

OPTIMASI POTENSI EKSTRAK RIMPANG TEMULAWAK (CURCUMA XANTHORRIZA ROXB) pH ASAM SEBAGAI SENSITIZER PADA DSSC

Tri Dyah Andianita¹, Pirim Setiarso^{1*},

¹Jurusan Kimia, Universitas Negeri Surabaya, Jl. Ketintang, Surabaya, 60231, Indonesia

Author, email: tri.18059@mhs.unesa.ac.id

*Corresponding Author, email: pirimsetiarso@unesa.ac.id

ABSTRACT

Energy has an important role in life on earth. One alternative energy that is often used to overcome the problem of the electrical energy crisis is sunlight through a process called photovoltaic (PV). At this time DSSC is the use of solar cell technology that is being developed. The performance of a DSSC depends on the dye. The use of natural dyes in DSSC is still being developed to produce dyes that are easily available and environmentally friendly. This study aims to determine the wavelength absorption spectrum and band gap value of curcuma xanthoriza roxb extract at acidic pH. In this study, the method used for extraction is the maceration method. Curcuma xanthoriza roxb results were characterized by using a UV-Vis spectrophotometer and voltameter to determine the wavelength absorption and band gap energy of the extract. The results of the characterization using UV-Vis spectrophotometer showed that the curcuma xanthoriza roxb extract contained curcumin compounds in terms of the absorption length range of 423 - 425 nm. The smallest band gap energy at pH 1 is 0.66651 eV with LUMO values of 0.63675 eV and HOMO -0.02976 e. The result of the smallest band gap energy will maximize DSSC performance. Based on the results obtained, curcuma xanthoriza roxb extract has the potential to be used as a natural dye in DSSC in terms of the smallest band gap energy.

Keywords: Curcumin; pH; DSSC

ABSTRAK

Energi memiliki peranan penting dalam kehidupan di dunia. Salah satu energi alternatif yang sering digunakan untuk mengatasi permasalahan krisis energi listrik yaitu sinar matahari yang melalui sebuah proses yang dinamakan photovoltaic (PV). Pada saat ini DSSC merupakan pemanfaatan teknologi sel surya yang sedang dikembangkan. Kinerja dari sebuah DSSC bergantung pada pewarna. Penggunaan pewarna alami pada DSSC masih terus dikembangkan untuk dapat menghasilkan pewarna yang mudah didapatkan dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui spektrum serapan panjang gelombang dan nilai band gap ekstrak rimpang temulawak pada pH asam. Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk ekstraksi yaitu metode maserasi. Hasil ekstraksi rimpang temulawak dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan voltameter untuk mengetahui serapan panjang gelombang dan energi band gap dari ekstrak tersebut. Hasil karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV – Vis menunjukkan bahwa ekstrak rimpang temulawak mengandung senyawa kurkumin yang ditinjau dari hasil rentang panjang serapan sebesar 423 – 425 nm. Karakterisasi ekstrak rimpang temulawak dengan voltameter menghasilkan nilai HOMO, LUMO dan energi band gap. Energi band gap yang paling kecil pada pH 1 yaitu 0.66651 eV dengan nilai LUMO 0.63675 eV dan HOMO -0.02976 e. Hasil dari energi band gap yang paling kecil akan memaksimalkan kinerja DSSC. Berdasarkan hasil yang diperoleh ekstrak rimpang temulawak berpotensi digunakan sebagai zat pewarna alami pada DSSC yang ditinjau dari energi band gap terkecil.

Kata Kunci: Kurkumin; pH; DSSC

I. PENDAHULUAN

Energi memiliki peranan penting dalam kehidupan di dunia ini. Energi sendiri sangat dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan hidup setiap individu^[1]. Sinar matahari saat ini merupakan salah satu sumber energi alternatif yang terbaharukan serta ramah lingkungan^[2]. Pemanfaatan teknologi sel surya yang saat ini sedang dikembangkan yaitu DSSC.

DSSC dapat mengonversi sinar tampak menjadi energi listrik berdasarkan dari sensitivitas lebar *band gap* yang berasal dari semikonduktor. Ikatan antara molekul pewarna dan *spectrum absorbs* dengan TiO_2 sebagai permukaan adalah parameter yang penting untuk menentukan efisiensi sel, sehingga performa dari sel tersebut bergantung pada penggunaan *dye* sebagai sensitizer^[3].

