

## POTENSI EKSTRAK DAUN SALAM (*Syzygium polyanthum*) PADA pH ASAM SEBAGAI SENSITIZER PADA DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)

Elsa Rishda Hariningtias, Pirim Setiarso \*

Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

\*email : pirimsetiarso@unesa.ac.id

Received 7 Oktober 2021

Accepted 3 Desember 2021

### Abstrak

Penelitian dilakukan untuk mengetahui potensi ekstrak daun salam (*Syzygium polyanthum*) dalam pH asam sebagai *sensitizer* pada DSSC. Pada penelitian ini teknik ekstraksi yang digunakan adalah teknik maserasi. Sampel ekstrak daun salam dikarakterisasi dengan menggunakan alat instrumen Spektrofotometer UV-Vis dan Voltameter Siklik untuk mengetahui potensi yang dihasilkan oleh molekul zat warna tersebut sebagai *sensitizer* pada DSSC. Dari spektrum serapan UV-Vis diketahui bahwa ekstrak daun salam mengandung pigmen klorofil, hal ini dikarenakan puncak serapan maksimal ekstrak daun salam berada pada panjang gelombang 468,50 nm yang diduga merupakan klorofil a dan 662,50 nm yang diduga merupakan klorofil b. Dari karakterisasi dengan menggunakan voltameter siklik didapatkan hasil terbaik pada ekstrak daun salam pH 1 dengan energi gap sebesar 0,60699 eV.

**Kata kunci:** DSSC, pH, potensi, klorofil, *sensitizer*

### Abstract

The study was conducted to determine the potential of salam leaf (*Syzygium polyanthum*) extract in acidic pH as a sensitizer in DSSC (Dye Sensitized Solar Cell). In this study, the extraction technique used is the maceration technique. Samples of salam leaf extract were characterized using UV-Vis Spectrophotometer and Cyclic Voltameter instruments to determine the potential produced by the dye molecules as a sanitizer in DSSC. From the UV-Vis absorption spectrum, it is known that salam leaf extract contains chlorophyll pigment, this is because the maximum absorption peak of bay leaf extract is at a wavelength of 468.50 nm which is thought to be chlorophyll a and 662.50 nm which is thought to be chlorophyll b. From the characterization using a cyclic voltameter, the best results were obtained in the salam leaf extract pH 1 with an energy gap of 0.60699 eV.

**Keywords:** DSSC, pH, potential, chlorophyll, *sensitizer*

### Pendahuluan

Kebutuhan energi terutama energi listrik semakin hari semakin meningkat, namun kebutuhan tersebut belum dapat terpenuhi dengan maksimal. Beberapa energi alternatif dapat dimanfaatkan dengan maksimal untuk menangani krisis energi listrik tersebut, salah satunya yaitu dengan memanfaatkan sumber energi matahari. Pemanfaatan sumber energi

matahari biasa dikenal dengan pembangkit listrik tenaga surya *fotovoltaic* (PLTTF) (M. A. M. Al-Alwani, 2019), (S. R. Alfidharisti, 2017), (J. Gong, 2017).

Dalam perkembangan teknologi, para ilmuwan mengembangkan energi alternatif yaitu sel surya menjadi suatu perangkat fotoelektrokimia DSSC. (K. Wongcharee, 2007), (S. Kim, 2006). DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) dikenalkan pertama

kali oleh O'Regan dan Grätzel pada tahun 1991 (Grätzel B. O., 1991). DSSC merupakan salah satu perangkat *fotovoltaic*, DSSC tersusun dari dari elektroda kerja semikonduktor, elektroda lawan, elektrolit dan molekul zat warna (J. Bisquert, 2003). DSSC bekerja dengan mengkonversikan atau mengubah foton yang ditangkap dari energi matahari menjadi energi listrik (Grätzel M., 2003). Dimana molekul pewarna yang berada pada permukaan semikonduktor  $\text{TiO}_2$  akan menyerap foton dari cahaya matahari. Molekul zat pewarna yang menyerap foton akan tereksitasi dari HOMO menuju LUMO. Saat proses eksitasi elektron-elektron akan terkumpul pada permukaan semikonduktor dan molekul zat pewarna mengalami oksidasi. Elektron yang terkumpul akan ditransfer melalui  $\text{TiO}_2$  menuju elektroda lawan dan pada proses tersebut menghasilkan energi listrik.

