

TESIS

**OPTIMASI *DYE* VEGETASI RAWA PADA *DYE SENSITIZED*
*SOLAR CELL***

***OPTIMIZATION OF DYE SWAMP VEGETATION IN DYE
SENSITIZED SOLAR CELL***



**Muhammad Rizki Azra
05032682327002**

**PROGRAM STUDI
MAGISTER TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024**

SUMMARY

MUHAMMAD RIZKI AZRA. *Optimization of Dye Swamp Vegetation in Dye Sensitized Solar Cell (Supervised by TAMRIN, and HAISEN HOWER)*

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) is a type of third generation solar cell that can utilise natural materials as dye to convert sunlight into electricity. This study aimed to determine the effect of formulation of a mixture of natural dyes from three swamp vegetation on DSSC and maximise the performance of DSSC performance by varying the volume of natural dye to obtain the optimum to obtain the optimum natural dye mixture to produce maximum efficiency. This study used natural dyes from chlorophyll extracts of water hyacinth vegetation (A), anthocyanins fruit of malabar malestone (B) and rubberenoid flowers of primrose willow (C) which were then mixed with the volume formula by using the design expert 13 application.. The research results showed that the mixture of two or three natural dyes can widen the wavelength absorption of sunlight. wavelength absorption of sunlight which can increase the efficiency of the DSSC. efficiency of the DSSC. The best DSSC performance was produced by DSSC with a mixture of three natural dyes (A:B:C)² with a volume of mixture (0.8 mL; 3.3 mL; 0.8 mL) resulted in Voc: 395 V, Isc: 0.1510 mA, I_{max}: 0.1069 mA, V_{max}: 191 v, P_{max}: 20.400 mW, FF: 0.3420 and Efficiency: 0,050%. Optimisation on DSSC single mixture of two and three natural dyes was carried out using the simplex lattice design method resulted in 9 optimum formulations. The selected formulation that has desirability 1 with formula A: 1,827 mL, B: 3,173 mL and C: 0.000 with efficiency of 0.05%.

RINGKASAN

MUHAMMAD RIZKI AZRA. Optimasi *Dye* Vegetasi Rawa pada *Dye Sensitized Solar Cell* (Dibimbing oleh TAMRIN, dan HAISEN HOWER)

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan jenis sel surya generasi ketiga yang dapat memanfaatkan bahan alami sebagai *dye* untuk mengkonversi cahaya matahari menjadi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mendeterminasi pengaruh formulasi campuran *dye* alami dari tiga vegetasi rawa pada *DSSC* dan memaksimalkan performa *DSSC* dengan variasi volume *dye* alami untuk memperoleh campuran *dye* alami optimum untuk menghasilkan efisiensi maksimum. Penelitian ini menggunakan *dye* alami dari ekstrak klorofil vegetasi eceng gondok (A), antosianin buah senduduk (B) dan karotenoid kuning rawa (C) yang selanjutnya dikombinasikan dengan formula volume dengan menggunakan aplikasi *design expert* 13. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran *DSSC* dua atau tiga *dye* alami dapat memperlebar serapan panjang gelombang cahaya matahari yang dapat meningkatkan efisiensi *DSSC*. Performa *DSSC* terbaik dihasilkan oleh *DSSC* dengan campuran tiga *dye* alami (A:B:C)² dengan volume campuran (0,8 mL; 3,3 mL; 0,8 mL) menghasilkan V_{oc} : 395 V, I_{sc} : 0,1510 mA, I_{max} : 0,1069 mA, V_{max} : 191 v, P_{max} : 20,400 mW, FF : 0,3420 dan Efisiensi: 0,050%. Optimasi pada *DSSC* campuran tunggal dua dan tiga *dye* alami dilakukan menggunakan metode *simplex lattice design* menghasilkan 9 formulasi optimum. Formulasi terpilih yang memiliki *desirability* 1 dengan formula A: 1,827 mL, B: 3,173 mL dan C : 0,000 dengan efisiensi sebesar 0.05%.

TESIS

OPTIMASI *DYE* VEGETASI RAWA PADA *DYE SENSITIZED SOLAR CELL*

OPTIMIZATION OF DYE SWAMP VEGETATION IN DYE SENSITIZED SOLAR CELL

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar
Magister Teknologi Pertanian
pada Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya



Muhammad Rizki Azra
05032682327002

PROGRAM STUDI
MAGISTER TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI *DYE* VEGETASI RAWA PADA *DYE SENSITIZED SOLAR CELL*

TESIS

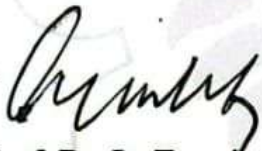
sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
Magister Teknologi Pertanian
pada Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya

Oleh:

Muhammad Rizki Azra
05032682327002

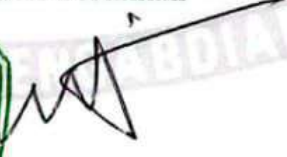
Pembimbing I

Palembang, September 2024
Pembimbing II


Prof. Dr. Ir. Tamrin, M.Si.
NIP. 196309181990031004


Dr. Ir. Haisen Hower, M.P.
NIP. 196612091994031003

Mengetahui,
Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. A. Muslim, M.Agr.
NIP. 196412291990011001

Tanggal seminar hasil: 20 September 2024

Tesis dengan judul “Optimasi *Dye* Vegetasi Rawa pada *Dye Sensitized Solar Cell*” oleh Nama Mahasiswa telah dipertahankan di hadapan komisi penguji Tesis Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya pada tanggal 25 September 2024 dan telah diperbaiki sesuai saran dan masukan tim penguji.

Komisi Penguji

1. Prof. Dr. Ir. Tamrin, M.Si
NIP. 196309181990031004

Ketua (.....)

2. Dr. Ir. Haisen Hower, M.P.
NIP. 196612091994031003

Anggota (.....)

3. Dr. Ir. Hersyamsi, M.Agr
NIP. 196008021987031004

Anggota (.....)

4. Dr. Hilda Agustina, S.TP., M.Si.
NIP. 197708232002122001

Anggota (.....)

Palembang, September 2024

Mengetahui,

Koordinator Program Studi

Magister Teknologi Industri Pertanian Fakultas Pertanian



Dr. Merynda Indriyani Syafutri, S.TP., M.Si.
NIP. 198203012003122002

PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Rizki Azra

Nim : 05032682327002

Judul : Optimasi *Dye* Vegetasi Rawa pada *Dye Sensitized Solar Cell*

Menyatakan bahwa seluruh informasi dan data yang dimuat dalam Tesis ini merupakan hasil penelitian saya sendiri di bawah supervisi pembimbing, kecuali yang disebutkan dengan jelas sumbernya, dan bukan hasil penjiplakan atau plagiat. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya unsur plagiasi dalam Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak ada paksaan dari pihak siapapun.



