

Analisis Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) Yang Terbuat Dari Ekstrak Buah Naga Merah Sebagai Pewarna *Dye*

Arya Ar Rasyid¹, Denny Hasmintasembiring Maha², Muhammad Irwanto³, Riski Titian Ginting⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Prima Indonesia
Jl. Sampul No. 3 Medan, 20118

e-mail: dennyhasmintasembiringmaha@unprimdn.ac.id

Abstrak— *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) adalah salah satu teknologi fotovoltaik yang sedang berkembang dan menawarkan alternatif yang lebih murah serta ramah lingkungan dibandingkan dengan solar cell berbahan silikon. Teknologi DSSC memanfaatkan pewarna (*dye*) sebagai komponen kunci untuk menyerap cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik melalui proses eksitasi elektron. Pewarna alami, khususnya antosianin yang terkandung dalam buah naga merah, dieksplorasi sebagai alternatif ramah lingkungan terhadap pewarna sintetis pada DSSC. Pewarna ini diharapkan mampu menyerap energi cahaya matahari dan mengkonversinya menjadi energi listrik melalui eksitasi elektron. Karakterisasi spektrum UV-Vis dari ekstrak buah naga merah menunjukkan adanya puncak serapan pada panjang gelombang 450-600 nm, yang berada di rentang cahaya tampak. Meskipun pewarna alami ini memiliki kemampuan menyerap cahaya dalam spektrum yang terbatas, DSSC yang dihasilkan menunjukkan efisiensi konversi energi sebesar 0,009435% dan 0,00571%, dengan arus hubung pendek (*Jsc*) sebesar 0,0254 A dan 0,0306 A serta tegangan sirkuit terbuka (*Voc*) berkisar antara 0,461 hingga 0,675 V.

Kata kunci : *Dye sensitized solar cell*, ekstrak buah naga merah, *pewarna dye*, efisiensi

Abstract— *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) is one of the photovoltaic technologies that is currently developing and offers a cheaper and more environmentally friendly alternative compared to silicon solar cells. DSSC technology utilizes dye as a key component to absorb sunlight and convert it into electrical energy through the electron excitation process. Natural dyes, especially anthocyanins contained in red dragon fruit, are explored as an environmentally friendly alternative to synthetic dyes in DSSC. This dye is expected to be able to absorb sunlight energy and convert it into electrical energy through electron excitation. Characterization of the UV-Vis spectrum of red dragon fruit extract shows an absorption peak at a wavelength of 450-600 nm, which is in the visible light range. Although these natural dyes have the ability to absorb light in a limited spectrum, the resulting DSSCs show energy conversion efficiencies of 0.009435% and 0.00571%, with short circuit currents (*Jsc*) of 0.0254 A and 0.0306 A and open circuit voltages (*Voc*) ranging from 0.461 to 0.675 V.

Keywords : *Dye sensitized solar cell*, red dragon fruit extract, *dye*, efficiency

I. PENDAHULUAN

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) adalah salah satu teknologi fotovoltaik yang sedang berkembang dan menawarkan alternatif yang lebih murah serta ramah lingkungan dibandingkan dengan solar cell berbahan silikon[1][2]. Teknologi DSSC memanfaatkan pewarna (*dye*) sebagai komponen kunci untuk menyerap cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik melalui proses eksitasi elektron[3][4]. Salah satu aspek penting dalam pengembangan DSSC adalah pemilihan bahan pewarna yang efektif, murah, dan ramah lingkungan.

Dalam konteks ini, ekstrak buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) telah menarik perhatian sebagai sumber pewarna alami yang potensial untuk DSSC[5]. Buah naga merah mengandung senyawa antosianin yang merupakan pigmen alami dengan sifat fotokimia yang baik. Antosianin memiliki kemampuan menyerap cahaya dalam spektrum yang luas[6], terutama pada panjang gelombang cahaya tampak,

sehingga berpotensi meningkatkan efisiensi penyerapan energi cahaya matahari dalam DSSC[7].