Sel surya berbasis DSSC menggunakan molekul pewarna yang di letakkan pada kaca konduktif yang telah di lapisi TiO_2 sebagai semikonduktor^[4]. Pewarna akan mengalami reaksi redoks dengan elektrolit yang digunakannya^[5]. Kinerja sebuah DSSC bergantung pada zat pewarna yang digunakan. Spektrum penyerapan warna dan penempelan ke permukaan semikonduktor TiO_2 merupakan parameter yang paling utama untuk menentukan efisiensi dari sebuah DSSC^[5].

Komponen utama DSSC merupakan pigmen warna yang digunakan untuk membantu menyerap sinar matahari. Pigmen warna tersebut dapat mengubahnya menjadi energi listrik. Pigmen yang dapat digunakan

berasal dari senyawa organik maupun anorganik.

DSSC yang berasal dari pewarna anorganik berbasis ruthenium memiliki stabilitas dan efisiensi yang relatif tinggi yaitu mencapai sekitar 11%^[6]. Namun, pewarna berbasis ruthenium sangat mahal dan ketersediaannya pun masih sangat terbatas, untuk mengatasi permasalahan tersebut, yaitu dengan menggunakan pewarna organik namun, tingkat efisiensi tertinggi yang dicapai sel surya organik masih rendah yaitu sekitar 4%^[7].

Dalam penelitian ini digunakan rimpang temulawak dikarenakan bahan yang menjanjikan untuk digunakan dalam sel surya karena stabilitas termal dan kimianya yang tinggi, serta ramah lingkungan dan biaya pada rimpang temulawak tidak terlalu mahal^[8]. Rimpang temulawak memiliki senyawa kurkumin sebanyak 2,29%^[9]. Pada penelitian sebelumnya menyebutkan efisiensi kinerja konversi *photovoltaic* senyawa kurkumin yang digunakan sebagai *sensitizer* alami menunjukkan tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) sebesar 0,5632 V, rapat arus hubungan singkat (J_{sc}) 1,0055 (mA/cm^2) dan faktor pengisian (FF) sebesar 0,6399 %^[8].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui spektrum serapan panjang gelombang dan nilai *band gap* ekstrak rimpang temulawak pada pH asam. Pada penelitian ini menggunakan optimasi pH pada suasana asam dikarenakan stabilitas warna kurkumin akan meningkat pada suasana asam. Pada suasana netral dan basa stabilitas warna kurkumin akan mengalami penurunan^[10]. Degradasi pada kurkumin

terjadi apabila pada pH 7 hingga 10 dalam rentang waktu kurang lebih 28 jam^[11]. Senyawa kurkumin berwarna kuning dalam larutan dengan suasana asam dan dapat berubah warna menjadi merah kecoklatan atau merah tua dalam suasana basa. Oleh karena itu optimasi pH pada suasana asam bertujuan untuk meningkatkan stabilitas dan meningkatkan intensitas warna^[8].

Potensi dari pewarna tersebut ditinjau dari hasil energi *band gap* terbaik. Hasil yang telah diperoleh dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV - Vis dan Voltameter. Untuk mengetahui serapan panjang gelombang pewarna ekstrak rimpang temulawak dapat dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV – Vis. Keadaan LUMO dan HOMO pada ekstrak rimpang temulawak dapat diketahui melalui karakterisasi secara voltametri siklik. Adanya keberhasilan pemanfaatan ekstrak rimpang temulawak sebagai zat pewarna alami untuk DSSC akan membawa dampak positif yaitu sebagai pewarna alami yang dapat menggantikan pewarna anorganik berbasis Ruthenium pada DSSC dan juga dapat digunakan sebagai sumber energi terbaru yang memiliki efisiensi yang relatif tinggi. Rimpang temulawak banyak ditemukan di Indonesia, namun pemanfaatan dari rimpang temulawak belum maksimal. Pemanfaatan rimpang temulawak saat ini hanya digunakan sebagai jamu herbal, sehingga perlu dikembangkan lagi pemanfaatannya.