Palembang, September 2024



Muhammad Rizki Azra

05032682327002

RIWAYAT HIDUP

Muhammad Rizki Azra lahir pada tanggal 27 Maret 2001 di Kayu Agung. Anak dari pasangan bapak Saufillah dan Ibu Fariza. Penulis merupakan anak ke tiga dari tiga bersaudara.

Riwayat pendidikan penulis yaitu di Sekolah Dasar Negeri 16 Tanjung Batu, kemudian pada tahun 2013-2016 penulis melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Tanjung Batu. Pada tahun 2016-2019 penulis melanjutkan sekolahnya ke Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Tanjung Batu. Pada tahun 2019 diterima sebagai mahasiswa Universitas Sriwijaya Fakultas Pertanian Jurusan Teknologi Pertanian, Program Studi Teknik Pertanian melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) dan lulus S1 pada tahun 2023. Pada tahun yang sama juga penulis melanjutkan pendidikan S2 Prodi Teknologi Industri Pertanian Universitas Sriwijaya.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, akhirnya Tesis ini dapat diselesaikan sesuai rencana. Tesis yang berjudul “Optimasi *Dye* Vegetasi Rawa pada *Dye Sensitized Solar Cell*” ini merupakan persyaratan untuk melakukan penelitian tesis. Mudah-mudahan seluruh proses persiapan, pelaksanaan dan penyelesaian penelitian dapat berjalan dengan baik hingga terselesaikannya tesis ini.

Rasa terimakasih yang mendalam dihaturkan yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Tamrin, M.Si dan bapak Dr. Ir. Haisen Hower, M.P, selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan dan motivasi sehingga tesis ini dapat diselesaikan.
2. Seluruh dosen Program Studi Magister Teknologi Industri Pertanian Universitas Sriwijaya yang telah mengajarkan ilmu pengetahuan di bidang Teknologi Industri Pertanian.
3. Orang tua dan kakak kakak yang selalu mendukung dalam segala hal, sehingga tetap bersemangat untuk dapat menyelesaikan penelitian tepat waktu.

Mudah-mudahan tesis ini dapat bermanfaat dan memberi sedikit sumbangsih bagi khazanah ilmu pengetahuan khususnya di Kampus Universitas Sriwijaya.

Palembang , September 2024

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang	1
1.2. Tujuan	4
1.3. Hipotesis.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Energi Terbarukan.....	6
2.2. <i>Dye Sensitized Solar Cell</i>	6
2.2.1. Mekanisme Kerja <i>DSSC</i>	7
2.2.2. Komponen Penyusun <i>DSSC</i>	8
2.2.3. Karakteristik dan Pengukuran <i>DSSC</i>	9
2.3. <i>Dye</i> Alami	11
2.3.1. Klorofil.....	12
2.3.2. Antosianin	14
2.3.3. Karotenoid	15
2.4. <i>Design Expert</i>	17
2.4.1. <i>Simplex Lattice Design</i>	17
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1. Waktu dan Tempat	19
3.2. Alat dan Bahan.....	19
3.3. Metode Penelitian.....	20
3.3.1. Formulasi <i>Simplex Lattice Design</i>	20
3.3.2. Preparasi <i>Dye Sensitizer</i>	21
3.3.3. Preparasi Fotoelektrode, Elektrode Kerja dan Elektroda Pembanding.....	22
3.3.4. Perakitan <i>DSSC</i>	23

	Halaman
3.3.5. Karakteristik Spektrofotometri UV-Vis	23
3.3.6. Perhitungan Energi Bandgap pada Dye Alami	24
3.3.7. Karakteristik <i>DSSC</i>	24
3.3.8. Analisis Data dan Permodelan Data Eksperimen	25
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1. Karakterisasi <i>Dye</i> Alami dengan Spektrofotometer UV-Vis	27
4.1.1. Absorbansi <i>Dye</i> Alami Tunggal.....	27
4.1.2. Absorbansi Campuran Dua <i>Dye</i> Alami.....	28
4.1.3. Absorbansi Campuran Tiga <i>Dye</i> Alami	30
4.2. Analisa Energi <i>Bandgap</i>	30
4.3. Karakterisasi Performa <i>DSSC</i>	32
4.3.1. <i>DSSC Dye</i> Alami Tunggal	32
4.3.2. <i>DSSC</i> Dua <i>Dye</i> Alami	33
4.3.3. <i>DSSC</i> Tiga <i>Dye</i> Alami	35
4.4. Analisa Respon	37
4.4.1. Respon Efisiensi.....	37
4.4.2. Optimasi Formula Campuran <i>Dye</i> Alami	39
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1. Kesimpulan	41
5.2. Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	50

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Rentang setiap campuran <i>dye</i> alami.....	20
Tabel 3.2. Desain formulasi campuran <i>dye</i> alami dari tiga vegetasi.....	21
Tabel 4.1. Nilai energi <i>bandgap</i> pada <i>dye</i> Alami tunggal.....	27
Tabel 4.2. Nilai energi <i>bandgap</i> pada campuran dua <i>dye</i> alami	28
Tabel 4.3. Nilai energi <i>bandgap</i> pada Campuran Tiga <i>dye</i> alami.....	28
Tabel 4.4. Performa <i>DSSC dye</i> alami alami dari vegetasi A: eceng gondok, B: senduduk dan C: kuning Rawa	29
Tabel 4.5. Performa <i>DSSC</i> dua <i>dye</i> alami dari vegetasi A:eceng gondok, B: senduduk dan C: kuning Rawa	30
Tabel 4.6. Performa <i>DSSC</i> tiga <i>dye</i> alami dari vegetasi A: eceng gondok, B:senduduk dan C:kuning Rawa	32
Tabel 4.7. Nilai efisiensi dan <i>fill factor</i> berdasarkan pengukuran performa <i>DSSC</i>	34
Tabel 4.8. <i>ANOVA</i> respon efisiensi.....	34
Tabel 4.9. Analisa regresi respon	35
Table 4.10. Formula yang dihasilkan dalam proses optimasi.	36