Penggunaan pewarna alami dari buah naga merah juga sesuai dengan upaya keberlanjutan dan ramah lingkungan karena bahan ini berasal dari sumber daya terbarukan, mudah didapatkan, dan *biodegradable*[8]. Di sisi lain, pewarna alami biasanya lebih aman dan tidak beracun dibandingkan pewarna sintetis yang lebih mahal dan berisiko terhadap lingkungan[9][10].

Namun, meskipun memiliki potensi, penggunaan pewarna dari ekstrak buah naga merah dalam DSSC masih memerlukan penelitian lebih lanjut, khususnya terkait efisiensi konversi energi, stabilitas pewarna, dan durabilitas perangkat solar cell yang dihasilkan. Oleh karena itu, analisis efisiensi DSSC yang terbuat dari ekstrak buah naga merah sangat penting untuk memahami sejauh mana pewarna alami ini dapat dioptimalkan dan bersaing dengan teknologi pewarna lainnya yang ada di pasaran.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja DSSC berbasis ekstrak buah naga merah dalam hal

efisiensi konversi energi dan stabilitas operasionalnya, serta mengidentifikasi tantangan dan peluang dalam penggunaan pewarna alami untuk aplikasi DSSC.

II. STUDI PUSTAKA

DSSC adalah sel surya generasi ketiga yang bekerja berdasarkan mekanisme fotosensitisasi semikonduktor [11][12]. Struktur utama DSSC terdiri dari beberapa lapisan yaitu Elektroda Transparan (Elektroda ini dibuat dari kaca yang dilapisi bahan konduktif transparan, seperti *Indium Tin Oxide* (ITO) atau *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO), yang berfungsi sebagai substrat untuk lapisan semikonduktor), Lapisan Semikonduktor (Lapisan ini biasanya terbuat dari titanium dioksida (TiO_2) nanopartikel yang memiliki luas permukaan tinggi. TiO_2 bertindak sebagai medium untuk mengalirkan elektron yang dihasilkan oleh pewarna), Pewarna (Dye) (Pewarna berfungsi untuk menyerap cahaya matahari. Ketika foton mengenai pewarna, elektron tereksitasi ke tingkat energi lebih tinggi dan ditransfer ke pita konduksi TiO_2) [13], Elektrolit (Elektrolit, sering kali berupa larutan iodida/triiodida (I^-/I_3^-), bertugas untuk mengembalikan elektron yang hilang dari pewarna sehingga memungkinkan siklus regenerasi), dan Elektroda Kontra (Elektroda ini sering kali dilapisi platinum atau karbon untuk memfasilitasi reduksi ion dalam elektrolit, melengkapi siklus elektronik). Proses kerja DSSC melibatkan beberapa tahapan utama ialah Penyerapan Cahaya (Pewarna menyerap foton dan tereksitasi menjadi keadaan energi lebih tinggi), Injeksi Elektron (Elektron yang tereksitasi ditransfer ke pita konduksi TiO_2), Transportasi Elektron (Elektron bergerak melalui TiO_2 ke elektroda transparan dan menghasilkan arus listrik), dan Regenerasi Pewarna (Elektron yang hilang dari pewarna dikembalikan melalui elektrolit).

1. Pewarna Alami dalam DSSC

Pewarna (dye) adalah komponen penting dalam DSSC karena berperan dalam penyerapan cahaya dan eksitasi elektron. Pewarna alami telah digunakan sebagai alternatif untuk pewarna sintetis karena keberlanjutan, ketersediaan, dan sifat ramah lingkungannya. Senyawa dalam pewarna alami, seperti antosianin dan betasianin, mampu menyerap cahaya tampak pada panjang gelombang tertentu. Karakteristik Pewarna Alami untuk DSSC adalah 1. Spektrum Serapan yaitu Kemampuan pewarna untuk menyerap panjang gelombang cahaya matahari sangat menentukan efisiensinya. Pewarna dengan spektrum serapan yang luas lebih efektif dalam menghasilkan arus listrik; 2. Efisiensi Transfer Elektron: Pewarna harus mampu mentransfer elektron secara efisien ke TiO_2 setelah tereksitasi.

