

Penentuan Celah Energi Optik Hasil Ekstraksi dan Evaporasi Senyawa Antosianin Selada Laut (*Ulva Lactuca L.*) Menggunakan Metode Tauc Plot

Determination of the Optical Band gap Energy from the Extraction and Evaporation of Anthocyanin Compound Sea Lettuce (*Ulva Lactuca L.*) Using Tauc Plot Method

Fiar Tri Santika¹, Hery Suyanto^{1*}, Ni Luh Putu Trisnawati¹, I Putu Tedy Indrayana¹

¹ Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia 80361

Email: fiartrisantika@gmail.com; [*hery@unud.ac.id](mailto:hery@unud.ac.id); trisnawati@unud.ac.id; tedy.indrayana@unud.ac.id

Abstrak – Celah energi optik senyawa antosianin dari ekstrak selada laut (*Ulva lactuca L.*) sudah berhasil dihitung menggunakan metode Tauc plot. Tanaman selada laut diambil di Pantai Sanur Bali. Selada laut dikeringkan lalu dihaluskan dan diekstraksi selama 24 jam, terakhir dimaserasi melalui tiga siklus. Hasil ekstraksi kemudian dievaporasi untuk mendapatkan larutan ekstrak kental. Sampel hasil ekstraksi dan ekstraksi-evaporasi dikarakterisasi dengan UV-Vis pada rentang panjang gelombang 200-800 nm. Dari hasil karakterisasi diperoleh bahwa absorpsi dari senyawa antosianin untuk sampel hasil ekstraksi adalah pada panjang gelombang 268 dan 412 nm. Sementara itu, untuk sampel ekstraksi-evaporasi absorpsinya adalah pada panjang gelombang pada 286,5 dan 408 nm. Dengan menggunakan metode Tauc plot diperoleh nilai celah energi optik untuk sampel hasil ekstraksi dan ekstraksi-evaporasi, masing-masing 2,69 dan 2,54 eV. Oleh karena itu, senyawa antosianin baik dari sampel hasil ekstraksi maupun ekstraksi-evaporasi memenuhi syarat sebagai dye sensitized solar cell (DSSC) untuk semikonduktor TiO₂.

Kata kunci: Celah energi; antosianin; selada laut; Tauc plot; spektrofotometer UV-Vis.

Abstract – The optical energy gap of anthocyanin compounds from sea lettuce extract (*Ulva lactuca L.*) has been calculated using the Tauc plot method. Sea lettuce plants taken at Sanur Beach Bali. The sea lettuce was dried then mashed and extracted for 24 hours, the last being macerated through three cycles. The extraction results are then evaporated to obtain a thick extract solution. Extracted and evaporated-extraction samples were characterized by UV-Vis in the wavelength range of 200-800 nm. From the characterization results, it was found that the absorption of anthocyanin compounds for the extracted samples was at a wavelength of 268 and 412 nm. Meanwhile, for the extraction-evaporation sample, the absorption is at a wavelength of 286.5 and 408 nm. By using the Tauc plot method, the optical energy gap values for the extracted and extraction-evaporated samples were 2.69 and 2.54 eV, respectively. Therefore, anthocyanin compounds from both extracted and evaporation-extracted samples qualify as dye sensitized solar cells (DSSC) for TiO₂ semiconductors.

Keywords: Energy gap; anthocyanin; sea lettuce; Tauc plot; UV-Vis spectrophotometer.

1. Pendahuluan

Ketergantungan manusia pada energi listrik menyebabkan cadangan bahan bakar fosil menipis dan mengalami penurunan. Salah satu cara untuk mengatasi keterbatasan bahan bakar fosil adalah dengan mengembangkan energi terbarukan yang murah dan tidak akan habis, yaitu dengan memanfaatkan energi matahari yang dikonversikan langsung menjadi energi listrik melalui sistem sel surya. Salah satu jenis sel surya yang banyak dikembangkan adalah *dye sensitized solar cell* (DSSC) [1]. Komponen DSSC terdiri dari fotoelektroda, elektrolit dan elektroda lawan [2].