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Karakteristik Arus dan Tegangan.....	10
Gambar 2.2. Struktur Kimia Klorofil A dan B.....	13
Gambar 2.3. Eceng Gondok	13
Gambar 2.4. Struktur Kimia Antosianin	14
Gambar 2.5. Senduduk.....	15
Gambar 2.6. Struktur Kimia Karotenoid.....	16
Gambar 2.7. Kuning Rawa.....	16
Gambar 3.1. Luas lapisan TiO ₂ dan karbon pada elektroda kerja dan elektroda pembanding.....	23
Gambar 4.1. Absorbansi <i>dye</i> alami tunggal	27
Gambar 4.2. Absorbansi dua <i>dye</i> alami A:B.....	28
Gambar 4.3. Absorbansi dua <i>dye</i> alami B:C.....	29
Gambar 4.4. Absorbansi dua <i>dye</i> alami A:C.....	29
Gambar 4.5. Absorbansi campuran tiga <i>dye</i> alami	30
Gambar 4.6. Kurva karakteristik (I-V) DSSC <i>dye</i> alami tunggal.....	33
Gambar 4.7. Kurva karakteristik (I-V) DSSC campuran dua <i>dye</i> alami	35
Gambar 4.8. Kurva karakteristik (I-V) DSSC campuran tiga <i>dye</i> alami	36

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Alur Penelitian Keseluruhan.....	34
Lampiran 2. Fabrikasi <i>DSSC</i>	35
Lampiran 3. Data pengukuran arus dan tegangan <i>DSSC</i> (5;0;0)	48
Lampiran 4. Data pengukuran arus dan tegangan <i>DSSC</i> (0;5;0)	50
Lampiran 5. Data pengukuran arus dan tegangan <i>DSSC</i> (0;0;5)	52
Lampiran 6. Data pengukuran arus dan tegangan <i>DSSC</i> (2,5;2,5;0)	54
Lampiran 7. Data pengukuran arus dan tegangan <i>DSSC</i> (0;2,5;2,5)	56
Lampiran 8. Data pengukuran arus dan tegangan <i>DSSC</i> (2,5;0;2,5)	58
Lampiran 9. Data pengukuran arus dan tegangan <i>DSSC</i> (0,8;0,8;3,3)	60
Lampiran 10. Data pengukuran arus dan tegangan <i>DSSC</i> (0,8;3,3; 0,8)	62
Lampiran 11. Data pengukuran arus dan tegangan <i>DSSC</i> (3,3; 0,8; 0,8;)	64
Lampiran 12. Data pengukuran arus dan tegangan <i>DSSC</i> (1,6;1,6;1,6)	66

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan inovasi dan teknologi yang pesat berdampak terhadap ketersediaan sumber energi fosil. Cadangan energi fosil dunia saat ini mulai menipis, dengan estimasi ketersediaan 200 tahun untuk batu bara, 60 tahun untuk gas alam, dan 40 tahun untuk minyak sejak tahun 2002 (Wahyuningsih *et al.*, 2020). Krisis energi ini disebabkan karena penggunaan yang berlebihan, tidak efisien, peningkatan populasi dan masih kurangnya eksplorasi terhadap energi terbarukan.

Upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil, adalah dengan alternatif sumber daya terbarukan. Dari berbagai sumber daya terbarukan, energi matahari terbukti dapat menjadi alternatif sumber pilihan karena pasokan energi melimpah dan berkelanjutan dengan berjumlah 3,8 juta EJ/tahun. Dari perspektif pengelolaan energi dan keamanan lingkungan, pemanfaatan spektrum cahaya tampak melalui sel surya mampu mengkonversinya menjadi listrik langsung dari sinar matahari (Ahmad *et al.*, 2017).

Sel surya berbasis silikon saat ini mendominasi pasar energi fotovoltaik, mencapai angka 93% dari total pembangkit listrik tenaga surya. Sel surya berbasis silikon kristal tunggal telah mencapai efisiensi sebesar 26,7% yang telah mendekati maksimum batas efisiensi teoritis 31% (Shockley dan Queisser 1961; Green *et al.*, 2017). Namun, bahan silikon yang dibutuhkan untuk pembuatan sel surya ini harus sangat murni yang memerlukan biaya tinggi dan sangat berbahaya untuk lingkungan.

Dengan adanya kendala-kendala ini mendorong pengembangan teknologi fotovoltaik alternatif yang memiliki biaya fabrikasi dan material yang rendah. Sel surya tersensitisasi pewarna yang diperkenalkan pertama kali oleh O'Regan dan Grätzel tahun 1991 yang kemudian disebut *Dye Sensitized Solar Cell* merupakan alternatif yang menarik karena sifat-sifatnya, seperti biaya produksi yang rendah, beragam pilihan substrat yang dapat digunakan, tidak memerlukan pemurnian tinggi dan rendahnya dampak terhadap lingkungan (Chuo *et al.*, 2012).

Struktur *DSSC* terdiri dari berbagai komponen, diantaranya kaca konduktif transparan atau *TCO* (*transparent conductive oxide*), semikonduktor titanium dioksida (TiO_2), *dye sensitizer*, larutan elektrolit dan *counter electrode* (Oktaviani dan Nursam, 2019). Prinsip kerja *DSSC* dimulai saat *DSSC* disinari cahaya, molekul *dye* akan menerima energi cahaya melalui kaca *TCO*. Energi foton menyebabkan elektron tereksitasi dari *HOMO* (*highest occupied molecular orbital*) menuju *LUMO* (*lowest unoccupied molecular orbital*) pada *dye*. Elektron pada *LUMO* akan terinjeksi menuju *CB* (*conduction band*) semikonduktor untuk kemudian berkumpul di *anode* dan meninggalkan *dye* dalam kondisi teroksidasi. *Dye* yang teroksidasi akan dikembalikan ke kondisi semula melalui proses regenerasi *dye*. Proses regenerasi *dye* melalui iodin mencegah kembalinya elektron yang telah terinjeksi ke *conduction band*. Ion triiodida I_3^- terbentuk akibat oksidasi iodin I^- berdifusi dengan *counter electrode* (Wu *et al.*, 2017). Siklus transfer dan regenerasi *dye* berakhir dengan konversi I_3^- menjadi ion I^- dan *dye* yang teroksidasi kembali keadaan semula (Thomas *et al.*, 2014).

Pada awal pengembangan *DSSC* menggunakan bahan pewarna sintetis dari ruthenium. Namun karena ketersediaan ruthenium terbatas dan fabrikasi yang sulit, penggunaan pewarna bahan sintetis beralih menggunakan pewarna alami. Daun, bunga, dan buah tanaman dapat digunakan sebagai pewarna *DSSC*. Meskipun efisiensi yang dihasilkan relatif kecil, penggunaan pewarna alam lebih murah dan fabrikasi yang mudah (Cari *et al.*, 2018).