2. Potensi Ekstrak Buah Naga Merah sebagai Pewarna DSSC

Buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) mengandung pigmen alami, terutama betasianin, yang memiliki sifat fotokimia yang cocok untuk digunakan sebagai pewarna dalam DSSC yaitu Betasianin merupakan pigmen larut air dengan spektrum serapan di sekitar panjang gelombang 530–550 nm, dan mampu menghasilkan eksitasi elektron yang memadai untuk DSSC, Stabilitas ialah Stabilitas betasianin terhadap cahaya dan panas menjadi tantangan, tetapi dapat ditingkatkan dengan menambahkan stabilisator, seperti pelarut asam atau antioksidan.

3. Efisiensi DSSC

Efisiensi DSSC (η) didefinisikan sebagai rasio antara daya keluaran maksimum (P_{max}) [14] [15] dan daya cahaya masuk (P_{in}) dengan menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

dimana;

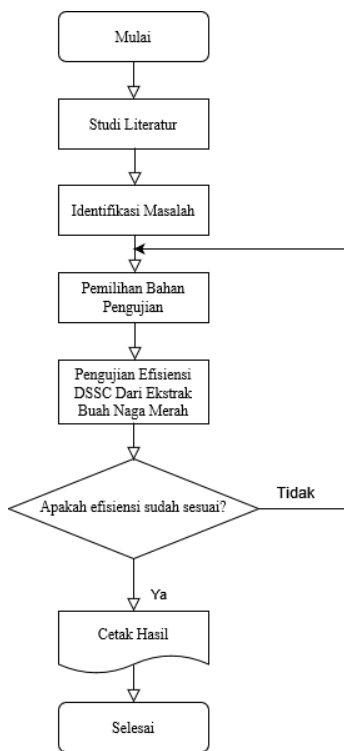
η merupakan efisiensi konversi energi (%)

P_{out} merupakan daya keluaran maksimum (Watt)

P_{in} merupakan daya masukkan (Watt)

III. METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk menganalisis efisiensi Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan menggunakan ekstrak buah naga merah sebagai pewarna. Langkah-langkah penelitian meliputi persiapan bahan, pembuatan DSSC, dan pengujian performa sel. Adapun jalannya penelitian ini dapat *flowchart* penelitian yang terdapat pada Gambar 1.

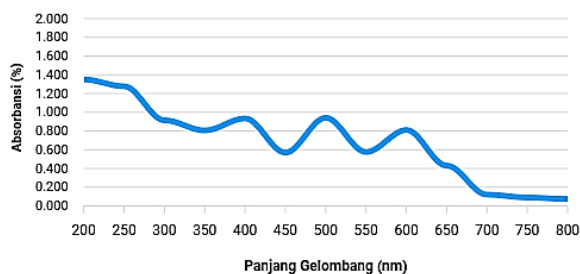


Gambar 1. Flowchart penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Untuk menghilangkan kotoran yang menempel pada sampel pewarna, air digunakan untuk mencucinya. Selama 24 jam, buah naga dimaserasi dalam campuran asam sulfat dan lemon dengan perbandingan volume 16:6 ml. Uji spektrofotometer sinar ultraviolet ke cahaya tampak (UV-Vis) dalam penelitian ini dilakukan pada panjang gelombang antara 200 sampai 800 nm. Seperti yang terlihat pada Gambar 2, hasil uji spektrofotometer UV-Vis dibaca oleh detektor dan ditunjukkan sebagai grafik yang menunjukkan hubungan antara panjang gelombang (nm) dan absorbansi (%).