Potensi kerja DSSC bergantung pada molekul zat warna yang digunakan dan luas semikonduktor celah pita. Semikonduktor celah pita yang biasa digunakan adalah  $\text{TiO}_2$ , hal ini dikarenakan  $\text{TiO}_2$  memiliki karakteristik optik yang baik untuk terus menerus mentransfer elektron (K. Tennakone, 1996). Molekul zat warna alami yang sering dimanfaatkan karena memiliki potensi biodegradasi maksimal antara lain adalah klorofil, antosianin, kartenoid, betalains, flavonoid, sianin, dan tanin (Al-Alwani, et al., 2017).

Potensi setiap molekul zat warna yang dimanfaatkan sebagai *sensitizer* pada DSSC berbeda-beda pada setiap tumbuhan. Potensi molekul zat warna bergantung pada struktur kimia pigmen warna tersebut dan tingkat adsorpsi atau peristiwa perpindahan elektron valensi molekul ke tingkat energi orbital yang lebih tinggi menuju permukaan semikonduktor (Setiarso., 2016).

Salah satu penyebab kinerja molekul zat warna alami sebagai *sensitizer* dalam DSSC menjadi buruk yaitu karena kemampuan menyerap foton yang sangat

lemah pada permukaan semikonduktor, sehingga mengakibatkan berkurangnya electron yang terkumpul (Al-Alwani, et al., 2017).

Dalam penelitian ini penulis akan menganalisis potensi molekul zat warna alami ekstrak daun salam (*Syzygium polyanthum*) pada pH asam yang akan dimanfaatkan sebagai *sensitizer* pada DSSC. Daun salam dipilih karena memiliki kandungan klorofil, pada beberapa penelitian menunjukkan bahwa potensi klorofil sebagai *sensitizer* memiliki efisiensi yang cukup baik dan cocok sebagai *sensitizer* pada daerah visibel atau tampak. Hal ini dikarenakan klorofil menyerap berbagai cahaya dari panjang gelombang warna merah, biru dan ungu dengan cara mencerminkan panjang gelombang hijau (Syafinara, Gomes, Irwanto, Fareq, & Irwan, 2015). Sebagian besar klorofil ditemukan pada tumbuhan terutama daun yang memiliki warna hijau. Puncak serapan klorofil kuat pada daerah tampak terletak pada 420-660 nm (Al-Alwani MAM, 2015). Terdapat enam jenis klorofil di alam. Dua jenis klorofil utama yang sering terdapat dalam tumbuhan adalah klorofil a dan klorofil b. Klorofil a dengan rentang panjang gelombang yang terletak pada 400-500 nm paling banyak menyerap cahaya ungu dan jingga, sedangkan klorofil b dengan rentang panjang gelombang yang terletak pada 600-700 nm sebagian besar menyerap cahaya biru dan kuning. Kedua panjang gelombang klorofil juga menyerap cahaya dari panjang gelombang lainnya kecuali hijau, namun dengan intensitas penyerapan yang lebih kecil (Milne, Toker, Rubio, & Nielsen, 2015).

Efisiensi kinerja konversi *fotovoltaic* pigmen klorofil berdasarkan yang telah dilaporkan sebelumnya, seperti bayam digunakan sebagai *sensitizer* berbasis alami dan kinerja *fotovoltaic* menunjukkan sirkuit terbuka tegangan ( $V_{oc}$ ) sebesar 550 mV, arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) sekitar 0,46 mA dan fill factor (FF) sekitar 51% (Chang H, 2010). Gugus karboksilat yang terdapat

pada klorofil menjadikan klorofil sangat berpotensi dalam mengkonversi energi, hal ini dikarenakan gugus karboksilat yang terdapat pada klorofil dapat berikatan dengan  $\text{TiO}_2$  (Muhandri., 2019).