Zat warna yang umum digunakan sebagai bahan sensorik *DSSC* antara lain klorofil, antosianin dan karoten (Syafinar *et al.*, 2015). Klorofil terdapat pada daun setiap tumbuhan. Klorofil mampu menyerap panjang gelombang cahaya dari warna merah, biru, dan ungu. Puncak serapan panjang gelombang klorofil berada pada rentang 400-450 nm dan 650-700 nm (Hao *et al.*, 2006). Antosianin adalah pigmen warna merah, ungu dan biru yang termasuk golongan flavonoid dan bisa digunakan sebagai pewarna (Zahrok dan prajitno, 2015). Hal ini karena antosianin mempunyai pita serapan panjang gelombang pada rentang pada 490-550 nm (Pratiwi *et al.*, 2017). Karoten memiliki pita serapan puncak pada rentang panjang gelombang cahaya 400-600 nm. Karoten adalah pigmen berwarna kuning orange sampai merah yang bersumber dari tanaman (Suryani *et al.*, 2013; Idris *et al.*, 2014).

Dye alami memiliki serapan panjang gelombang yang sempit. Sehingga, untuk mengatasi hal tersebut digunakan *dye* campuran agar daerah serapan menjadi lebih lebar (Fistiani *et al.*, 2017). Pencampuran *dye* oleh dua atau lebih pewarna dengan absorbansi yang berbeda dapat menjadi teknik yang efektif untuk meningkatkan serapan panjang gelombang dari *DSSC* (Ossai *et al.*, 2021). Pencampuran *dye* dapat meningkatkan efisiensi dan stabilitas *DSSC*. Dengan memanfaatkan pewarna dengan absorbansi yang berbeda satu sama lain dapat meningkatkan kinerja lebih baik daripada *dye* tunggal (Sinha *et al.*, 2020). Penelitian terhadap kombinasi *dye* baik dua, tiga bahkan empat jenis *dye* telah dilakukan oleh (Patni dan Sahrma, 2020; Ezike *et al.*, 2021; Munandar *et al.*, 2022; Mejica *et al.*, 2022; Teja *et al.*, 2023) namun belum adanya tahap optimasi.

Lahan basah atau rawa merupakan sebuah bentuk ekosistem sangat kompleks yang memiliki peran dan siklus biogeokimia global dan sangat penting bagi ekosistem global (Harianto *et al.*, 2017). Pulau Sumatera mempunyai lahan rawa terluas di Sumatera Selatan dengan luas mencapai 2,98 juta ha (Suparwoto dan Waluyo, 2009). Lahan rawa ini memiliki biodiversitas yang cukup tinggi dan menjadi habitat bagi berbagai jenis vegetasi unik (Afriani *et al.*, 2013)

Salah satu aspek yang menarik dari vegetasi di lahan rawa adalah potensinya sebagai sumber *dye* alami untuk *Dye Sensitized Solar Cell*. Tumbuhan yang tumbuh di lahan rawa, seperti eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), senduduk (*Melastoma malabathricum*), kuning rawa (*Ludwigia peruviana*) memiliki pigmen alami yang dapat diekstrak dan digunakan sebagai *dye* alami. Kandungan pigmen klorofil, antosianin dan karotenoid selain memberikan warna tertentu pada tumbuhan, namun juga mampu menyerap cahaya matahari dengan efisiensi tinggi. Ekstraksi pigmen dari *dye* vegetasi rawa pada *DSSC* tidak hanya sebagai alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, juga dapat mendukung pemanfaatan sumber daya alam secara berkelanjutan.

Sebelumnya, penelitian yang dilakukan Hower (2022), telah menginvestigasi hal serupa yaitu kombinasi campuran antar *dye* (klorofil, antosianin dan karotenoid) namun metodenya hanya fokus pada takaran volume yang seragam tanpa melibatkan tahap optimasi. Penelitian terhadap optimasi *DSSC* telah dilakukan oleh (Aziz *et al.*, 2019; Salinas dan Ariza, 2019; Gasga, 2020; Al-

Alwani *et al.*, 2020), namun sebagian besar optimasinya berfokus hanya pada proses fabrikasi *DSSC* misalnya konsentrasi *dye* menggunakan *D-Optimal* maupun *RSM* dan belum ada optimasi pada formulasi jenis *dye*. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengeksplorasi formulasi campuran terbaik dari ketiga jenis *dye* vegetasi dengan harapan dapat meningkatkan efisiensi *DSSC*.

Dalam penelitian ini, dilakukan desain campuran untuk mengamati efek penggunaan *dye* alami tunggal dan campuran terhadap karakteristik *Dye Sensitized Solar Cell* untuk mengoptimalkan formulasi *dye* (klorofil, antosianin dan karotenoid). *Simplex Lattice Design (SLD)* merupakan metode yang berguna untuk mengidentifikasi volume optimal dalam formulasi bahan (Rad *et al.*, 2019; Nouadjep *et al.*, 2019; Siswanto *et al.*, 2020; Fanani *et al.*, 2021; Monton *et al.*, 2021; Patel *et al.*, 2021; Oloyede *et al.*, 2023) telah berhasil melakukan penelitian optimasi menggunakan *SLD* pada bidang farmasi dan bidang pangan.

Metode *SLD* tersebut merumuskan suatu persamaan polinomial sehingga efek dari campuran terhadap suatu parameter respon dapat diketahui (Kusumaningtyas *et al.*, 2019; Priani *et al.*, 2023). Optimasi dengan metode *SLD* ini praktis dan berlangsung secara cepat karena dapat menghindari penentuan rumus secara coba-coba (*trial and error*) sehingga dapat menentukan formula optimum dengan jumlah bahan yang jauh lebih sedikit sehingga dapat meminimalkan penggunaan bahan, waktu, dan tenaga (Mandlik *et al.*, 2012).

1.2. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Menganalisis performa *Dye Sensitized Solar Cell* dengan variasi volume *dye* alami untuk mendapatkan campuran *dye* alami yang menghasilkan efisiensi maksimum.
- 2) Mendeterminasi serapan panjang dan energi *bandgap* campuran *dye* alami dari beberapa vegetasi rawa.