II. METODE PENELITIAN

Material

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu rimpang temulawak, C_2H_5OH 96% Merck, NaOH *p.a* Merck, HCl *p.a* Merck, KCl 3 M, aquades.

Instrumentasi

Alat yang digunakan pada penelitian ini diantaranya adalah spektrofotometer UV – Vis shimadzu tipe A – 1800, seperangkat voltameter tipe 797 VA *computrace*, pH meter ATC, gelas beaker, dan oven.

Prosedur

Preparasi Rimpang Temulawak

Metode ekstraksi yang digunakan pada preparasi rimpang temulawak yaitu maserasi. Langkah pertama yang dilakukan adalah menyiapkan temulawak sebanyak 1 kg yang masih segar kemudian dikupas dan dipotong tipis-tipis setelah itu dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 60°C. Pengeringan optimal pada rimpang temulawak berkisar pada suhu 50 - 60°C, menghasilkan rimpang temulawak kering dengan kandungan kurkumin yang masih relatif tinggi^[12]. Tujuan dari pengeringan adalah untuk mengurangi kandungan air yang berada pada rimpang temulawak yang dapat meminimalisir terjadinya kerusakan pada bahan^[13]. Setelah diperoleh rimpang temulawak kering kemudian dilakukan maserasi dengan komposisi 1:10, yaitu 3 gram temulawak kering dan di ekstraksi dalam 30 mL C_2H_5OH 96%^[14]. Optimasi pH ekstrak dilakukan dengan mengatur pH pada suasana asam dengan pH 1,2,3,4,5,6,7 dengan menggunakan pH meter. Maserasi dilakukan selama 24 jam ditutup dengan

rapat dan terlindung dari sinar matahari. Setelah di maserasi selama 24 jam kemudian disaring menggunakan kertas saring yang menghasilkan filtrat dan residu^[14]. Kemudian hasil filtrat disimpan dalam botol gelap dan disimpan pada suhu ruang.

Karakterisasi Ekstrak Rimpang Temulawak dengan Spektrofotometer UV – VIS

Ekstrak rimpang temulawak dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV – Vis dengan rentang panjang gelombang 750 – 350 nm, dari rentang panjang gelombang tersebut dapat mengetahui nilai absorbansi serta panjang gelombang ekstrak rimpang temulawak pada setiap pH. Dengan rentang panjang gelombang 750 – 350 nm tersebut dapat mengetahui puncak serapan terbaik dari rimpang temulawak. Namun, pada penelitian Kim, Hee-Jee, Kim, Dong -Jo et.al^[8] senyawa yang diprediksi pada rimpang temulawak merupakan senyawa kurkumin yang memiliki puncak panjang gelombang dari 425 hingga 450 nm.

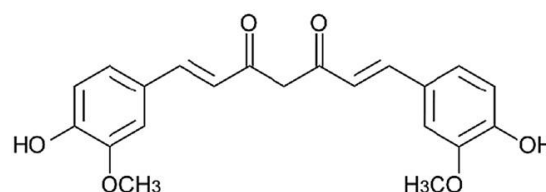
Karakterisasi Ekstrak Rimpang Temulawak dengan Voltameter

Ekstrak rimpang temulawak dikarakterisasi secara voltametri siklik. Dalam pengukuran elektrokimia menggunakan kawat tembaga sebagai elektroda kerja, KCl 3M sebagai elektrolit pendukung, Ag/AgCl sebagai elektroda pembanding dengan rentang potensial -1 hingga 1 volt dan sweep rate 0,02 V/s^[15].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

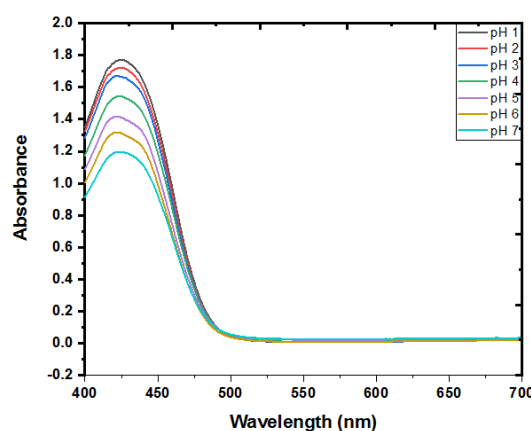
Analisis dan Karakterisasi Hasil Ekstrak Rimpang Temulawak dengan Spektrofotometer UV – Vis

