bandgap* pewarna menggunakan **Persamaan (3)** [9]. Energi *bandgap* menunjukkan energi minimum yang dibutuhkan untuk mengeksitasi elektron dari keadaan HOMO ke LUMO.

$$E_g = E_{\text{LUMO}} - E_{\text{HOMO}} \tag{3}$$

Tabel 2. Tingkat Energi Ekstrak Daun Salam pada Kondisi Variasi pH

pH	E _{oks} (V)	E _{HOMO} ^{CV} (eV)	E _{red} (V)	E _{LUMO} ^{CV} (eV)	E _{Bandgap} (eV)
8	0,18748	-4,58748	-0,59509	-3,80491	0,78257
9	0,20233	-4,60233	-0,57607	-3,82393	0,7784
10	0,11902	-4,51902	-0,64865	-3,75135	0,76767
11	0,19043	-4,59043	-0,57509	-3,82491	0,76552
12	0,22614	-4,62614	-0,47012	-3,92988	0,69626
13	0,23804	-4,63804	-0,36301	-4,03699	0,60105

Berdasarkan **Tabel 2**, karakterisasi elektrokimia ekstrak daun salam dengan variasi pH (8-13) menggunakan voltameter dapat diketahui bahwa pH optimum untuk ekstrak daun salam yaitu pada pH 13 karena memiliki energi HOMO yang lebih rendah dari pita konduksi semikonduktor TiO₂. Selain itu, berdasarkan nilai energi *bandgap* ekstrak daun salam pada pH 13 memiliki nilai energi *bandgap* paling kecil dibandingkan variasi pH lainnya yaitu 0,60 eV. Semakin kecil nilai *bandgap* maka akan mempermudah untuk suatu elektron mengalami eksitasi dari keadaan HOMO ke LUMO. Semakin banyak elektron yang tereksitasi maka akan semakin banyak pula elektron yang mengalir dan menghasilkan arus yang cukup tinggi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa ekstrak daun salam berpotensi untuk digunakan sebagai *sensitizer* pada DSSC. Hal ini dapat ditunjukkan dari hasil karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis, ekstrak daun salam memiliki rentang serapan panjang gelombang pada daerah cahaya tampak yaitu 400-480 nm dan 600-680 nm yang diduga mengandung senyawa klorofil. Berdasarkan karakterisasi elektrokimia menunjukkan bahwa pH optimum ekstrak daun salam yaitu pada pH 13. Hal ini dilihat dari energi HOMO dan LUMO yang dihasilkan yaitu sebesar -4,64 dan -4,03 eV dengan nilai *bandgap* sebesar 0,60 eV. Pada pH 13, hasil ekstrak daun salam memiliki nilai *bandgap* yang paling kecil dibandingkan variasi pH lainnya sehingga regenerasi pewarna lebih mudah dilakukan dan transfer elektron tidak memerlukan energi yang besar sehingga dihasilkan arus yang cukup tinggi. Pada penelitian ini belum diketahui nilai efisiensi DSSC sehingga diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat menentukan nilai efisiensi DSSC menggunakan *sensitizer* alami dari ekstrak daun salam dan dapat menganalisis faktor lain yang dapat mempengaruhi nilai *bandgap* pewarna selain pH.

Ucapan Terima Kasih

Saya berterima kasih kepada Ibu Vera Dessy Noevita, S.Pd. selaku Laboran Kimia Analitik dan Ibu Prof. Dr. Nita Kusumawati, M.Sc. selaku Kepala Laboratorium Jurusan Kimia Unesa serta rekan-rekan yang turut membantu kelancaran penelitian ini. Penelitian ini dapat terlaksana dengan baik di Laboratorium Jurusan Kimia, Universitas Negeri Surabaya.