1.3. Hipotesis

Optimasi *dye* vegetasi rawa dalam *DSSC* dengan metode *Simplex Lattice*

Design terhadap performa *DSSC* akan menghasilkan formulasi campuran *dye* alami optimum dan menghasilkan efisiensi yang maksimum.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Pewarna yang digunakan sebagai *dye* alami adalah klorofil dari vegetasi eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), antosianin dari vegetasi senduduk (*Melastoma malabathricum* Linn) dan karoten dari vegetasi kuning rawa (*Ludwigia peruviana*);
- 2) Setiap perlakuan diasumsikan sama yaitu struktur dan ketebalan TiO_2 , ketebalan elektroda pembanding, volume cairan elektrolit setiap perlakuan, dengan intensitas cahaya yang diterima *DSSC* sebesar 88800 lux;
- 3) Perancangan formulasi dan optimasi campuran *dye* alami dari setiap vegetasi menggunakan *software Design Expert 13* metode *Simplex Lattice Design*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adu, R. E., Gelyaman, G., dan Kabosu, M. (2022). Pemanfaatan Ekstrak Antosianin dari Limbah Kulit Bawang Merah (*Allium cepa*) sebagai Zat Pemeka (Sensitizer) pada Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 18(1), 103-111.
- Aduloju, K. A., dan Ezema, F. (2011). Effect of natural dye extracting temperature on the performances of dye sensitized solar cells using *Petrocarpus Erinaceus*. *Archives of Physics Research*, 2(3), 191-196.
- Afriani, P., Marisa, H., dan juswardi. (2023). Komposisi, Keragaman dan Struktur Vegetasi Rawa Lebak Tanjung Senai, Ogan Ilir, Sumatera Selatan. *Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, 4(2), 168-175.
- Ahmad, M. S., Pandey, A. K., dan Rahim, N. A. (2017). Advancements in the development of TiO₂ photoanodes and its fabrication methods for dye sensitized solar cell (DSSC) applications. A review. *Elsevier: Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 89-108.
- Ai, N. S., dan Banyo, Y. (2011). Konsentrasi Klorofil Daun sebagai Indikator Kekurangan Air pada Tanaman. *Jurnal Ilmiah Sains*, 11(2), 166-173.
- Al-Alwani, M. A., Hasan, H. A., Al-Shorgani, N. K., dan Al-Mashaan, A. B. (2020). Natural dye extracted from Areca catechu fruits as a new sensitizer for dye-sensitized solar cell fabrication: Optimisation using D-Optimal design. *Materials Chemistry and Physics*, 240, 1-9.
- Alfidharisti, S. R., Nurosyid, F., dan Iriani, Y. (2018). Pengaruh Waktu terhadap Efisiensi Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). *Indonesian Journal of Applied Physics*, 8(1), 1-5.
- Amrullah, S., Darwis, D., dan Iqbal. (2017). Dye Sensitized Solar Cell Nanokristal TiO₂ Menggunakan Ekstrak Antosianin *Melastoma malabathricum* L. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 6(3), 321 – 331.
- Anggistia, M. D., Widiyandari, H., dan Anama, 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), 50-57.
- Aprilla, W. R., dan Haris, A. (2016). Sintesis Semikonduktor TiO₂ serta Aplikasinya pada Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Dye Indigo Carmine. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 19(3), 111-117.
- Ardianto, R., Nugroho, W. A., dan Sutan, S. M. (2015). Uji Kinerja Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Lapisan Capacitive Touchscreen Sebagai Substrat dan Ekstrak Klorofil *Nannochloropsis* Sp. Sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Ketebalan Pasta TiO₂. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 3(3), 325-337.
- Assiddiq S, H., dan Dinahkandy, I. (2018). Studi Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan Berbasis Sel Fotovoltaik

- Untuk Mengatasi Kebutuhan Listrik Rumah Sederhana Di Daerah Terpencil. *Jurnal Teknik Mesin UNISKA*, 3(2), 88-93.
- Aviana, T., Hutajulu, T. F., dan Isyanti, M. (2015). Pembuatan Nano-karetinoid Asal Konsentrat Minyak Sawit dengan Cara Sonikasi. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 26(1), 11-18.
- Aziz, N., Mat nor, N. A., dan Arof, A. K. (2019). Optimization of anthocyanin extraction parameters from *M. malabathricum* via response surface methodology to produce natural sensitizer for dye sensitized solar cells. *Optical and Quantum Electronics*, 52(1).
- Bolton, S. (1997). *Pharmaceutics Statistics: Practical and Clinical Applications* (Edisi 3 ed.). New York_Basel: Marcel Dekker Inc.
- Bezerra, M. A., Santelli, R. E., Escalera, L. A., Oliveira, E. P., dan Villar, L. S. (2008). Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta*, 76(5), 965-77.
- Brennan, J. G. (2006). *Food Processing Handbook*. Germany: John Wiley dan Son.
- Cari, C., Khairuddin, T. Y., Septiawan, P. M., Suciarmoko, D., Kurniawan, dan Supriyanto, A. (2018). The Preparation of Natural Dye for Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). *International Conference on Science and Applied Science* (p. 020106). Surakarta: AIP Publishing.
- Chou, C. S., Guo, M. G., Liu, K. H., dan Chen, Y. S. (2012). Preparation of TiO₂ particles and their applications in the light scattering layer of a dye-sensitized solar cell. *Applied Energy*, 92, 224-233.
- Dafrita, I. E., dan Sari, M. (2020). Senduduk dan ubi jalar ungu sebagai pewarna preparat squash akar bawang merah. *JPBIO (Jurnal Pendidikan Biologi)*, 5(1), 46-44.
- Dahlan, D., dan Fahyuan, H. D. (2014). Pengaruh Beberapa Jenis Dye Organik Terhadap Efisiensi Sel Surya Dye Sensitized Solar Cell. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 15(2), 74-79.
- Dahlan, D., Leng, T. S., dan Aziz, H. (2016). Dye Sensitized Solar Cells (Dssc) Dengan Sensitiser Dye Alami Daun Pandan, Akar Kunyit Dan Biji Beras Merah (Black Rice). *Jurnal Ilmu Fisika*, 8(1), 1-8.
- Damayanti, R., Hardeli, dan Sanjaya, H. (2014). Preparasi Dye Sensitized Solar Cell (Dssc) Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea Batatas* L.). *Jurnal Sainstek*, 6(2), 148-157.
- Dandara, M. E., Pingak, R. K., dan Johannes, A. Z. (2019). Estimasi Celah Energi Senyawa Hasil Ekstrak Daun Sirsak (*Annona Muricata*. L) Menggunakan Metode Tauc Plot. *Jurnal Fisika*, 4(1), 48-51.
- Deskawi, O., Ningsih, R., Avisena, N., dan Hastuti, E. (2015). Potensi Ekstrak Kasar The Hitam (*Camellia sinensis* O.K. var. *Assamica*). *Journal of Chemistry*, 4(1), 50-59.