DSSC memanfaatkan tumbuh-tumbuhan sebagai zat warna alami. Tumbuhan yang dapat digunakan sebagai bahan dasar DSSC adalah yang mengandung senyawa klorofil dan senyawa antosianin [3]. Senyawa antosianin lebih efektif digunakan sebagai bahan dasar DSSC karena terdapat muatan positif

dalam struktur cincin pusat antosianin serta memiliki pita serapan dengan rentang panjang gelombang yang lebar pada daerah spektrum UV-Vis sebagai akibat dari transisi transfer elektron [4]. Keuntungan dari penggunaan senyawa antosianin pada DSSC adalah adanya gugus hidroksil (-OH) dan gugus karbonil (C=O) [5] dalam struktur molekulnya, sehingga memungkinkan terbentuknya ikatan yang kuat dengan permukaan semikonduktor TiO₂ [6].

Salah satu syarat zat warna alami dapat digunakan sebagai bahan dasar DSSC adalah harus memiliki nilai celah energi yang lebih kecil dari nilai celah energi semikonduktornya [7]. Nilai celah energi semikonduktor TiO₂ berkisar antara 3,2-3,9 eV [8]. Dalam DSSC, energi foton diserap dari sinar matahari yang terdiri dari sekitar 4% cahaya ultraviolet dan 96% cahaya tampak [9], elektron dalam zat warna akan tereksitasi dari keadaan *highest occupied molecular orbital* (HOMO) ke keadaan *lowest unoccupied molecular orbital* (LUMO) kemudian elektron akan berpindah ke pita konduksi semikonduktor TiO₂ dan kemudian berdifusi ke kaca konduktif/substrat ITO (*Indium Tin Oxide*) [10]. Celah energi menunjukkan energi yang dibutuhkan elektron untuk tereksitasi dari keadaan HOMO ke LUMO [11].

Penelitian tentang penentuan celah energi optik senyawa antosianin telah banyak dilakukan, salah satunya yaitu menunjukkan bahwa besar celah energi optik hasil ekstrak senyawa antosianin kulit buah naga merah 2,1 eV dengan spektrum puncak serapan maksimum pada panjang gelombang 532 nm [10]. Penelitian lain tentang menentukan celah energi optik menggunakan metode Tauc Plot juga dilaporkan oleh Missa dan Tedju [12, 13].

Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja zat warna alami senyawa antosianin selada laut melalui celah energi optiknya. Selada laut dipilih karena belum pernah dilakukan penelitian sebelumnya dan terdapat kandungan senyawa antosianin [14]. Selain itu selada laut sangat mudah ditemukan di Indonesia khususnya di Pulau Bali. Untuk mengetahui nilai celah energi optik senyawa antosianin selada laut perlu dilakukan analisis spektrofotometri UV-Vis untuk mengetahui serapan panjang gelombang yang kemudian dilakukan penentuan celah energi menggunakan metode Tauc Plot [15].

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan metode ekstraksi maserasi yang memiliki keunggulan yaitu prosedur dan peralatan yang digunakan sederhana dan proses ekstraksi secara alami, sehingga bahan alam yang tidak tahan panas tidak mudah terurai [16]. Sampel selada laut yang diambil dari Pantai Sanur Bali dicuci bersih, dipotong, kemudian dikeringkan pada ruangan yang tidak terkena sinar matahari selama tujuh hari. Sampel kering dihaluskan menggunakan blender sehingga didapatkan serbuk sampel yang halus. Serbuk sampel diekstraksi selama 24 jam menggunakan proses maserasi sebanyak tiga siklus untuk melarutkan kandungan senyawa antosianin. Proses ekstraksi maserasi dilakukan dengan melarutkan sebanyak 20 gram serbuk sampel selada laut ke dalam 80 ml larutan etanol 96% [17] yang telah ditambahkan dengan HCl 6% [18], selanjutnya disebut sebagai sampel ekstraksi.

Larutan hasil ekstraksi kemudian dievaporasi menggunakan alat evaporator untuk memperoleh sampel ekstrak kental. Proses evaporasi dilakukan selama 30 menit pada suhu 40°C dengan tekanan 100 mBar. Hasil evaporasi berupa larutan kental berwarna hitam pekat, selanjutnya disebut sebagai sampel ekstraksi- evaporasi.