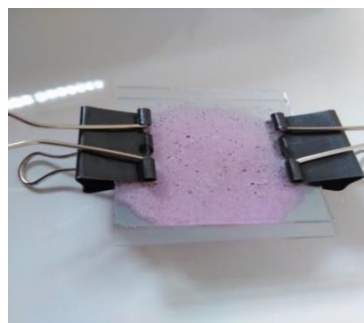


Gambar 2. Grafik absorbansi dye

B. Pembahasan

Pengujian DSSC dilakukan pada ruang terbuka menggunakan sumber cahaya matahari. Pengukuran

DSSC ini dilakukan mulai pukul 09.00 WIB hingga 14.00 WIB yang dimana intensitas cahaya matahari pada waktu tersebut sebesar 128.700 Lux yang diukur menggunakan Lux meter selama 7 hari. DSSC disusun sebagai sandwich dengan beberapa komponen, termasuk kaca konduktif FTO, bahan semikonduktor (TiO₂), pewarna yang bertindak sebagai donor elektron dan penyerap cahaya, elektrolit, dan elektroda pembanding dalam bentuk kaca FTO berlapis karbon, sebelum mengukur arus (I) dan tegangan (V) yang dapat dilihat pada gambar 3. Multimeter digital digunakan untuk menguji tegangan dan arus setelah sandwich terbentuk.



Gambar 3. Dye sensitized solar cell yang terbuat dari ekstrak buah naga merah

Hasil pengukuran dari dye sensitized solar cell tersebut dapat dilihat pada tabel 1. dan tabel 2. dibawah ini.

Tabel 1. Hasil pengukuran dye sensitized solar cell yang terbuat dari ekstrak buah naga merah dengan cairan elektrolit Asam Sulfat

V(mV)	I(mA)	Suhu (°C)	Jmaks(mA/cm ²)	P _{Out} (mW/cm ²)
367	18,15	33	0,0076	0,0027
301	20,21	30	0,0094	0,0029
218	23,91	29	0,0150	0,0024
191	25,31	28	0,0193	0,0028
180	27,44	27,5	0,0201	0,0029
161	29,97	27	0,0225	0,0023
146	30,65	25	0,0231	0,0024
130	33,19	24	0,0244	0,0026

Dari tabel 1 diatas maka akan dicari perhitungan efisiensi dye sensitized solar cell yang terbuat dari ekstrak buah naga merah yang memakai cairan elektrolit dari asam sulfat dengan menggunakan persamaan $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$ dengan nilai V_{oc} sebesar

675 mV serta I_{sc} sebesar 12,70 mA dengan luas penampang *solar cell* yaitu 5 cm². Maka hasil perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$P_{in} = 178.700 \text{ lux}$$

Dimana 1 lux = 0,00079 mW / cm² sehingga;

$$P_{in} = 178.700 \text{ lux} \times 0,00079 \text{ mW} / \text{cm}^2 = 141,173 \text{ mW}.$$

$$J_{sc} = \frac{I_{sc}}{A} = \frac{12,70}{5} = 2,54 \text{ mA} = 0,0254 \text{ A}$$

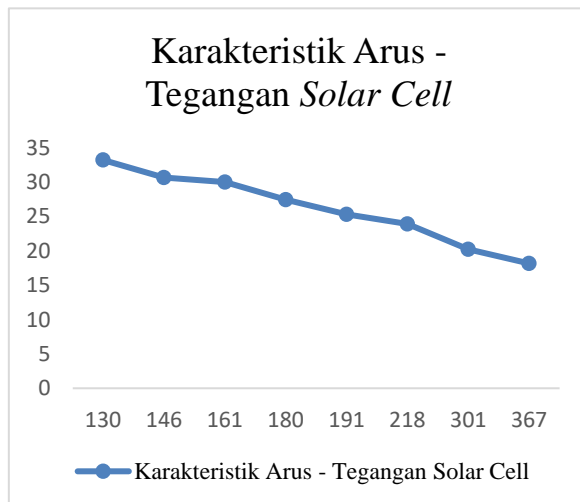
$$J_{max} = \frac{I_{max}}{A} = \frac{18,15}{5} = 3,63 \text{ mA} = 0,0363 \text{ A}$$

