

Bio-Sun Tracker : Sistem Sel Surya Tersensitisasi Dye Dengan Metode DTS Untuk Mewujudkan Sustainable Energy

Aulia Millatin Nafisah, Adam Mufid Annajib, Nida Izzatus Safa'ah
Naftalina Ulik Adhelia S.Pd
MA Abadiyah
aulamillatin@gmail.com

ABSTRAK

Sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk masa mendatang salah satunya yaitu energi sel surya. Dengan adanya teknologi *photovoltaic*, cahaya matahari bisa langsung dikonversi menjadi energi listrik. Namun permasalahannya yakni bagaimana menggunakan panel sel surya untuk mendapatkan keluaran listrik yang optimal. Salah satu cara yang dapat dilakukan yaitu dengan menggunakan sistem kontrol yang mampu mengarahkan panel sel surya selalu tegak lurus dengan arah sinar matahari. *Bio-Sun Tracker* menggunakan *dye* kombinasi jenis daun bayam merah dan hijau karena keduanya memiliki sifat klorofil dan antosianin yang stabil dan efektif dalam hal penyerapan. Perancangan sel surya tersensitisasi *dye* menggunakan struktur berlapis, yaitu menggabungkan dua kaca TCO dengan lapisan yang berbeda. Kaca pertama yaitu terdiri dari lapisan pasta TiO₂ yang telah direndam dengan kombinasi 20% larutan transmetalasi klorofil + 80% antosianin daun bayam dan diberi larutan elektrolit, sedangkan kaca kedua berisi lapisan karbon sebagai elektroda lawan. Pada rancangan *Bio-Sun Tracker* dilengkapi dengan teknologi *Internet of things*, sehingga mampu secara maksimal membantu dalam menyerap sel surya. Bantuan mikrokontroler pada metode *Dual Tracking System* (DTS) dalam mengolah informasi yang diterima dari sensor LDR dapat memberi perintah untuk menggerakkan posisi permukaan *Bio-Sun Tracker* menjadi dua arah yaitu mengikuti orientasi gerak semu harian matahari dari arah timur ke barat. Analisis daya keluaran *Bio-Sun Tracker* yang dihasilkan sebesar 12,46 Watt. Kemudian di tampilkan pula hasil literatur terkait pengujian sensor, pengukuran tegangan, arus hubung, serta biaya pengeluaran yang dibutuhkan untuk perancangan sistem. *Bio-Sun Tracker* mampu menjadi salah satu solusi inovatif untuk mewujudkan salah satu pilar SDG's 2030 yaitu *affordable and clean energy* bagi Indonesia.

Kata Kunci : Bayam, Bio-Sun Tracker , Dye, Energi, Klorofil.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan dasar manusia yang terus meningkat sejalan dengan tingkat kehidupan. Sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk masa mendatang salah satunya yaitu energi sel surya. Indonesia mempunyai potensi energi baru terbarukan yang cukup besar. Energi surya yang memasuki atmosfer memiliki kerapatan daya rata-rata sebesar $1,2 \text{ kW/m}^2$, namun hanya sebesar 560 W/m^2 yang diserap bumi (Satriani, 2017). Jumlah energi surya di Indonesia sebesar 207,8 GWp mampu dijadikan sebagai sumber energi baru terbarukan (EBT) (Kementrian ESDM, 2018). Menurut Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (2020) Pada tahun 2025 mendatang pemerintah Indonesia merencanakan EBT berkontribusi sekitar 4% dimana 0,02% berasal dari energi surya atau *photovoltaic*.

Sekarang ini sudah banyak pemanfaatan *photovoltaic* dalam kehidupan sehari-hari. Energi listrik yang dihasilkan tergantung pada beberapa faktor yaitu bahan pembuat, intensitas cahaya matahari, suhu, dan posisi sel surya terhadap arah datangnya cahaya matahari. Matahari terbit dari timur dan tenggelam di barat, membuat modul *solar cell* tidak mampu mendapatkan intensitas cahaya yang maksimal. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk memperbesar penyerapan energi surya adalah dengan memposisikan bidang modul *solar cell* selalu tegak lurus sehingga intensitas cahaya yang diterima lebih banyak. Perlu dibuat suatu teknologi *dual tracking system* (DTS) cahaya matahari berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu bergerak secara otomatis memposisikan bidang penampang mendekati tegak lurus arah datangnya sinar matahari, sehingga sinar yang diserap lebih maksimal.