Pada karakterisasi ekstrak rimpang temulawak, diketahui nilai panjang gelombang ekstrak rimpang temulawak menggunakan spektrofotometer UV – Vis. Pigmen warna kuning sebagai ciri khas rimpang temulawak yang mengandung senyawa kurkumin dihasilkan dari ekstrak rimpang temulawak. Senyawa kurkumin memiliki struktur senyawa yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Curcumin^[16]

Spektrum warna dengan panjang gelombang yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 2 dan Tabel 1.



Gambar 2. Spektrum UV –Vis Ekstrak Rimpang Temulawak

Pada Gambar 2 menunjukkan puncak panjang gelombang ekstrak rimpang temulawak optimasi pH suasana asam dengan range pH 1 – 7.

Tabel 1. Nilai panjang gelombang dan Absorbansi pada pH 1-7

pH	Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi
1	425,0	1,750
2	424,0	1,713
3	424,5	1,669
4	423,5	1,543
5	423,5	1,411
6	423,5	1,312
7	423	1,197

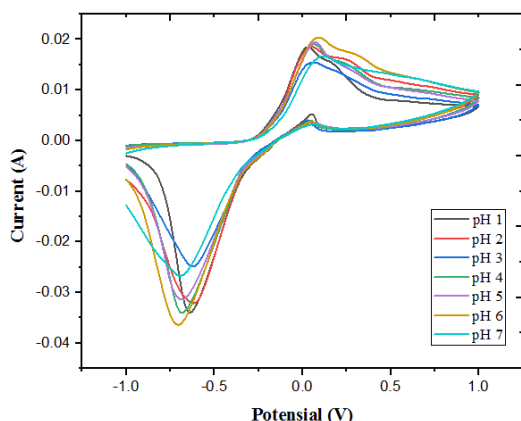
Pada Tabel 1 diperoleh panjang gelombang yang menunjukkan bahwa rimpang temulawak mengandung senyawa kurkumin dikarenakan nilai panjang gelombang yang muncul di sekitar 423 nm – 425 nm. Pada penelitian Mondal dan Ghosh^[17] menyebutkan bahwa puncak panjang gelombang kurkumin sebesar 423 nm. Pada penelitian Yu, Yu, Yu, Chen, Wang, dan Zhai^[18] menyebutkan rentang kurkumin terletak pada dari 425 hingga 450 nm. Senyawa kurkumin merupakan senyawa yang tidak stabil. Sehingga, akan mudah terdegradasi. Efek dari degradasi warna yang dihasilkan berpengaruh terhadap absorbansi yang dihasilkan pada cahaya tampak. Degradasi pada kurkumin terjadi apabila pada pH 7 hingga 10 dalam rentang waktu kurang lebih 28 jam^[11]. Pada suasana asam stabilitas dan intensitas warna semakin meningkat. Sehingga nilai absorbansi semakin meningkat apabila larutan semakin asam^[8]. Pada Tabel 1 menyatakan puncak serapan tertinggi pada pH 1 yaitu 425 nm . Sehingga, pada puncak tersebut intensitas warna akan lebih

stabil. Pada puncak yang diperoleh merupakan ciri khas kurkumin yang dilarutkan dalam pelarut organik^[19].

Karakterisasi ekstrak rimpang temulawak pada rentang pH 1 – 7 menggunakan spektrofotometer UV – Vis menunjukkan bahwa ekstrak mengandung senyawa kurkumin yang berpotensi sebagai pewarna tersensitasi pada DSSC. Hal ini berkaitan dengan struktur pewarna rimpang temulawak memiliki beberapa gugus karbonil (C = O) atau hidroksil (-OH) yang dapat berikatan dengan TiO₂ permukaan. Sehingga, kinerja TiO₂ semakin baik untuk mentransfer elektron^[20] dan nilai absorbansi bertambah besar menunjukkan bahwa intensitas cahaya yang terserap makin besar, sehingga menghasilkan banyak elektron bebas yang nantinya akan mengisi pita konduksi berbahan semikonduktor (TiO₂) untuk menghasilkan arus listrik^[21] dan akan semakin baik pula kinerja pewarna menjadi sensitizer pada DSSC.