- Djaelani, B., Fatimah, I., dan Julianto, T. S. (2014). Penggunaan Ekstrak Pigmen Kulit Buah Manggis (*Garcinia Mangostana*) Sebagai Zat Peka Cahaya TiO₂-Montmorillonit Dalam Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). *Indonesian Journal Of Chemical Research*, 1(1), 1-10.
- Du, H., Wu, J., Ji, K. X., Zeng, Q. Y., Bhuiya, M. W., Su, S., dan Wang, L. S. (2015). Methylation Mediated by An Anthocyanin, O-Methyltransferase, Is Involved in Purple Flower Coloration in *Paeonia*. *Journal of Experimental Botany*, 66(21), 6563 – 6577.
- Dwioknain, E., Hardianti, Tahir, D., dan Gareso, P. L. (2018). Pembuatan Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Antosianin Dari Dye Bunga Kenikir (*Cosmos caudatus*) dan Bunga Zinnia (*Zinnia peruviana*). *Jurnal Fisika Flux*, 16(1), 1-8.
- Dwipanur, A., Dahlan, D., Firmawati, N., dan Umar, A. A. (2020). Pengaruh Doping Palladium (Pd) Terhadap Lapisan TiO₂ dengan Metode LPD untuk Aplikasi Fotoanoda Sel Surya DSSC. *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)*, 12(1), 6–10.
- Ezike, S. C., Hyelnasinyi, C. N., Salawu, M. A., Wansah, J. F., Ossai, A. N., dan Agu, N. N. (2021). Synergistic effect of chlorophyll and anthocyanin Co-sensitizers in TiO₂-based dye-sensitized solar cells. *Surfaces and Interfaces*, 22, 1-12.
- Fanani, Z., Setyowati, E., dan Etikasari, R. (2021). Simplex Lattice Design Analysis for Optimizing the Sangketan Extract (*Achyranthes aspera*) production. *Journal of Physics: Conference Series* (pp. 1-4). Indonesia: IOP Publishing.
- Fistiani, M. D., Nurosyid, F., dan Suryana, R. (2017). Pengaruh Komposisi Campuran Antosianin-Klorofil sebagai Fotosensitizer terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell. *Jurnal fisika dan aplikasinya*, 13(1), 19-22.
- Gasga, K. (2020). Pilictricity: Fabrication and Optimization of Dye Sensitized Solar Cell using Pili (*Canarium ovatum*) Dye and Activated Carbon as Sensitizer and Counter Electrode. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(12s), 776-783.
- Green, M. A. (1982). *Solar Cells Operating Principles Technology and System Application*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, Inc.
- Green, M. A., Hishikawa, Y., Ewan D. Dunlop,, E. D., Levi, D. H., Ebinger, J. H., dan Ho-Baillie, A. W. (2017). Solar cell efficiency tables (version 51). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications.*, 26(1), 3-12.
- Hairunnisa, Gusrizal, dan Rahmalia, W. (2020). Sintesis Kompleks Cu(II) dan Fe(III) dengan Ligan Asam Humat dan Aplikasinya sebagai Sensitizer pada Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *Journal of Chemical Process Engineering*, 5(1), 14-22.
- Hambali M, Mayasari, F., dan Noermansyah, F. (2014). Ekstraksi Antosianin dari Ubi Jalar dengan Variasi Konsentrasi Solven, dan Lama Waktu Ekstraksi. *Teknik Kimia*, 20(2), 25-35.

- Handayani, S., Gunawana, dan Haris, A. (2013). Pengaruh Pasta ZnO dengan Penambahan Dish Detergent dan PVA pada Kaca Konduktif terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell dari Ekstrak Bunga Rosela (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 16(3), 90-96.
- Hao, S., Wu, J., Huang, Y., dan Lin, J. (2006). Natural dyes as photosensitizers for dye-sensitized solar cell. *Solar Energy*, 80(2), 209-214.
- Harborne, J. B. (1987). *Metode Fitokimia dan Penurunan Cara Modern*. (D. O. dan, Trans.) Bandung: Penerbit ITB.
- Harianto, P., Sugeng, dan Sari, D. B. (2017). *Biodiversitas Flora di Kawasan Budidaya Lahan Basah*. Lampung: Universitas Lampung.
- Hendryani, R., Lutfi, M., dan Hawa, L. C. (2015). Ekstraksi Antioksidan Daun Sirih Merah Kering (*Piper Crotatum*) dengan Metode Perlakuan Ultrasonic Assisted Extraction (Kajian Perbandingan Jenis Pelarut dan Lama Ekstraksi). *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*, 3(2), 33-38.
- Hidayat, I. R., Zuhrotun, A., dan Sopyan, I. (2021). Design-expert Software sebagai Alat Optimasi Formulasi Sediaan Farmas. *Majalah Farmasetika*, 6(1), 99-120.
- Hindryawati, N., Hiyahara, I. A., Saputra, H., Arief, M. S., dan Maniam, G. P. (2020). Preparation of Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Using TiO₂ and Mahkota Dewa Fruit (*Phaleria Macrocarpa* (Scheff) Boerl.) Extract. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 10(1), 43-49.
- Ibrahim, A. M., Situmeang, B., Rifa'i, A., dan Mustafid, A. H. (2021). Utilization of leaf and fruit extracts of kedondong (*Spondias dulcis* Forst) as a supporting material for energy conversion in dye sensitized solar cells and electrochemical cells. *Jurnal Pendidikan Kimia*, 13(1), 10-21.
- Idris, R., Riniatsih, I., dan Pringgenies, D. (2014). Identifikasi Pigmen Karetenoid pada Bakteri Symbion Karang *Pocillopora damicornis*. *Journal of Marine Research*, 3(3), 244-253.
- Kabir, F., Bhuiyan, M. M., Hossain, M. R., Bashar, H., Rahaman, M. S., Manir, M. S., . . . Ikegami, T. (2019). Effect of combination of natural dyes and post-TiCl₄ treatment in improving the photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells. *Comptes Rendus Chimie*, 22(9-10), 659-666.
- Karim, N. A., Mehmood, U., Zahid, H. F., dan Asif, T. (2019). Nanostructured photoanode and counter electrode materials for efficient Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs). *elsevier*, 185, 165-188.
- Kusumaningtyas, R. D., Triwibowo, B., Ramadhani, R. A., Riyadi, D. H., dan Istadi, I. (2019). Simplex Lattice Design Method for the Optimization of Non-Edible Oils Mixture Composition as Feedstock for Biodiesel Synthesis Using Reactive Distillation. *Journal of Physics: Conf. Series* (pp. 1-9). Indonesia: IOP Publishing.