Klorofil merupakan molekul zat warna yang peka terhadap panas, oksigen dan degradasi kimia. Degradasi klorofil dipengaruhi oleh pH. Pada penelitian ini penulis menggunakan pH asam dikarenakan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Azizah (2018) menunjukkan bahwa klorofil yang berada pada pH asam memiliki potensi atau efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan klorofil pada pH basa. Kondisi tersebut ditunjukkan oleh hasil FTIR klorofil pada pH asam mengalami *electronic coupling* antara LUMO dan  $\text{TiO}_2$ , menyebabkan level Fermi  $\text{TiO}_2$  dan potensial elektrolit berkurang dengan seiring bertambahnya ion  $\text{H}^+$ , sehingga proses transfer elektron meningkat.

Pemilihan daun salam pada penelitian dikarenakan daun salam banyak ditemukan di Asia yang melimpah di Indonesia, namun pemanfaatannya belum maksimal. Daun salam biasanya hanya digunakan sebagai bahan pelengkap bumbu masakan, sehingga perlu dikembangkan lagi pemanfaatannya. Analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui serapan panjang gelombang pewarna, dan voltameter siklik digunakan untuk menentukan keadaan HOMO dan LUMO klorofil.

## Metode Penelitian

### Alat dan bahan

Alat serta instrument yang diperlukan dalam penelitian ini adalah spektrofotometer UV-Vis Shimadzu 1800, Voltameter 797 VA Computrace, dan alat gelas. Bahan yang diperlukan untuk penelitian ini adalah Daun salam (*Syzygium polyanthum*) yang diperoleh dari daerah menanggal Surabaya, pelarut etanol P.A 96% (MERCK), HCl 1,2%, kertas saring, aluminium foil dan KCl 3M.

### Persiapan Sampel

Sampel bahan yang digunakan pada penelitian ini berupa daun salam segar. Daun salam segar dibersihkan dengan air mengalir dan ditiriskan hingga kering. Daun salam dipotong hingga ukurannya menjadi kecil-kecil.

### Proses Ekstraksi

Daun salam yang telah dipotong kecil-kecil sebanyak 8 gram dimaserasi dengan menggunakan pelarut etanol P.A 96%. Perbandingan antara sampel daun salam dan pelarut untuk proses maserasi adalah 1:5. Pada penelitian ini variasi yang digunakan adalah variasi pH pelarut. pH yang digunakan untuk memvariasi sifat pelarutnya adalah pH (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7). Proses ekstraksi secara maserasi pada penelitian ini dilakukan selama 24 jam. Setelah 24 jam, sampel disaring dengan menggunakan corong dan kertas saring untuk memisahkan filtrat dan residunya.

### Proses Karakterisasi Daun Salam

pH pada setiap sampel akan sangat mempengaruhi reaksi yang terjadi. larutan sampel ekstrak daun salam dikarakterisasi dengan menggunakan alat Instrumen spektrofotometri UV-Vis dan voltameter. Kemudian hasil karakterisasi dari kedua alat tersebut diolah dengan menggunakan aplikasi *Origin Pro 2018* (Rimbi Rodiyana Sova and Pirim Setiarso, 2021).

### Karakterisasi spektrofotometri UV-Vis ekstrak daun salam

Karakterisasi larutan sampel pewarna dilakukan di Laboratorium Instrumen Spektrofotometri UV-Vis yang berada pada jurusan Kimia FMIPA Unesa. Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui serapan panjang gelombang maksimal daun salam pada setiap pH. Rentang panjang gelombang yang digunakan untuk menguji sampel ekstrak daun salam antara 400-800 nm, hal ini dilakukan karena pada rentang tersebut merupakan daerah tampak (D. Ganta, 2017).

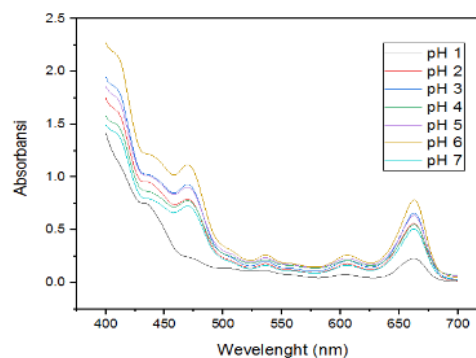
### Karakterisasi voltametri siklik ekstrak daun salam