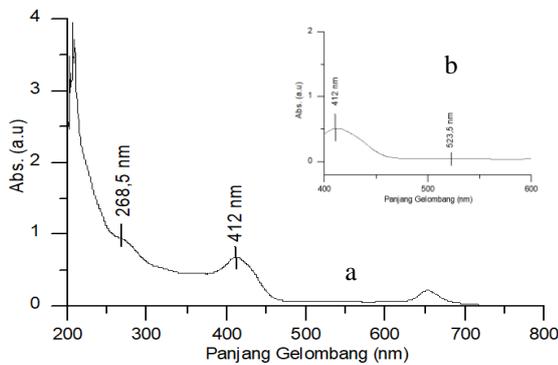
Sampel hasil ekstraksi dan ekstraksi- evaporasi dikarakterisasi dengan menggunakan spektrofotometer UV-1800 pada rentang panjang gelombang 200-800 nm. Dari hasil karakterisasi UV-Vis dilakukan analisis untuk mengetahui adanya serapan dari antosianin pada sampel. Selanjutnya, ditentukan celah energi optiknya dengan menggunakan metode Tauc Plot. Penentuan celah energi dilakukan untuk transisi langsung (*direct band gap*) dengan menggunakan persamaan (1) [12].

$$(\alpha h\nu)^2 = k(h\nu - E_g) \quad (1)$$

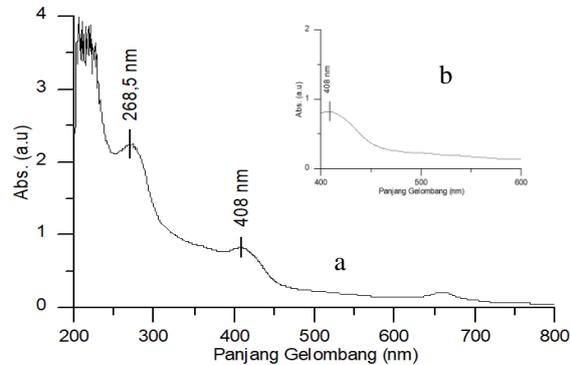
dimana α adalah koefisien serapan (cm⁻¹), h adalah tetapan Planck (4,136×10⁻¹⁵ eV.s), ν adalah frekuensi cahaya (Hz), dan k adalah konstanta serta E_g adalah celah energi dalam satuan eV. Koefisien serapan didapat dari persamaan Hukum Lambert Beer $\alpha=(2,303.A)/d$, dengan A adalah absorbansi dan d adalah ketebalan kuvet. Untuk memperoleh nilai celah energi dibuat grafik $(\alpha h\nu)^2$ sebagai fungsi $h\nu$. Dari kurva yang dihasilkan kemudian dibuat garis lurus yang melewati titik-titik data yang menghasilkan kurva linier ke arah vertikal yang paling besar. Selanjutnya, garis lurus tersebut diekstrapolasi sampai memotong sumbu energi (sumbu horizontal grafik). Nilai di mana terjadi perpotongan garis ekstrapolasi dengan sumbu energi tersebut menunjukkan nilai celah energinya.

3. Hasil Dan Pembahasan

Spektrum serapan senyawa antosianin sampel hasil ekstraksi dan hasil evaporasi selada laut menggunakan spektrofotometer UV-Vis ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2. Gambar 1a menunjukkan spektra serapan untuk sampel ekstraksi selada laut pada panjang gelombang 200-800 nm. Pada rentang tersebut terdapat dua serapan panjang gelombang senyawa antosianin, yaitu pada panjang gelombang 268 dan 412 nm. Ini menunjukkan bahwa serapan senyawa antosianin pada daerah UV dan senyawa antosianin terasilasi (adanya gugus gula pada antosianin) [19]. Apabila dilakukan pembesaran antara panjang gelombang 400-600 nm, dihasilkan gambar spektra seperti pada Gambar 1b. Dari gambar tersebut diperoleh serapan pada panjang gelombang senyawa 523,5 nm. Serapan ini menunjukkan serapan dari senyawa antosianin pada daerah cahaya tampak dan termasuk jenis antosianin delphinidin [20].



Gambar 1. Spektra serapan senyawa antosianin sampel ekstraksi selada laut.



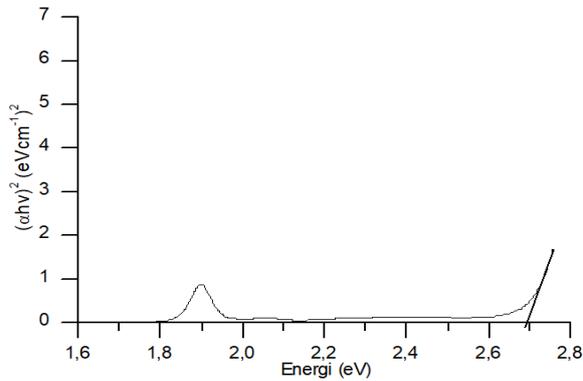
Gambar 2. Spektra serapan senyawa antosianin sampel ekstraksi-evaporasi selada laut.