- Lai, W. H., Sub, Y. H., Teoh, L. G., dan Hon, M. H. (2008). Commercial and Natural Dyes as Photosensitizers for a Water-Based Dye-Sensitized Solar Cell Loaded with Gold Nanoparticles. *Elsevier Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 195, 307-313.
- Mahmudatuss'adah, A., Fardiaz, D., Andarwulan, N., dan Kusnandar, F. (2014). Karakteristik Warna dan Aktivitas Ubi Jalar Ungu. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 25(2), 176-184.
- Mandlik, S. K., Adhikari, S., dan Deshpande, A. (2012). Application of Simplex Lattice Design in Formulation and Development of Buoyant Matrices of Dipyrindamole. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2(12), 107-111.
- Mejica, G. F., Ramaraj, R., dan Unpaprom, Y. (2022). Natural dye (chlorophyll, anthocyanin, carotenoid, flavonoid) photosensitizer for dye-sensitized solar cell: A review. *Maejo International Journal of Energy and Environmental Communication*, 4(1), 12-22.
- Merdekawati, W., Karwur, F. F., dan Susanto, A. B. (2017). Karetenoid pada Algae: Kajian Tentang Biosintesis, Distribusi serta Fungsi Karetenoid. *Bioma*, 13(1), 23-32.
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments*. Wiley.
- Monton, C., Chuanchom, P., Popanit, P., Settharaksa, S., dan Pathompak, P. (2021). Simplex lattice design for optimization of the mass ratio of Curcuma longa L., Curcuma zedoaria (Christm.) Roscoe and Curcuma aromatica Salisb. To maximize curcuminoids content and antioxidant activity. *Acta Pharm*, 71(3), 445-457.
- Muchammad, dan Setiawan. (2011). Peningkatan efisiensi modul surya 50 wp dengan penambahan reflektor. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. (pp. 45-50). Semarang: UWH.
- Munandar, A., Iswadi, dan Fuadi, N. (2017). Identifikasi Zat Warna Dari Pencampuran Ekstrak Daun, Bunga, Dan Buah Tumbuhan Tropis Sebagai Bahan Sensitizer Pada Dye Sensitized Solar Cell. *Jurnal fisika dan terapannya*, 4(2), 107-117.
- Munandar, M. R., Hakim, A. S., Puspitadinda, H. A., Andiyani, S. P., dan Nurosyid, F. (2022). The effect of mixing Chlorophyll-Antocyanin as a natural source dye on the efficiency of dye-sensitized solar cell (DSSC). *Journal of Physics: Conference Series* (pp. 1-7). Indonesia: IOP Publishing.
- Mustaqima, Haris, A., dan Gunawan. (2017). Fabrikasi Dye-Sensitized Solar Cell Menggunakan Fotosensitizer Ekstrak Bunga Rosela (*Hibiscus sabdariffa* L) dan Elektrolit Padat Berbasis PEG (Polyethylene Glycol)). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 20(2).
- Nouadjep, N. S., Nsob, E., Kanaa, E. G., dan Kapseu, C. (2019). Simplex lattice mixture design application for biodiesel production: Formulation and characterization of hybrid oil as feedstock. *Fuel*, 252, 135-142.
- O'Regan, B., dan Grätzel, M. (1991). A low-cost, high-efficiency solar cell based on dyesensitized colloidal TiO₂ films. *Nature*, 353, pages737–740.

- Oktaviani, E., dan Nursam, N. M. (2019). Pengaruh Material Counter Electroda pada Dye Sensitized Solar Cell. *Metalurgi*, 3, 109-130.
- Oloyede, C. T., Jekayinfa, S. O., Alade, A. O., Ogunkunle, O., Laseinde, O. T., Adebayo, A. O., dan Fattah, I. M. (2023). Synthesis of Biobased Composite Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production Using Simplex Lattice Design Mixture: Optimization Process by Taguchi Method. *Energies*, 16, 1-26.
- Ossai, A. N., Ezike, S. C., Timtere, P., dan Ahmedb, A. D. (2021). Enhanced photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells-based Carica papaya leaf and black cherry fruit co-sensitizers. *Elsevier*, 2, 1-8.
- Parwanti, A., Putri, M. E., dan Alviyati, N. (2019). Optimasi Ekstraksi β -Karoten Ubi Jalar Kuning (*Ipomoea Batatas* .L) Sebagai Sumber Potensial Pigmen Alami. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi*, (pp. 414-419).
- Patel, M., Shaikh, F., Patel, V., dan Surti, N. (2021). Optimization of Glipizide Floating Matrix Tablet Using Simplex Lattice Design. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 306-315.
- Patni, N., Pillai, S. G., dan Sharma, P. (2020). Effect of using betalain, anthocyanin and chlorophyll dyes together as a sensitizer on enhancing the efficiency of dye-sensitized solar cell. *International Journal of Energy Research*, 44(13), 1-14.
- Pratiwi, D. D., Nurosyid, F., Supriyanto, A., dan Suryana, R. (2017). Efficiency enhancement of dye-sensitized solar cells (DSSC) by addition of synthetic dye into natural dye (anthocyanin). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 176, p. 012012. Surakarta: IOP Publishing.
- Priani, S. E., Septian, M. T., dan Soewondo, B. P. (2023). Optimasi Transcutol dan Propilenglikol Sebagai Peningkat Penetrasi dalam Gel Natrium Diklofenak Menggunakan Simplex Lattice Design. *Jurnal Mandala Pharmacon Indonesia (JMPI)*, 9(1), 87-93.
- Prima, A., dan Novrita, S. Z. (2019). Pengaruh Perbedaan Konsentrasi Tawas Pada Pencelupan Bahan Katun Menggunakan Zat Warna Alam Ekstrak Buah Senduduk (*Melastoma Malabathricum* L). *Gorga Jurnal Seni Rupa*, 8(1), 260-266.
- Priska, M., Peni, N., Carvallo, L., dan Ngapa, Y. D. (2018). Review: Antosianin dan Pemanfaatannya. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 6(2), 79-97.
- Rad, A. H., Pirouzian, H. R., Toker, O. S., dan Konar, N. (2019). Application of simplex lattice mixture design for optimization of sucrosefree milk chocolate produced in a ball mill. *LWT - Food Science and Technology*, 115, 1-10.
- Rahayu, O. U., Malahayati, dan Harnelly, E. (2018). Studi Serapan Cahaya Dye Alami Hasil Ekstrak Daun Suji dan Buah Senduduk. *J. Aceh Phys. Soc*, 7(2), 106-109