$$FF = \frac{J_{max} \times V_{max}}{J_{sc} \times V_{oc}} = \frac{0,0363 \times 0,367}{0,0254 \times 0,675} = \frac{0,0133221}{0,017145} = 0,7770254$$

$$P_{out} = J_{sc} \times V_{oc} \times FF = 0,0254 \times 0,675 \times 0,7770254 = 0,01332 \text{ mW}$$

Sehingga nilai efisiensi dari *dye sensitized solar cell* yang terbuat dari buah naga merah sebagai pewarna *dye* nya adalah $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{0,01332}{141,173} \times 100\% = 0,009435\%$.

Karakteristik tegangan dan arus pada *dye sensitized solar cell* yang terbuat dari buah naga merah sebagai pewarna *dye* dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Karakteristik Arus – Tegangan *Solar Cell*
Tabel 2. Hasil pengukuran *dye sensitized solar cell* yang terbuat dari ekstrak buah naga merah dengan cairan elektrolit Lemon

V(mV)	I(m A)	Suhu (°C)	Jmaks(mA/c m ²)	POut (mW/cm ²)
305	13, 21	33	0,0051	0,0015
277	14, 33	30	0,0068	0,0017
238	15, 77	29	0,0075	0,0020
188	17, 86	28	0,0088	0,0023
182	19, 01	27,5	0,0095	0,0026
166	19, 88	27	0,0104	0,0025
150	20, 67	25	0,0122	0,0023

V(mV)	I(m A)	Suhu (°C)	Jmaks(mA/c m ²)	POut (mW/cm ²)
124	21, 77	24	0,0128	0,0022

Dari tabel 2 diatas maka akan dicari perhitungan efisiensi *dye sensitized solar cell* yang terbuat dari ekstrak buah naga merah yang memakai cairan elektrolit dari lemon dengan menggunakan persamaan $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$ dengan nilai V_{oc} sebesar 461 mV serta I_{sc} sebesar 15,31 mA dengan luas penampang *solar cell* yaitu 5 cm². Maka hasil perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$P_{in} = 178.700 \text{ lux}$$

Dimana 1 lux = 0,00079 mW / cm² sehingga;

$$P_{in} = 178.700 \text{ lux} \times 0,00079 \text{ mW} / \text{cm}^2 = 141,173 \text{ mW}.$$

$$J_{sc} = \frac{I_{sc}}{A} = \frac{15,31}{5} = 3,06 \text{ mA} = 0,0306 \text{ A}$$

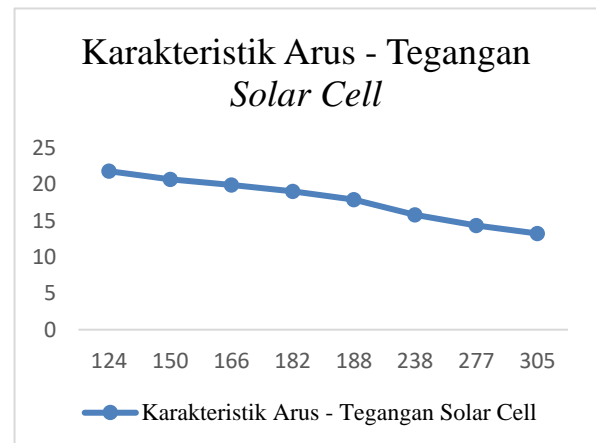
$$J_{max} = \frac{I_{max}}{A} = \frac{13,21}{5} = 2,64 \text{ mA} = 0,0264 \text{ A}$$

$$FF = \frac{J_{max} \times V_{max}}{J_{sc} \times V_{oc}} = \frac{0,0264 \times 0,305}{0,0306 \times 0,461} = \frac{0,008052}{0,014106} = 0,571$$

$$P_{out} = J_{sc} \times V_{oc} \times FF = 0,0306 \times 0,461 \times 0,571 = 0,008054 \text{ mW}$$

Sehingga nilai efisiensi dari *dye sensitized solar cell* yang terbuat dari buah naga merah sebagai pewarna *dye* nya adalah $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{0,008054}{141,173} \times 100\% = 0,00571\%$.