Karakterisasi voltametri siklik pada larutan sampel dilakukan di Laboratorium instrumen voltameter tipe 797 VA Computrace yang berada di Jurusan Kimia FMIPA Unesa. Karakterisasi ini dilakukan untuk menentukan keadaan HOMO LUMO. Pewarna *sansitizer* harus memiliki nilai HOMO yang lebih rendah dari potensi redoks elektrolit dan pita konduksi, sedangkan keadaan LUMO pewarna harus lebih tinggi dari pita konduksi semikonduktor (K. Sharma, 2018), (Muhandri., 2019), (L. G. Oktariza, 2018). Dalam pengukuran digunakan KCL 3M sebagai elektrolit pendukung dan elektroda kerja berupa kawat tembaga. Penulis menggunakan start potensial -1.0 Volt dan end potensial 1.0 Volt, sedangkan sweeprate yang digunakan adalah 0.02 V/s.

### Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini dilakukan ekstraksi klorofil pada daun salam dengan variasi pH (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7), dengan menggunakan metode maserasi atau perendaman selama 24 jam. Hasil dari maserasi daun salam dari pH 1 sampai dengan pH 7. Pigmen warna alami yang dihasilkan dari maserasi daun salam berwarna kuning kehijauan hingga hijau pekat yang, hal ini membuktikan bahwa ekstrak daun salam mengandung senyawa klorofil (Rendy Rohmatul Maulid, 2015), (Sumenda, 2011).

Dalam karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis, dilakukan pengukuran serapan panjang gelombang ekstrak daun salam pada pelarut etanol dengan variasi pH (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) dengan rentang 400-700 nm.



**Gambar 1** Spektra absorpsi ekstrak daun salam pada pelarut etanol dengan variasi pH (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)

Pada Gambar 1 memperlihatkan hasil dari analisis puncak panjang gelombang ekstrak daun salam dari pH 1 sampai dengan pH 7 dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis terdapat pada rentang 400-700 nm. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Syafinara, Gomesh, Irwanto, Fareq, & Irwan, 2015), bahwa puncak serapan klorofil baik pada daerah visible yang terletak pada 400-700. Pada Gambar 1 terlihat bahwa panjang gelombang maksimal klorofil pada daun salam berada pada kisaran 450-700 nm.

**Tabel 1.** Puncak Panjang Gelombang Maksimum Ekstrak Dye Daun Salam

pH	Panjang gelombang (nm) maksimum ekstrak daun salam	Jenis klorofil
1	662,50	Klorofil b
2	662	Klorofil b
3	469	Klorofil a
4	662,50	Klorofil b
5	468,50	Klorofil a
6	662,50	Klorofil b
7	469	Klorofil a

Pada Tabel 1 memperlihatkan hasil panjang gelombang maksimum ekstrak daun salam dari pH 2 sampai dengan pH 7 yang memiliki dua puncak panjang gelombang maksimum, panjang gelombang tersebut merupakan bagian dari klorofil a dan klorofil b. Pada klorofil a menempati puncak panjang gelombang dengan kisaran 400-500 nm dan puncak panjang gelombang maksimum klorofil b berada pada kisaran 600-700. (Milne, Toker, Rubio, & Nielsen, 2015) (Rossi., 2017).

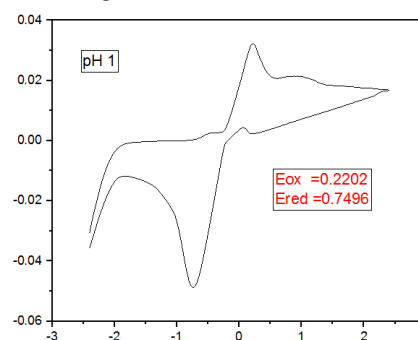
Pada ekstrak daun salam dengan pH 1 hanya memiliki satu puncak panjang gelombang maksimum yaitu pada panjang gelombang 662.50 nm, hal ini memperlihatkan bahwa pada pH 1 hanya terdeteksi satu senyawa saja yaitu klorofil b. Pada pH 2, 3, 4, 5, 6, 7 selain terdeteksi memiliki puncak gelombang pada klorofil b dengan besar panjang gelombang 662.50 nm, pada pH 2, 3, 4, 5, 6, 7 juga terdeteksi adanya puncak panjang gelombang lain yaitu panjang gelombang 469 nm dan pada panjang gelombang tersebut merupakan panjang gelombang senyawa klorofil a (Rossi., 2017).