Terdapat teknologi pembuatan sel surya yang berhasil dikembangkan oleh para ahli salah satunya sel surya tersensitisasi *dye*. Sel surya tersensitisasi *dye* menjadi sel surya generasi mendatang yang mampu mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik (Manfredi *et al.*, 2019). Keunggulan sel surya tersensitisasi *dye* dibandingkan panel surya konvensional adalah fabrikasinya lebih sederhana dan dapat dilakukan di luar *clean room* (Younas *et al.*, 2020). Pengembangan sel

surya tersensitisasi *dye* menggunakan pigmen bersifat peka dan menjadi elektron injektor yang baik terhadap cahaya sebagai pilihan yang cukup menjanjikan (Bahtiar *et al.*, 2015). Pigmen yang dapat digunakan sebagai material *sensitizer* diantaranya mengandung antosianin, klorofil, dan karotenoid (Satriani, 2017).

Tanaman bayam menjadi salah satu jenis sayuran komersial yang mudah diperoleh dengan harga terjangkau. Kandungan klorofil yang diekstrak dari daun bayam hijau dan antosianin dari daun bayam merah dapat berpotensi sebagai material pemanen foton pada Sel Surya Tersensitisasi *Dye* (Ammar *et al.*, 2019). Menurut Younas dkk (2020) antosianin daun bayam memiliki efisiensi konversi energi fotoelektrokimianya mencapai $2 \times 10^{-3}\%$ yang terbukti mampu mempercepat proses eksitasi elektron sehingga efisiensi Sel Surya Tersensitisasi *Dye* yang dihasilkan semakin besar. Namun sifat klorofil cenderung tidak stabil sehingga molekul zat hijau pada daun sulit dijaga keseluruhannya (Manurung, P. 2011). Oleh karena itu, perlu adanya larutan ion logam yang dapat menyetabilkan pigmen warna klorofil. Berdasarkan permasalahan dan peluang yang ada maka perlu adanya inovasi yang mengintegrasikan teknologi panel surya tersensitisasi *dye* dengan metode DTS untuk mewujudkan *sustainable energy*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut :

- 1.2.1 Bagaimana spesifikasi panel surya tersensitisasi *dye* ekstrak daun bayam pada *Bio-Sun Tracker* ?
- 1.2.2 Bagaimana konsep *Bio-Sun Tracker* dengan metode *Dual Tracking System* (DTS)?
- 1.2.3 Bagaimana performa *Bio-Sun Tracker* dengan metode DTS dalam mewujudkan *Sustainable Energy* ?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1.3.1 Mengetahui cara pembuatan panel surya tersensitisasi *dye* klorofil daun bayam hijau dan antosianin daun bayam merah pada *Bio-Sun Tracker*.
- 1.3.2 Mengetahui konsep *Bio-Sun Tracker* dengan metode DTS.
- 1.3.3 Mengetahui performa *Bio-Sun Tracker* dengan metode DTS dalam mewujudkan *Sustainable Energy*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk :

- 1.4.1* Memberikan inovasi untuk menciptakan energi terbarukan yang berbasis IoT.
- 1.4.2* Mampu membuat panel surya ramah lingkungan dari ekstrak daun bayam.
- 1.4.3* Membantu Indonesia mewujudkan negara yang berdaulat energi .

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Surya

Energi merupakan kebutuhan pokok yang paling vital di kalangan manusia. Sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk masa mendatang diantaranya panas bumi, energi air, energi angin, bioenergi (bioetanol, biodiesel, biomassa), energi arus laut, energi nuklir, dan energi surya. Energi surya menjadi sumber energi terbarukan paling mendasar yang menyediakan energi bagi makhluk hidup melalui proses fotosintesis (Yandri, 2012). Menurut Li (2006) energi surya yang sampai ke permukaan bumi bisa mencapai 3×10^{24} Joule/tahun. Menurut Kementerian ESDM (2021) menyebutkan bahwa total potensi energi surya di Indonesia mencapai 3.294,36 gigawatt peak (GWp) yang tersebar merata di seluruh pulau. Potensi energi surya di beberapa Pulau Indonesia ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Potensi Energi Surya di beberapa Pulau Indonesia
(Sumber : <http://www.litbang.esdm.go.id>)

No	Pulau	Potensi (MW)	Kapasitas Terpasang (MW)	Pemanfaatan
1	Kalimantan	52.725	247	4,25%
2	Sumatera	60.986	857	14,75%
3	Sulawesi	20.587	861,42	14,82%
4	Jawa	31.869	3825	65,83%
5	Papua	8.342	20	0,34%

Berdasarkan data tersebut potensi energi surya di beberapa pulau Indonesia terutama Jawa sebesar 31.869 MW dengan kapasitas 3.825 MW mampu menjadi *Sustainable Energy* saat ini.