Analisis dan Karakterisasi Energi Hasil Ekstrak Rimpang Temulawak dengan Voltameter

Karakterisasi ekstrak rimpang temulawak secara voltametri siklik dengan mencampurkan larutan antara 20 mL ekstrak rimpang temulawak dengan 5 mL KCl 3 M. KCl 3 M digunakan sebagai elektrolit pendukung. Karakterisasi ini menggunakan start potensial dengan rentang -1 hingga 1 volt dan *sweep rate* 0,02 V/s^[13]. Hasil dari pengukuran secara voltametri siklik kemudian diolah menggunakan aplikasi *Origin Pro* 2018.



Gambar 3. Voltamogram Ekstrak Rimpang Temulawak

LUMO dan HOMO dapat ditentukan dari voltamogram ekstrak rimpang temulawak pH 1 – 7 pada Gambar 3 dengan menggunakan persamaan 1 dan 2.

$$E_{LUMO} = -e (E_{red} + 4,40) \text{ eV} \quad (1)$$

$$E_{HOMO} = -e (E_{ox} + 4,40) \text{ eV} \quad (2)$$

Celah pita energi (*band gap*) merupakan selisih antara LUMO dan HOMO yang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 3^[22].

$$E_g = E_{LUMO} - E_{HOMO} \quad (3)$$

Tabel 2. Nilai HOMO, LUMO dan band gap energi ekstrak rimpang temulawak pada pH 1-7

pH	HOMO (eV)	LUMO (eV)	Band Gap (eV)
1	-0,02976	0,63675	0,66651
2	-0,05356	0,6189	0,67246
3	-0,05951	0,62485	0,68436
4	-0,06546	0,68436	0,74982
5	-0,74387	0,0119	0,75577
6	-0,08926	0,70816	0,79742
7	-0,11902	0,69626	0,81528

Energi *band gap* yang terkecil digunakan sebagai pewarna tersensitasi pada DSSC. Ditinjau dari hasil energi *band gap* yang diperoleh yaitu pada pH 1 menunjukkan bahwa stabilitas warna kurkumin akan meningkat apabila pada kondisi asam namun, apabila dalam suasana netral dan basa stabilitas warna kurkumin akan mengalami penurunan^[10]. Hasil dari data yang telah diperoleh celah pita (*band gap*) yang terkecil pada pH 1 yaitu 0,66651 eV. Ketika celah pita (*band gap*) energi kecil, maka lebih mudah elektron dari tingkat energi HOMO melompat ke tingkat energi LUMO^[23]. Celah pita (*band gap*) diperoleh dari selisih energi HOMO dan LUMO. Untuk perpindahan elektron yang efisien, potensi elektrokimia dari keadaan LUMO pewarna harus lebih positif daripada pita konduksi TiO₂ yang berada pada -4,24 eV dan potensi elektrokimia dari tingkat pewarna HOMO harus berada pada potensi yang lebih negatif daripada sistem redoks I⁻/I₃³⁻ untuk regenerasi pewarna yang efisien, untuk potensi sistem redoks I⁻/I₃³⁻ adalah -4,94 V^[24]. Apabila energi *band gap* yang diperoleh sempit akan memudahkan loncatan elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Selain itu, energi *band gap* yang besar akan menghasilkan kinerja efisien yang rendah. Celah pita (*band gap*) yang lebar akan membutuhkan energi besar agar dapat meloncatkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi untuk menghasilkan arus listrik^[25]. Hasil penelitian dari Kim, Hee-Jee, Kim, Dong - Jo et.al^[8] juga menyebutkan bahwa efisiensi kinerja pewarna kurkumin tanpa ditambahkan asam lebih kecil dibandingkan dengan zat pewarna kurkumin yang ditambahkan asam