Hasil karakterisasi ekstrak daun salam menggunakan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa ekstrak daun salam pada berbagai variasi pH mengandung senyawa klorofil, sehingga ekstrak daun salam berpotensi sebagai *sensitizer* pada DSSC. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya, bahwa gugus karboksilat yang terdapat pada klorofil menjadikan klorofil sangat berpotensi dalam mengkonversi energi, gugus karboksilat yang terdapat pada klorofil dapat berikatan dengan  $TiO_2$  (Muhandri., 2019).

Dalam karakterisasi elektrokimia, penting untuk diketahui HOMO LUMO pada molekul zat warna. Molekul zat warna diharuskan memiliki HOMO lebih rendah dibandingkan dengan potensi redoks elektrolit dan pita konduksi, sedangkan nilai LUMO harus lebih tinggi dari pita konduksi semikonduktor (K.

Sharma, 2018), (Muhandri., 2019), (L. G. Oktariza, 2018).

Karakterisasi molekul zat warna ekstrak klorofil menggunakan voltameter siklik dilakukan dengan 25 ml larutan campuran ekstrak daun salam pada masing-masing pH dengan KCL 3M sebagai elektrolit pendukung. *Start potensial* yang digunakan pada proses karakterisasi ini adalah -1.0 Volt dan *end potensial* 1.0 Volt, sedangkan *sweep rate* yang digunakan adalah 0.02 V/s. Hasil dari pengukuran diolah dengan menggunakan aplikasi *Origin Pro 2018*.



**Gambar 2.** Voltamogram ekstrak klorofil daun salam pada pH 1

Pada Gambar 2 memperlihatkan hasil voltamogram dari ekstrak klorofil daun salam pada pH 1. Pada hasil voltamogram diamati HOMO LUMO pada molekul zat warna. HOMO merupakan proses oksidasi, sedangkan LUMO merupakan proses reduksi pada analit (D. Sinha, 2020).

**Tabel 2.** HOMO LUMO Ekstrak Klorofil Daun Salam

pH	HOMO (eV)	LUMO (eV)
1	-4.554	-3.947
2	-4.560	-3.935
3	-4.572	-3.775
4	-4.620	-3.876
5	-4.560	-3.828
6	-4.614	-3.733
7	-4.578	-3.793

Pada Tabel 2 diketahui bahwa HOMO pada daun salam dari pH 1 sampai dengan pH 7 memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai energi pita

konduksi  $\text{TiO}_2$  (-3.2 eV) (Aryanti., 2016), (D. Ganta, 2017). Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak daun salam memiliki kemampuan yang baik sebagai sensitizer untuk mentransfer elektron ke pita konduksinya (Prajitno., 2015).

Energi gap diperoleh dengan mengurangkan LUMO dengan HOMO, semakin kecil energy gap pada molekul zat warna maka semakin baik potensi molekul zat warna tersebut untuk proses transfer electron, hal ini dikranekan pada proses transfer electron tidak memerlukan energy yang besar (Gusiak, 2011).

**Tabel 3.** Hasil Nilai Energi Gap Ekstrak Dye Daun Salam

pH	Band gap energy (eV)
1	0.606
2	0.624
3	0.797
4	0.743
5	0.731
6	0.880
7	0.815

Pada Tabel 3 ditunjukkan bahwa pH 1 memiliki nilai energi gap terkecil yaitu sebesar 0.606. Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak klorofil daun salam dengan pH 1 merupakan ekstrak yang memiliki kemampuan terbaik sebagai *sensitizer*, hal ini dikarenakan energi gap ekstrak klorofil daun salam dengan pH 1 memiliki nilai terkecil dibandingkan dengan ekstrak lainnya. Ekstrak klorofil daun salam dengan energi gap terkecil dapat dikatakan sebagai *sensitizer* terbaik dikarenakan dengan energi gap akan memudahkan suatu elektron untuk mengalami eksitasi dari pita valensi ke pita konduksi (Aryanti., 2016), (D. Ganta, 2017). Semakin mudah elektron mengalami eksitasi maka semakin banyak pula elektron yang mengalir sehingga sifat kelistrikan yang dihasilkan semakin tinggi (Sze, 2001), (Prajitno., 2015). Sesuai dengan penelitian