Hasil karakterisasi UV-Vis untuk sampel ekstraksi-evaporasi selada laut ditunjukkan pada Gambar 2a, spektra serapan pada panjang gelombang 200-800 nm juga memperlihatkan dua serapan, yaitu pada panjang gelombang 286,5 dan 408 nm. Ini menunjukkan adanya serapan dari senyawa antosianin terasilasi [19]. Gambar 2b menunjukkan spektrum serapan senyawa antosianin sampel ekstraksi-evaporasi selada laut pada daerah panjang gelombang 400-600 nm, yang mana tidak terdeteksi adanya spektrum serapan pada 523,5 nm. Dari hasil spektra kedua sampel, juga tampak adanya puncak pada panjang gelombang pada rentang panjang gelombang 650-700 nm, yang mana menunjukkan adanya kandungan senyawa klorofil a pada sampel [21].

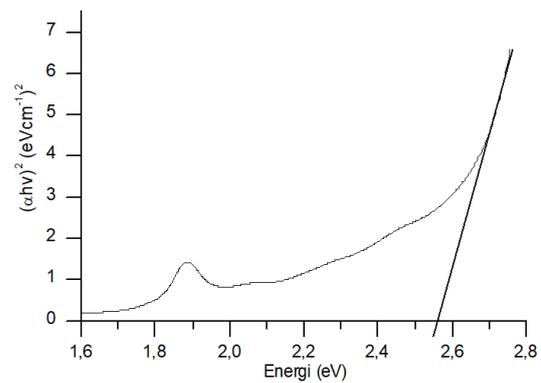
Dari Gambar 1 dan 2 terlihat bentuk spektrum absorpsinya sangat mirip. Perbedaan dari kedua sampel adalah pada nilai absorbansi masing-masing sampel, yaitu nilai absorbansi sampel hasil ekstraksi-evaporasi lebih besar dari pada sampel hasil ekstraksi. Hal ini disebabkan karena sampel ekstraksi-evaporasi lebih pekat (konsentrasinya lebih tinggi) karena kandungan senyawanya telah dimurnikan (dihilangkan pelarutnya) [22]. Semakin besar konsentrasi sampel maka semakin besar absorbansinya, absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi [23].

Hasil karakterisasi UV-Vis senyawa antosianin dalam penelitian ini hampir sama dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Hasanela [21]. Berdasarkan hasil karakterisasi senyawa antosianin selada laut tersebut menunjukkan bahwa pada kedua sampel baik sampel hasil ekstraksi maupun ekstraksi-evaporasi terdapat kandungan senyawa antosianin terasilasi yang menyebabkan warna antosianin stabil [24]. Oleh karenanya selada laut berpotensi digunakan sebagai zat warna DSSC.

Selanjutnya, dilakukan analisis terhadap celah energi untuk mengetahui apakah celah energinya memenuhi syarat sebagai zat warna DSSC untuk TiO_2 . Dari data hasil karakterisasi UV-Vis telah ditentukan celah energi dengan metode Tauc-plot sebagaimana telah dijelaskan pada Sub 2, diperoleh grafik seperti Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Kurva $(\alpha h\nu)^2$ vs. $h\nu$ untuk sampel ekstraksi selada laut.



Gambar 4. Kurva $(\alpha h\nu)^2$ vs. $h\nu$ untuk sampel ekstraksi-evaporasi selada laut.

Dari Gambar 3 dan 4 didapatkan nilai celah energi optik senyawa antosianin untuk hasil ekstraksi dan ekstraksi-evaporasi selada laut, yaitu masing-masing adalah 2,69 dan 2,54 eV. Tampak bahwa nilai celah energinya lebih kecil dari pada nilai celah energi semikonduktor TiO_2 , yaitu antara 3,2-3,9 eV [8]. Hal ini menunjukkan bahwa antosianin dari tumbuhan selada laut hasil ekstraksi dan ekstraksi-evaporasi dapat digunakan sebagai bahan zat warna DSSC. Dari nilai celah energinya tampak bahwa antosianin dari tumbuhan selada laut yang dibuat dengan cara ekstraksi-evaporasi menghasilkan nilai celah energi yang lebih kecil dari pada antosianin hasil ekstraksi saja. Oleh karenanya selada laut yang dibuat dengan cara ekstraksi-evaporasi lebih baik digunakan sebagai bahan dasar DSSC untuk semikonduktor TiO_2 .