Daftar Pustaka

- [1] H. K. Tajudeen, I. O. Onuigbo, S. O. Isaac, P. Moses, C. Ifekauche, E. Uwiringiyimana, O. Sylvester, M. Kane, M. Neksumi, V. F. Adams, B. O. Agboola, L. N. Okoro, O. Uche & W. J. Jahng, "Synthesis of Dye-Sensitized Solar Cells using Chromophores from West African Plants," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 8, no. 6, pp. 631-635, 2017.
- [2] A. Baharuddin, Aisyah, J. Saokani, & I. A. Risnah, "Karakterisasi Zat Warna Daun Jati (*Tectona grandis*) Fraksi Metanol: n-Heksana sebagai *Photosensitizer* pada *Dye Sensitized Solar Cell*," *Chimica et Natura Acta*, vol. 3, no. 1, pp. 37-41, 2015.
- [3] M. D. Fistiiani, F. Nurosyid, & R. Suryana, "Pengaruh Komposisi Campuran Antosianin-Klorofil sebagai Fotosensitizer terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell*," *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 13, no. 1, pp. 19-22, 2017.
- [4] M. A. Al-Alwani, N. A. Ludin, A. B. Mohamad, A. A. Kadhum, & K. Sopian, "Extraction, Preparation, and Application of Pigments from *Corydline fruticosa* and *Hylocereus polyrhizus* as Sensitizers for Dye-Sensitized Solar Cells," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 179, pp. 23-31, 2017.
- [5] M. Di antoro, D. Maftuha, T. Suprayogi, M. R. Iqbal, Solehudin, N. Mufti, A. Taufiq, A. Hidayat, R. Suryana, & R. Hidayat, "Performance of *Pterocarpus indicus* Willd Leaf Extract as Natural Dye TiO₂-Dye/ITO DSSC," *Materials Today*, vol. 17, pp. 1268-1276, 2019.
- [6] M. I. Bachtiar, M. N. Agustina, L. W. Hariyani, & F. Nurosyid, "Effect of Dye Variation on DSSC Efficiency," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1153, no. 012097, 2019.
- [7] N. V. Nikolaeva, V. Gribkova, N. Vasilievich, S. Sunaeva, & O. Skrylnikova, "Analysis of the Properties of Active Dyes," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 677, no. 052046, 2021.
- [8] M. Rossi, F. Matteocci, A. Di Carlo, & C. Forni, "Chlorophylls and Xanthophylls of Crop Plants as Dyes for Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC)," *Journal of Plant Science and Phytopathology*, vol. 1, pp. 87-94, 2017.
- [9] W. A. Dhafina, H. Salleh, M. Z. Daud, & N. Ali, "The Application of Sensitizers from Red Frangipani Flowers and Star Gooseberry Leaves in Dye-Sensitized Solar Cells," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1027, no. 012016, 2018.
- [10] S. C. Ezike, C. N. Hyelnasinyi, M. A. Salawu, J. F. Wansah, A. N. Ossai, & N. N. Agu, "Synergistic Effect of Chlorophyll and Anthocyanin Co-sensitizers in TiO₂-based Dye-Sensitized Solar Cells," *Surfaces and Interfaces*, vol. 22, no. 100882, 2020.
- [11] T. Jalali, P. Arkian, M. Golshan, M. Jalali, & S. Osfouri, "Performance Evaluation of Natural Native Dyes as Photosensitizer in Dye-Sensitized Solar Cells," *Optical Materials*, vol. 110, no. 110441, 2020.
- [12] W. A. Ayalew & D. W. Ayele, "Dye-Sensitized Solar Cells using Natural Dye as Light-Harvesting Materials Extracted from *Acanthus sennii* chiovenda Flower and *Euphorbia cotinifolia* Leaf," *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, vol. 1, pp. 488-494, 2016.
- [13] N. A. Norhisamudin, N. Sabani, M. M. Shamimin, N. Juhari, S. Shaari, M. F. Ahmad, & N. Zakaria, "The Effect of Different Solvents in Natural Dyes from Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) and Green Tea Leaves (*Camellia sinensis*) for Dye-Sensitized Solar Cell," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1755, no. 012024, 2020.
- [14] K. Harismah & Chusniatun, "Pemanfaatan Daun Salam (*Eugenia polyantha*) sebagai Obat Herbal dan Rempah Penyedap Makanan," *WARTA LPM*, vol. 19, no. 2, pp. 110-118, 2016.