sebelumnya yang telah dilakukan oleh Azizah (2018) bahwa klorofil pada pH asam mengalami *electronic coupling* antara LUMO dan  $\text{TiO}_2$ , menyebabkan level Fermi  $\text{TiO}_2$  dan potensial elektrolit berkurang dengan seiring bertambahnya ion  $\text{H}^+$ , sehingga proses transfer elektron meningkat.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengujian dan analisis data yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa spectrum serapan UV-Vis pada ekstrak klorofil daun salam dengan berbagai variasi pH mengandung senyawa klorofil dengan rentang panjang serapan sebesar 468,50-662,50 nm, HOMO DAN LUMO pada ekstrak klorofil daun salam memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan, sehingga ekstrak daun salam berpotensi sebagai *sensitizer* pada DSSC. Dari hasil penelitian ini ekstrak klorofil daun salam terbaik berapada pada pH 1, hal ini dikarenakan pada ekstrak klorofil daun salam pH 1 memiliki energi gap terkecil yaitu sebesar 0.606 eV, sehingga memiliki potensin yang lebih tinggi sebagai *sensitizer* pada DSSC. Untuk penelitian lebih lanjut dapat dilakukan pengaplikasian pada DSSC dengan memanfaatkan ekstrak klorofil daun salam pH 1 untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi pada kerja DSSC.

### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada pengelola Laboratorium Jurusan Kimia FMIPA Unesa dan pihak yang telah membantu yaitu dosen pembimbing yang telah membantu jalannya penelitian ini sehingga dapat selesai dengan tepat pada waktunya

**Daftar Pustaka**

- Al-Alwani MAM, M. A., 2015. Effect of solvents on the extraction of natural pigments and adsorption onto TiO<sub>2</sub> for dye-sensitized solar cell applications. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 130-137.
- Al-Alwani, M. A., Mohamad, A. B., Kadhum, A. A., Ludin, N. A., Safie, N. E., Razali, M. Z., Sopian, K., 2017. Natural dye extracted from Pandanus amaryllifolius leaves as sensitizer in fabrication of dye-sensitized solar cells. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 747-761.
- Aryanti., N., 2016. Ekstraksi Dan Karakterisasi Klorofil Dari Daun Suji (Pleomele Angustifolia) Sebagai Pewarna Pangan Alami. *J. Apl. Teknol. Pangan*, 129-135.
- Ayele, W. A., 2016. Dye-sensitized solar cells using natural dye as light-harvesting materials extracted from Acanthus sennii chiovenda flower and Euphorbia cotinifolia leaf. *J. Sci. Adv. Mater. Devices*, 488-494.
- Aziza Hfii Ahliha, F. N., 2018. Kajian pH Klorofil Terhadap Ikatan Kimia Dye pada TiO<sub>2</sub> sebagai Aplikasi Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 16-19.
- D. Ganta, J. J., 2017. Dye-sensitized solar cells using Aloe Vera and Cladode of Cactus extracts as natural sensitizers. *Chem.Phys. Lett* , 97-101.
- D. Ganta, J. J., 2017. Dye-sensitized solar cells using Aloe Vera and Cladode of Cactus extracts as natural sensitizers. *Chem. Phys. Lett*, 97-101.
- D. Sinha, D. D., 2020. Photo sensitizing and electrochemical performance analysis of mixed natural dye and nanostructured ZnO based DSSC. *Sadhana - Acad. Proc. Eng. Sci.*, 175.
- Grätzel, B. O., 1991. A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films. *Nature*, 353, 737-740.
- Grätzel, M., 2003. Dye-sensitized solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 4(2), 145-153.
- Gusiak, N. K., 2011. Organik Dye Sensitisers For Solar Cells And Semikonduktor Photocatalysts- A Method For Suitability Evaluation Explained. . *Biblioteka Cyfrowa Politechniki Krakowskiej*, 60-73.
- J. Bisquert, J. G.-C., 2003. Comparative analysis of photovoltaic principles governing dye-sensitized solar cells and p-n junctions. *Journal Spin Use* 6, 5215.
- J. Gong, K. S., 2017. Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs). *Advanced techniques and research trends. Renew Sustain. Energy Rev*, 234-246.
- K. Sharma, V. S., 2018. Dye-Sensitized Solar Cells: Fundamentals and Current Status. *Nanoscale Res. Lett*, 381.
- K. Tennakone, G. K., 1996. Efficient photosensitization of nanocrystalline TiO<sub>2</sub> films by tannins and related phenolic substances. *Journal of Photochemistry & Photobiology* .
- K. Wongcharee, V. M., 2007. Sol. Energy Mater. *Sol. Cells*.
- L. G. Oktariza, B. Y., 2018. Performance of dye sensitized solar cells (DSSC) using Syngonium Podophyllum Schott as natural dye and counter electrode. *AIP Conf. Proceeding*, (p. 1958).
- M. A. M. Al-Alwani, A. B., 2019. Performance of the dye-sensitized solar cells fabricated using natural dyes from Ixora coccinea flowers and Cymbopogon schoenanthus leaves as sensitizers. *Int. J. Energy Res.*, 7229-7239.
- M.M. Noor, M. B., 2011. *Int. J. Photoenergy*, 5.
- Milne, F. B., Toker, Y., Rubio, A., & Nielsen, a. S, 2015. Unraveling the intrinsic Color of Chlorophyll.