4. Kesimpulan

Pada tanaman selada laut terdapat kandungan senyawa antosianin dengan nilai celah energi optik untuk sampel hasil ekstraksi dan ekstraksi-evaporasi masing-masing adalah 2,69 eV dan 2,54 eV. Dari kedua sampel, antosianin hasil ekstraksi-evaporasi lebih berpotensi digunakan sebagai bahan dasar zat warna DSSC untuk semikonduktor TiO_2 karena memiliki nilai celah energi yang lebih kecil dibandingkan dengan antosianin hasil ekstraksi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak Laboratorium Terpadu Fakultas MIPA Universitas Udayana yang telah memberikan bantuan berupa fasilitas dalam penelitian serta LPPM Universitas Udayana yang telah memberikan hibah Penelitian Unggulan Udayana (PUU) dari dana DIPA PNBPU Universitas Udayana TA-2022, sesuai dengan Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Penelitian Nomor: B/78.772/UN14.4.A/PT.01.03/2022, Tanggal 20 April 2022.

Pustaka

- [1] W. R. Aprilla, A. Haris, Sintesis Semikonduktor TiO_2 serta Aplikasinya pada *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) menggunakan *Dye* Indigo Carmine, *Jurnal Kimia sains dan Aplikasi*, vol. 19, no. 3, 2016, pp. 111-117.
- [2] A. Carella, F. Borbone, and R. Centore, Research Progress on Photosensitizers for DSSC, *Frontiers in Chemistry*, vol. 6, no. 481, 2018, pp. 1-24.
- [3] M. A. Ridwan, E. Noor, M.S Rusli, *et al.*, Fabrication of Dye-Sensitized Solar Cell using Chlorophylls Pigment from Sargassum, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 144, no. 1, 2018, pp. 1-7.
- [4] W. Ghann, H. Kang, T. Sheikh, *et al.*, Fabrication, Optimization and Characterization of Nature Dye Sensitized Solar Cell, *Journal Scientific Reports*, vol. 7, 2017, pp. 1-12.
- [5] E. Krawczak, Dye Photosensitizers and Their Influence on DSSC Efficiency: a Review, *Journal of Informatics, Control, Measurement in Economy and Environmental Protection*, vol. 3, 2019, pp. 86-90.
- [6] A. Baharuddin, Aisyah, J. Saokani, *et al.*, Karakterisasi Zat Warna Daun Jati (*Tectonagrandis*) Fraksi Metanol: *n*-Heksana sebagai Photosensitizer pada *Dye Sensitized Solar Cell*, *Jurnal Chimica at Natura Acta*, vol. 3, no. 1, 2015, pp. 37-41.