Karakteristik tegangan dan arus pada *dye sensitized solar cell* yang terbuat dari buah naga merah sebagai pewarna *dye* dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Karakteristik Arus – Tegangan *Solar Cell*

V. KESIMPULAN

Penelitian ini memberikan kesimpulan bahwa DSSC berbasis pewarna alami dari ekstrak buah naga merah menunjukkan efisiensi konversi energi yang relatif rendah yaitu 0,009435% dan 0,00571%. Meskipun demikian, hasil ini menunjukkan potensi pewarna alami sebagai alternatif yang ramah lingkungan, meski performanya masih jauh di bawah pewarna sintetis. Dan hasil karakterisasi UV-Vis menunjukkan bahwa ekstrak buah naga merah, yang kaya akan antosianin, memiliki kemampuan penyerapan cahaya pada

panjang gelombang 650 nm, yang merupakan spektrum cahaya tampak (merah ke biru). Namun, pewarna ini memiliki keterbatasan dalam menyerap cahaya di spektrum UV dan inframerah, sehingga membatasi jumlah foton yang dapat dieksitasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. T. Nugraha, F. Azmi, S. Novalinda, And S. I. Rezkika, "Perancangan Prototipe Dye Sensitized Solar Cell Dalam Pemanfaatan Energi Radiasi Matahari Sebagai Renewable Energy," *J. Electr. Syst. Control Eng.*, Vol. 4, No. 2, Pp. 95–104, 2021, Doi: 10.31289/Jesce.V4i2.4529.
- [2] Z. Luthfiyyah, N. Hindryawati, And I. A. Hiyahara, "Mini Review : Pembuatan Dye Sensitized Solar Cell (Dssc) Menggunakan Semikonduktor Tio 2 Dengan Zat Warna Antosianin Sythesis Dye Sensitized Solar Cell (Dssc) Using Tio 2 As Semiconductor With Anthocyanine Dye : A Mini Review," *Pros. Semin. Nas. Kim. 2022*, Pp. 221–226, 2022.
- [3] A. Eliyana, D. Lismawenning Puspitarum, And D. Laksono, "Studi Awal Pengaruh Ekstrak Buah Naga Merah Sebagai Bahan Dye Pada Sel Surya Effect Of Red Dragon Fruit Extract As Dye In Solar Cells," *J. Ilmu Dasar*, Vol. 21, No. 1, Pp. 49–54, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/jid>
- [4] Masbin Dahlan And Jufri, "Karakteristik Dye-Sensitized Solar Cell (Dssc) Dari Ekstrak Sari Buah Naga (*Hylocereus Polyrhizus*) Sebagai Pewarna Organik," *J. Energy, Mater. Manuf. Technol.*, Vol. 1, No. 01, Pp. 1–6, 2022, Doi: 10.61844/Jemtec.V1i01.147.
- [5] Ananda Muhamad Tri Utama, "Pembuatan Gelas Transparan Konduktif Fto (Fluorine-Doped Tin Oxide) Untuk Kit Sel Surya Berbasis Sensitasi Senyawa Organik / Dye Sensitized Solar Cell (Dssc) Teknik Deposisi Semprot Dengan Menggunakan Pembakar Bunsen Dan Alat Sederhana," *Syntax Lit. J. Ilm. Indones.*, Vol. 9, No. 5, Pp. 356–363, 2022.