- Angewandte Chemie International Edition* 54, 2170-2173.
- Muhandri., D. R., 2019. Pengaruh Fortifikasi Zat Besi Menggunakan Fe-Sulfat , Fe-Fumarat dan Na Fe EDTA Terhadap Kualitas Sensori Produk-Produk Olahan Tepung Terigu The Effect of Iron Fortification using Fe-Sulfat , Fe-Fumarata and Na Fe EDTA on Sensory Quality of Wheat Products. *Jurnal IPB*, 54-62.
- Prajitno., I. H., 2015. Pengaruh Penggunaan Gel-Electrolyte pada Prototipe. . *J. SAINS DAN SENI ITS*, 2337-3520.
- R. Amelia, D. D., 2014. Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Sintesis Dye Komposit dari Garcinia mangostana, Celosia cristata, Beta vulgaris rubra dan Musa aromatica pada Fraksi Volume. *J. Tek. POMITS*, 1-5.
- Rendy Rohmatul Maulid, A. N., 2015. Kadar Total Pigmen Klorofil dan Senyawa Antosianin Ekstrak Kastuba (Euphorbia pulcherrima) Berdasarkan Umur Daun. *Seminar Nasional Konservasi dan Pemnafaatan Sumber Daya Alam 2015*, 225-230.
- Rimbi Rodiyana Sova and Pirim Setiarso., 2021. Studi Elektrokimia Klorofil dan Antosianin Sebagai Fotosensitizer DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell). *UNESA Journal of Chemistry*, 191-199.
- Rossi., M., 2017. Chlorophylls and xanthophylls of crop plants as dyes for Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC). *J.Plant Sci. Phytopathol.*, 087-094.
- S. Kim, J. L., 2006. *J. Am. Chem. Soc.*, 128.
- S. R. Alfidharisti, F. N., 2017. . Influence of electrode spacing on the efficiency of dye-sensitized solar cell. *J. Phys. Conf. Ser.*, 36-40.
- Setiarso., A. S., 2016. Pembuatan Elektroda Pasta Karbon Termodifikasi Zeolit Untuk Analisis Fenol Secara Cyclic Stripping Voltammetry. *UNESA J. Chem*, 86-93.
- Sumenda, L., 2011. Analisis Kandungan Klorofil Daun Mangga (Managifera Indica L.) Pada Tingkat Perkembangan Daun Yang Berbeda. *Bioslogos*, 1.
- Syafinara, R., Gomesh, N., Irwanto, M., Fareq, M., & Irwan, Y., 2015. Chlorophyll Pigments as Nature Based Dye for Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). *Energy Procedia*, 896-902.
- Sze, S., 2001. *Semikonduktor devices Physics and Technology 2nd*. Taiwan: Printed in the United States of America.