- [7] E. Marselinus, Dandara, R. K. Pingak, *et al.*, Estimasi Celah Energi Senyawa Hasil Ekstrak Daun Sirsak (*Annona muricata* L.) Menggunakan Metode Tauc Plot, *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya*, vol. 4, no. 1, 2019, pp. 48-51.
- [8] M. Yuspriyanto, T. A. Zaharah, I. H. Silalahi, Bandgap Energy of TiO₂/M-Chlorophyll Material (M=Cu²⁺, Fe³⁺), *Journal of Scientific and Applied Chemistry*, vol. 24, no. 4, 2021, pp. 126-135.
- [9] Hardani, H. darmaja, M. I. darmawan, Cari, A. Supriyanto, Pengaruh Perubahan Intensitas Cahaya Halogen Ruthenium (N719) Fotosensitizer dalam *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC), *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya*, vol. 6, no. 2, 2016, pp. 70-76.
- [10] I. Hikmah, G. Prajitno, Pengaruh penggunaan *Gel-Electrolyte* pada Prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) berbasis TiO₂ Nanopartikel dengan Ekstrak Murbei (*Morus*) sebagai *Dye Sensitizer* pada Substrat kaca ITO, *Jurnal sains dan Seni ITS*, vol. 4, no. 1, 2015, pp. B5-B10.
- [11] 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, 2021, pp. 191-199.
- [12] M. M. Y. Missa, R. K. Pingak, H. I. Sutaji, Penentuan Celah Energi Optik Ekstrak Daun Alpukat (*Persea Americana mill*) Asal Desa Oinlasi Menggunakan Metode *Tauc Plot*, *Jurnal Fisika Sains dan Aplikasinya*, vol. 3, no. 2, 2018, pp. 86-90.
- [13] J. B. Tedju, M. Bukit, A. Z. Johannes, Kajian Awal Sifat Optik Senyawa Hasil Ekstraksi Daun Gamal (*Gliricidia Sepium*) Asal Kota Kupang, *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya*, vol. 3, no. 3, 2018, pp.142-146.
- [14] A. S. Windyaswari, Elfahmi, F. Faramayuda, *et al.* Profil Fitokimia Selada Laut (*Ulva lactuca*) dan Mikro Alga Filamen (*Spirogyra sp*) sebagai Bahan Alam Bahari Potensial dari Perairan Indonesia, *Jurnal Ilmiah Farmasi*, vol. 7, no. 2, 2019, pp. 88-101.
- [15] Agus, H. D. fahyuan, Damris, Penentuan Nilai *Energy Gap* Lapisan Tipis TiO₂/C dengan Menggunakan Metode *Tauc Plot*, *JIFP (Jurnal Fisika dan Pembelajarannya)*, vol. 3, no. 1, 2019, pp. 63-67.
- [16] A. R. Kodo, K. A. C. Adelia, Y. Boiman, Kajian Awal Sifat Optik Senyawa Hasil Ekstraksi Daun Binahong (*Anredera Cordifolia*) Asal Kabupaten Kupang, *Magnetic: Research Journal Of Physics and Its Application*, vol. 2, no. 1, 2022, pp. 112-117.
- [17] A. Kurniawati, Pengaruh Jenis Pelarut pada Proses Ekstraksi Bunga Mawar dengan Metode Maserasi sebagai aroma Parfum, *Journal of Creativity Student*, vol. 2, no. 2, 2019, pp. 74-83.
- [18] N. Tazzar, F. Violalita, M. Harni, Pengaruh Metoda Ekstraksi terhadap Karakteristik Ekstrak Peekat Pigmen antosianin dari Buah Senduduk (*Melastoma malabothricum L.*) serta Kajian Aktivitas Antioksidannya, *Jurnal Penelitian Pertanian Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh*, vol. 17, no. 1, 2018, pp. 10-17.
- [19] S. Saha, J. Singh, A. Paul, *et al.*, Anthocyanin Profiling Using UV-Vis Spectroscopy and Liquid Chromatography Mass Spectrometry, *Journal of AOAC International*, Vol. 103, 2019, pp. 1-17.
- [20] N. Y. amogne, D. W. Ayele, Y. A. Tsigie, Recent Advances in Anthocyanin Dyes Extracted from Plants for Dye Sensitized Solar Cell, *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, vol. 9, no. 23, 2020, pp. 1-16.
- [21] Redita Sari Waluyo, Identifikasi *Crude* dan Isolasi Klorofil *a* dari Rumpun Laut Hijau (*Caulerpa racemosa*) dengan Pengujian Spektroskopi FTIR, *Skripsi*, Jurusan Manajemen Sumber Daya Perairan, Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya, 2015.
- [22] N. Hasanela, N. Gaspersz, R. Silaban, M. R. Sohilait, Pengaruh Lama Penyimpanan Ekstrak Kasar Makroalga *Ulva Lactuca* terhadap Kestabilan Pigmen Fotosintesis, *Jurnal Inovasi Pendidikan dan Sains*, vol. 1, no. 3, 2020, pp. 72-78.
- [23] N. L. P. V. Paramita, L. D. Rasmita, I. G. A. A. R. C. Putri, *et al.*, Perbandingan Aktivitas Antibakteri Ekstrak Kaya Antosianin dari Kulit Ubi Jalar Ungu (*Ipomea batatas L.*) dan Kulit Buah Anggur Hitam (*Vitis Vinifera L.*) terhadap Isolat Bakteri *Propionibacterium acnes*, *Jurnal Farmasi Udayana*, vol. 5, no. 2, 2016, pp. 53-57.
- [24] A. E. K. Lemau, R. K. Pingak, A. Z. Johannes, Kajian Awal Potensi Ekstrak Kulit Buah Lontar (*Borassus Flabellifer L.*) sebagai *Dye* Alami untuk *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC), *Magnetic: Research Journal Of Physics and Its Application*, vol. 1, no. 2, 2021, pp. 62-65.

- [25] D. Handarni, S. H. Putri, Tensiska, Skrining Kualitatif Fitokimia Senyawa Antibakteri pada Ekstrak Daun Jambu Biji (*Psidium guajava* L.), *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem*, vol. 8, no. 2, 2020, pp. 182-188.