- Rajabiah, N., dan Wahyudi, T. C. (2022). Kajian sifat listrik bayam merah dan daun kelor sebagai fotosensitizer pada DSSC solar cell. *TURBO*, 11(1), 153-158.
- Rosyida, A., dan Wedyatmo, D. A. (2014). Pemanfaatan Daun Jati Muda untuk Pewarnaan Kain Kapas pada Suhu Kamar. *Arena Tekstil*, 29(2), 115-124.
- Roviqoh, A., dan Kusumawati, N. (2022). Optimasi pH Kombinasi Ekstrak Bunga Telang (*Clitoria ternatea*) dan Daun Pisang Kering (*Musa acuminate*) sebagai Natural Dye Sensitizer pada Rangkaian DSSC (Dye Sensitized Solar Cell). *Prosiding Seminar Nasional Kimia* (pp. 29-38). Surabaya: Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri .
- Salinas, M. J., dan Ariza, M. J. (2019). Optimizing a Simple Natural Dye Production Method for Dye-Sensitized Solar Cells: Examples for Betalain (*Bougainvillea* and Beetroot Extracts) and Anthocyanin Dye. *Applied Sciences*, 9, 1-20.
- Santoso, W. E., dan Estiasih, T. (2014). Kopigmentasi Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas* var. Ayamurasaki) dengan Kopigmen Na-Kaseinat dan Protein Whey serta Stabilitasnya terhadap Pemanasan. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 2(4), 121-127.
- Setiarso, P., dan Sova, R. (2023). Potential Dye Suji Leaves (*Pleomele angustifolia*) Chlorophyll and Red Dragon Fruit Peel (*Hylocereus polyrhizus*) Anthocyanins as Natural Dyes for Dye-Sensitized Solar Cells. *Asian Journal of Chemistry*, 35(4).
- Shockley, W., dan Queisser, H. j. (1961). Detailed balance limit of efficiency of p-n junction solar cells. *J. Appl. Phys*, 32, 510–519.
- Sinha, D., De, D., dan Ayaz, A. (2020). Photo sensitizing and electrochemical performance analysis of mixed natural dye and nanostructured ZnO based DSSC. *Sādhanā*, 45(175).9
- Siswanto, A., Al iman, R. A., Genatrika, E., Djalil, D. A., dan Panulung, I. A. (2020). Optimization of Floating Tablet Containing Glibenclamide Using Simplex Lattice Design. *Journal of Physics: Conference* (pp. 1-9). Indonesia: IOP Publishing.
- Sobus, J., & Ziółek, M. (2014). Optimization of absorption bands of dye-sensitized and perovskite tandem solar cells based on loss-in-potential values. *Physical chemistry chemical physics : PCCP*, 16(27).
- Sova, R. R., dan Setiarso, P. (2021). Studi Elektrokimia Klorofil dan Antosianin Sebagai Fotosensitizer DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell). *UNESA Journal of Chemistry*, 10(2), 191-199.
- Stryland, E., Woodall, M., Vanherzeele, H., & Soileau, M. (1985). Energy band-gap dependence of two-photon absorption. *Optics letters*, 10(10).
- Suparwoto, dan Waluyo. (2009). Meningkatkan pendapatan petani di rawa lebak melalui penganekaragaman komoditas. *Jurnal Pembangunan Manusia*, 7(1).
- Suryana, R., Khoiruddin, dan Supriyanto, A. (2013). Beta-Carotene Dye of *Daucus Carota* as Sensitizer on Dye-Sensitized Solar Cell. *Materials Science Forum*, 737, 15-19.

- Suryani, Nafisah, A., dan Mana'an, S. (2017). Optimasi Formula Gel Antioksidan Ekstrak Etanol Buah Bligo (*Benincasa hispida*) dengan Metode Simplex Lattice Design (SLD). *Jurnal Farmasi Galenika (Galenika Journal of Pharmacy)*, 3(2), 150-156.
- Syafinar, R., Gomesh, N., Irwanto, M., Fareq, M., dan Irwan, Y. M. (2015). Chlorophyll pigments as nature based dye for dye-sensitized solar cell (DSSC). *Energy Procedia*, 79, 896-902.
- Syukri, D. (2021). *Pengetahuan Dasar Tentang Senyawa Karetinoid sebagai Bahan Baku Produksi Produk Olahan Hasil Pertanian*. Padang: Andalas University Press.
- Teja, A. S., Srivastava, A., Satrughna, J. A., Tiwari, M. K., Kanwade, A., Lee, H., Shirage, P. M. (2023). Synergistic co-sensitization of environment-friendly chlorophyll and anthocyanin-based natural dye-sensitized solar cells: An effective approach towards enhanced efficiency and stability. *Solar Energy*, 261, 112-124.
- Thomas, S., Deppak, T. G., Anjusree, G. S., Arun, T. A., Nair, S. V., dan Nair, A. S. (2014). A review on counter electrode materials in dye-sensitized solar cells. *Journal of Materials Chemistry A*, 2, 4474-4490.
- Tiautit, N., Puratane, C., Panpinit, S., dan Saengsuwan, S. (2014). *Elsevier*, 56, 378-385.
- Utomo, A. D., dan Wihadi, M. N. (2022). Preparation of ZnO/TiO₂ Nanocomposite Sensitized Mangosteen Rind (*Garcinia mangostana* L) Dye for Light Harvesting Efficiency in Solar Cell. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 10(2), 68-73.
- Utomo, A. D., Harjito, dan Wahyuni, S. (2013). Sintesis Nanokomposit ZnO/TiO₂ Dengan Metode Sol-Gel Untuk Elektroda Dye Sensitized Solar Cell. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 2(1), 66-71.
- Wahyuni, I. T., dan Setiarso, P. (2022). Karakterisasi Elektrokimia Ekstrak Klorofil dari Daun Salam (*Syzygium polyanthum*) pada pH Basa sebagai Sensitizer pada Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *Alchemy: journal of Chemistry*, 10(2), 41-47.
- Wahyuningsih, S., Ramelan, A. H., Fuad, M., dan Hanif, Q. A. (2020). Sintesis Grafena Oksida Tereduksi Terdoping Nitrogen Dan Sulfur Dari Amonium Tiosianat Sebagai Elektroda Lawan Pada Sistem Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 16(1), 126-139.
- Wu, J., Lan, Z., Lin, J., Huang, M., Huang, Y., Fan, L., . . . Wei, Y. (2017). Counter electrodes in dye-sensitized solar cells. *Chem. Soc. Rev*, 46, 5975-6023.
- Yan, Y., Zhang, Y., Liu, L., Shi, Y., Qiu, D., Deng, D., . . . Wei, Z. (2022). Simultaneously Decreasing the Bandgap and Voc Loss in Efficient Ternary Organic Solar Cells. *Advanced Energy Materials*, 22.

- Zahrok, Z. L., dan Prajitno, G. (2015). Ekstrak Buah Murbei (Morus) Sebagai Sensitizer Alami Pada Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Substrat Kaca ITO Dengan Teknik Pelapisan Spin Coating. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(1), 26-31.
- Zulenda, Naselia, U. A., Gustian, N., Zaharah, T. A., dan Rahmalia, W. (2018). Sintesis Dan Karakterisasi Kompleks Brazilin dari Ekstrak Kayu Secang (Caesalpinia sappan Linn) Serta Aplikasinya dalam Dye Sensitized Solar Cells (DSSC). *Jurnal Kimia Valensi*, 5(1), 8-14.