- [6] I. E. Rahayu, Kusyanto, S. Hermawan, And A. D. Kandini, "Metode Ultrasonikasi Pada Pembuatan Dssc (Dye-Sensitized Solar Cell) Dengan Dye Antosianin Dari Kulit Ekstrak Manggis," *Pros. 4th Semin. Nas. Penelit. Pengabd. Kpd. Masy.*, Pp. 49–53, 2020.
- [7] D. N. Manurung, Nurhidayah, And F. Deswardani, "Pengaruh Penggunaan Dye Tunggal Dan Dye Campuran Antosianin-Klorofil Terhadap Efisiensi Kerja Dye Sensitized Solar Cell (Dssc)," *J. Pendidik. Fis. Tadulako Online*, Vol. 9, No. 1, Pp. 84–88, 2021.
- [8] Y. Nadhirah, R. Kusumanto, And A. Hasan, "Increasing Efficiency Of Dye-Sensitized Solar Cell (Dssc) Originating From Yellow Sweet Potato Extract As Dye Sensitizer: Effect Of Acetic Acid, Polyethylene Glycol, And Polyvinyl Alcohol As Tio2 Binders," *J. Kim. Sains Dan Apl.*, Vol. 23, No. 11, Pp. 403–408, 2020, Doi: 10.14710/Jksa.23.11.403-408.
- [9] S. M. Siagian, "Analisis Semikonduktor Zn:Cu Terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell Menggunakan Ekstrak Alami," *J. Elektro Dan Mesin Terap.*, Vol. 7, No. 2, Pp. 51–57, 2021, Doi: 10.35143/Elementer.V7i2.5145.
- [10] R. Andari, "Sintesis Dan Karakterisasi Dye Sensitized Solar Cells (Dssc) Dengan Sensitizer Antosianin Dari Bunga Rosella," *J. Fis. Dan Apl.*, Vol. 13, No. 2, P. 88, 2017, Doi: 10.12962/J24604682.V13i2.2751.
- [11] Y. T. Nugraha And M. Irwanto, "Modelling Demand For Energy Sources As Alternative Energy In The Province Of North Sumatra," *J. Renew. Energy, Electr. Comput. Eng.*, Vol. 2, No. 2, P. 84, 2022, Doi: 10.29103/Jreece.V2i2.9278.
- [12] M. Irwanto, H. S. Ibrahim, Y. T. Nugraha, And I. Nisja, "Performance Analysis Of Photovoltaic Powered Half Bridge Inverter Using Sinusoidal Pulse Width Modulation (Spwm) Method," *Aip Conf. Proc.*, Vol. 2991, No. 1, P. 20018, Jun. 2024, Doi: 10.1063/5.0198660.
- [13] I. Roza, Y. T. Nugraha, R. Rida, M. Irwanto, And M. A. Othman, "Modeling Of Glugur Substation Grounding Systems Using Matlab Graphical User Interface," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, Vol. 15, No. 1, Pp. 15–23, 2025, Doi: 10.11591/Ijece.V15i1.Pp15-23.
- [14] M. Irwanto, Y. T. Nugraha, N. Hussin, And I. Nisja, "Effect Of Temperature And Solar Irradiance On The Performance Of 50 Hz Photovoltaic Wireless Power Transfer System," *J. Teknol.*, Vol. 85, No. 2, Pp. 53–67, 2023, Doi: 10.11113/Jurnalteknologi.V85.18872.
- [15] M. Irwanto, M. B. Ali, Y. T. Nugraha, B. Ismail, I. Nisja, And W. Z. Leow, "Analysis On The Effect Of Dc Current Changes On The Magnetic Field Of Wireless Power Transfer," In *2023 Ieee 14th Control And System Graduate Research Colloquium (Icsgrc)*,

2023, Pp. 186–191. Doi:
10.1109/Icsgrc57744.2023.10215406.