dikarenakan zat pewarna kurkumin lebih stabil dalam kondisi asam. Dalam kondisi basa, senyawa tersebut akan mudah terdegradasi. Oleh karena itu, pewarna kurkumin diekstrak dalam kondisi asam untuk meningkatkan stabilitas kurkumin.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian dapat disimpulkan bahwa spektrum serapan pewarna alami menggunakan spektrofotometer UV – Vis pada ekstrak rimpang temulawak mengandung senyawa kurkumin yang ditinjau dari hasil rentang panjang serapan sebesar 423 – 425 nm. Ekstrak rimpang temulawak terbaik pada pH 1 yang ditinjau dari energi *band gap* terkecil yaitu sebesar 0,66651 eV. Celah pita (*band gap*) energi kecil, maka lebih mudah elektron dari tingkat energi HOMO melompat ke tingkat energi LUMO. Untuk perpindahan elektron yang efisien, potensi elektrokimia dari keadaan LUMO pewarna harus lebih positif daripada pita konduksi dan potensi elektrokimia dari tingkat pewarna HOMO harus berada pada potensi yang lebih negatif daripada sistem redoks I/I_3^{3-} untuk regenerasi pewarna yang efisien. Hasil LUMO pada penelitian ini sebesar 0,63675 eV dan HOMO sebesar – 0,02976 eV. Energi *band gap* terkecil akan menghasilkan kinerja efisiensi yang tinggi. Sehingga ekstrak rimpang temulawak berpotensi digunakan sebagai zat pewarna alami pada DSSC.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada Jurusan Kimia FMIPA Unesa yang bersedia memberikan fasilitas terbaik. Ibu Rachmawati, S.Si selaku laboran Kimia

Instrumen yang telah membantu menggunakan alat instrumen dengan baik. Ibu Vera Desty N, S.Pd selaku laboran Kimia Analitik yang telah menyediakan alat dan bahan yang baik hingga penelitian selesai dan terimakasih kepada teman – teman yang telah membantu jalannya penelitian ini hingga selesai tepat waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nurhidayah, Suwarni, Usna, S. A., Afrianto, M. F., Farid, F., Purbakawaca, R., et al. (2019). Pengaruh Ketebalan Elektroda Kerja TiO_2 /Grafit Terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cells (DSSC). *Komunikasi Fisika Indonesia*, 6(1), 46.
- [2] Nurrusaniah, Anita, & Boisandi. (2018). Isolasi Dye Organik Alam Dan Karakterisasinya Sebagai Sensitizer. *Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika*, 3(1), 24.
- [3] Anggista, M. D., Widiyandari, H., & Anam, K. (2016). Identifikasi dan Kuantifikasi Antosianin dari Fraksi Bunga Rosela (*Hibiscus Sabdariffa* L) dan Pemanfaatannya sebagai Zat Warna Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 19(2), 51
- [4] Sharma, S., Jain, K. K., & Shama, A. (2015). Solar Cells: In Research and Applications—A Review. *Scientific Research Publishing*, 6(12), 1151.
- [5] Ludin, N. A., Mahmoud, A. A.-A., Mohamad, A. B., Kadhum, A. A., Sopian, K., & Karim, N. S. (2014). Review on the development of natural dye photosensitize rfor dye-sensitized solar cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31(C), 388.
- [6] Jain, A., Veerender, P., Saxena, V., Gusain, A., Jha, P., Koiry, S., et al. (2013). Improved Efficiency of Organic Dye Sensitized Solar Cells Through Acid Treatment. *Conference Proceedings*, 1512(1).
- [7] Khan, M., AL- Mamun, M., Halder, P., & Aziz, M. (2017). Performance improvement of modified dye-sensitized solar cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71(C), 602.