- [15] E. R. Hariningtias & P. Setiarso, "Potensi Ekstrak Daun Salam (*Syzgium polyanthum*) pada pH Asam sebagai *Sensitizer* pada *Dye Sensitized Solar Cell*," *Jurnal Kimia Riset*, vol. 6, no. 2, pp. 109-116, 2021.
- [16] D. Yulianti, Sunardi, & W. Wibowo, "Effect of Tween Addition 80 on Natural Dye Extraction into Suji Leaf (*Pleomele angustifolia* N.E. Brown) and Pandan Leaves (*Pandanus amaryllifolius* Roxb)" in the 2nd International Seminar on Chemical Education (ISCE), 2017.
- [17] P. Faqih, F. Nurosyid, & T. Kusumaningsih, "Effect of Acidic Level (pH) of Dragon Fruit (*Hylocereus costaricensis*) Peels Extract on DSSC Efficiency," in AIP Conference Proceeding, vol. 2237, no. 020014, 2020.
- [18] D. K. Wening, "The Best Solvent for Extraction of Papaya Leaf (*Carica papaya* Linn) to Get a High Antioxidant," *Jurnal Ilmiah Gizi Kesehatan*, vol. 1, no. 2, pp. 10-14, 2020.
- [19] R. R. Sova & P. Setiarso, "Studi Elektrokimia Klorofil dan Antosianin sebagai Fotosensitizer DSSC (*Dye-Sensitized Solar Cell*)," *UNESA Journal of Chemistry*, vol. 10, no. 2, pp. 191-199, 2021.
- [20] M. Gibson, Kasman, & Iqbal, "Analisa Kualitas Klorofil Daun Jarak Kepyar (*Ricinus comunis* L) sebagai Bahan Pewarna pada *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)," *Gravitasi*, vol. 16, no. 2, pp. 31-40, 2017.
- [21] E. A. I. Lestari & P. Setiarso, "Studi Elektrokimia Ekstrak Betalain Umbi Bit sebagai Pewarna Alami DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*)," *UNESA Journal of Chemistry*, vol. 10, no. 3, pp. 318-325, 2021.
- [22] Q. Liu, N. Gao, D. Liu, J. Liu, & Y. Li, "Structure and Photoelectrical Properties of Natural Photoactive Dyes for Solar Cells," *Applied Sciences*, vol. 8, no. 1697, 2018.
- [23] S. Chairunnisa, N. M. Wartini, & L. Suhendra, "Pengaruh Suhu dan Waktu Maserasi terhadap Karakteristik Ekstrak Daun Bidara (*Ziziphus mauritiana* L.) sebagai Sumber Saponin," *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, vol. 7, no. 4, pp. 551-560, 2019.
- [24] I. C. Constanty & Tukiran, "Aktivitas Antioksidan dari Fraksi n-Heksana Kulit Batang Tumbuhan Jambu Semarang (*Syzgium samarangense*)," *Jurnal Kimia Riset*, vol. 6, no. 1, pp. 1-7, 2021.
- [25] D. L. Y. Handoyo, "Pengaruh Lama Waktu Maserasi (Perendaman) terhadap Kekentalan Ekstrak Daun Sirih (*Piper betle*)," *Jurnal Farmasi Tinctura*, vol. 2, no. 1, pp. 34-41, 2020.
- [26] A. K. Arsa & Z. Achmad, "Ekstraksi Minyak Atsiri dari Rimpang Temu Ireng (*Curcuma aeruginosa* Roxb) dengan Pelarut Etanol dan n-Heksana," *Jurnal Teknologi Technoscintia*, vol. 13, no. 1, pp. 83-94, 2020.
- [27] Sumiati, "Penggunaan Pelarut Etanol dan Aseton pada Prosedur Kerja Ekstraksi Total Klorofil Daun Jati (*Tectona grandis*) dengan Metode Spektrofotometri," *Indonesian Journal of Laboratory*, vol. 4, no. 1, pp. 30-35, 2021.
- [28] D. Indrasti, N. Andarwulan, E. H. Purnomo, & N. Wulandari, "Klorofil Daun Suji: Potensi dan Tantangan Pengembangan Pewarna Hijau Alami," *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, vol. 24, no. 2, pp. 109-116, 2019.
- [29] A. H. Ahliha, F. Nurosyid, & A. Supriyanto, "Kajian pH Klorofil terhadap Ikatan Kimia Dye pada TiO₂ sebagai Aplikasi *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC)," *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 14, no. 1, pp. 16-19, 2018.
- [30] O. U. Rahayu, Malahayati, & E. Harnelly, "Studi Serapan Cahaya Dye Alami Hasil Ekstrak Daun Suji dan Buah Senduduk," *Journal of Aceh Physics Society*, vol. 7, no. 2, pp. 106-109, 2018.
- [31] H. Riansyah, D. M. Maharani, & A. Nugroho, "Intensitas dan Stabilitas Warna Ekstrak Daun Pandan, Suji, Katuk, dan Kelor sebagai Sumber Pewarna Hijau Alami," *Jurnal Riset Teknologi Industri*, vol. 15, no. 1, pp. 1-10, 2021.
- [32] P. Setiarso & N. P. Sari, "Graphene Oxide-Paraffin-Nanobentonite as Working Electrode for Cyclic Voltammetry Analysis for Nicotinic Acid," *Asian Journal of Chemistry*, vol. 33, no. 4, pp. 757-761, 2021.
- [33] D. Sinha, D. De, & A. Ayaz, "Photo Sensitizing and Electrochemical Performance Analysis of Mixed Natural Dye and Nanostructured ZnO based DSSC," *Sādhanā*, vol. 45, no. 175, 2020.
- [34] L. Zang, *Energy Efficiency and Renewable Energy through Nanotechnology*. London: Springer, 2011.