- [8] Kim, H.-J., Kim, D.-J., Karthick, S., Hemalatha, K., Raj, C., Ok, S., et al. (2013). Curcumin Dye Extracted from *Curcuma longa* L. Used as Sensitizers for Efficient Dye-Sensitized Solar Cells. *International Journal of Electrochemical Science*, 8(6), 8321
- [9] Khamidah, A., Antarlina, S. S., & Sudaryono, T. (2017). Ragam Produk Olahan Temulawak Untuk Mendukung Keanekaragaman Pangan. *Jurnal Litbang Pertanian*, 36(1), 1.
- [10] Wang, Y.-J., Pan, M.-H., Cheng, A.-L., Lin, L.-I., Ho, Y.-S., Hsieh, C.-Y., et al. (1997). Stability of curcumin in buffer solutions and characterization of its degradation products. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 15(12), 1872.
- [11] Hanne, H.T., & Jan, K. (1985). Studies on Curcumin and Curcuminoids V. Alkaline Degradation of Curcumin. *Z Lebensm Unters Forsch.* 180(2):132-134
- [12] Manalu, L. P., Tambunan, A. H., & Nelwan, L. O. (2012). Penentuan Kondisi Proses Pengeringan Temulawak Untuk Menghasilkan Simplesia Standar. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 23(2), 105.
- [13] MP, I., Atmaka, I., & Nugraha, A. A. (2010). Kajian Kadar Kurkuminoid, Total Fenol dan KATivitas Antioksidan Oleoresin Temulawak (*Curcuma Xanthorrhiza* Roxb) Dengan Variasi Teknik Pengeringan dan Warna Kain Penutup. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 11(2), 103.
- [14] Nurcholis, W., Khumaida, N., Syukur, M., & Bintang, M. (2016). Variability of curcuminoid content and lack of correlation with cytotoxicity in ethanolic extracts from 20 accessions of *Curcuma aeruginosa* Roxb. *Asian Pacific Journal Of Tropical Disease*, 6(11), 888.
- [15] Asadullah, M., Alva, S., Rinaldi, A., & Sundari, R. (2021). Pembuatan Sensor Klorida Berdasarkan SPE Ag/AgCl Melalui Teknik Cyclic Voltammetric: Scan Rate Effect. *Sinergi*, 25(3), 352-353.
- [16] Rachmawati, H., Larasati, A., Adi, A. C., & Shegokar, R. (2020). Role of nanocarriers and their surface modification in targeting delivery of bioactive compounds. In R. Shegokar, *Nanopharmaceuticals* (p. 18). Capnomed GmbH, Zimmern, Germany: Elsevier.
- [17] Mondal, S., & Ghosh, S. (2021). Spectroscopic study on the interaction of curcumin with single chain and gemini surfactants. *Chemical Physics Letters*, 762, 138144
- [18] Yu, X., Yu, W., Yu, X., Chen, Z., Wang, S., & Zhai, H. (2020). Sensitive analysis of doxorubicin and curcumin by micellar electromagnetic chromatography with a double wavelength excitation source. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 413(2), 473.
- [19] Nong, H. V., Hung, L. X., Thang, P. N., Chinh, V. D., Vu, L. V., Dung, P. T., et al. (2016). Fabrication and vibration characterization of curcumin extracted from turmeric (*Curcuma longa*) rhizomes of the northern Vietnam. *Spinger*, 5(1), 7.
- [20] Jasim, K. E., Cassidy, S., Henari, F. Z., & Dakhel, A. A. (2017). Curcumin Dye-Sensitized Solar Cell. *Journal of Energy and Power Engineering*, 11, 413.
- [21] Sunardi, & Kartika, S. (2012). Pengaruh Konsentrasi Larutan Ekstrak Daun Lidah Mertua Terhadap Absorbansi dan Transmittan Pada Lapis Tipis. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*. 1, p.55. Universitas Negeri Jakarta.
- [22] Cakar, S., Atacan, K., & Guy, N. (2019). Synthesis and Characterizations of TiO₂/Ag Photoanodes for used Indigo Carmine Sensitizer Based Solar Cells. *Celal Bayar University Journal of Science*, 15(1), 26
- [23] Ragasudha, Idamalarselvi, Priscilla, & R. R. (2020). Optimizatio Of Organic Dye (5MSA) On The Efficiency Of Dye – Sensitized Solar Cells (DSSC). *Internatoional Journal of Management (IJM)*, 11(12), 1934.
- [24] Lestari, E. A., & Setiarso, P. (2021). Studi Elektrokimia Ekstrak Betalain Umbi Bit Sebagai Pewarna Alami DSSC (Dye Sesitized Solar Cell). *UNESA Journal of Chemistry*, 10(3), 322.
- [25] Amirullah, W. M., Setiawan, H., Huda, A., Samaulah, H., Haryati, S., & Bustan, M. D. (2019). Pengaruh Komposisi Material Semikonduktor Dalam Menurunkan Energi Band Gap dan Terhadap Konversi Gelombang Mikro. *Jurnal EECCIS*, 13(2), 65.