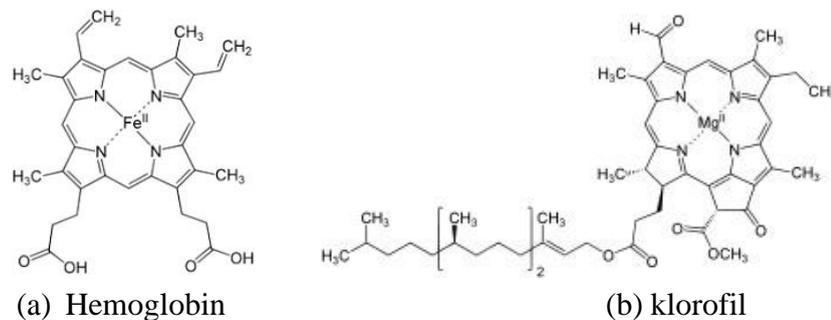
2.2 Sel Surya Tersensitisasi Dye

Sel surya tersensitisasi *dye* atau disebut juga *Dye sensitized solar cell* (DSSC) merupakan sel surya yang tersensitisasi oleh zat warna. *Dye Sensitized*

Solar Cell (DSSC) menjadi inovasi sel surya yang menggunakan bahan material semikonduktor tak murni seperti TiO₂, ZnO, CdS, dan lain-lain sebagai donor elektron. Berbagai penelitian terkait DSSC terus dilakukan, diantaranya menggunakan variasi ketebalan photoelektroda TiO₂, mengoptimasi komponen dasar penyusunnya, dan menemukan jenis bahan *dye* terbaik. Penggunaan *dye* sebagai zat pemanen cahaya memiliki harga produksi yang jauh lebih murah dibandingkan sel surya silikon (Bahtiar *et al.*, 2015). *Dye* memiliki kelebihan diantaranya fabrikasinya sederhana, harga terjangkau, dan mampu mentransfer muatan pada cahaya tampak (Madnasri *et al.*, 2019).

2.3 Tumbuhan Bayam (*Amaranthus sp.*)

Bayam (*Amaranthus sp.*) merupakan sayuran hijau yang mudah diperoleh dan dikenal sebagai sumber zat besi tinggi. Tumbuhan bayam hijau mengandung klorofil yang memiliki pigmen utama berwarna hijau dengan struktur seperti hemoglobin, dimana atom pusat Fe²⁺ pada hemoglobin diganti dengan Mg²⁺ pada klorofil. Struktur hemoglobin dan klorofil ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur kimia dari (a) hemoglobin dan (b) klorofil

Sifat klorofil terkenal sebagai zat yang sangat peka terhadap cahaya, panas, oksigen dan degradasi kimia (Dhafina *et al.*, 2020). Menurut Tanaka (2019) sifat klorofil cenderung tidak stabil, hal inilah yang menyebabkan molekul zat hijau pada daun sulit dijaga keutuhannya.

Antosianin merupakan pewarna yang paling penting dalam tumbuhan, terutama pada jenis tanaman bayam merah mengandung kadar antosianin tinggi sebanyak 1053,801 ppm (Kitayama, 2019). Kandungan klorofil yang diekstrak dari daun bayam hijau dan antosianin dari daun bayam merah dapat berpotensi sebagai material *sensitizer* pada *Bio-Sun Tracker*.

2.4 Arduino UNO

Arduino UNO adalah papan elektronik mikrokontroler ATmega328 yang digunakan sebagai pusat pengendali dan pengontrol keseluruhan sistem pada *Bio-Sun Tracker* agar saling keterkaitan satu dengan yang lainnya. Selain itu, arduino UNO juga mampu membaca input dari sensor LDR berupa nilai analog Arduino UNO memiliki 14 pin input dari output digital dimana 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Cara pemrograman cukup mudah yaitu menghubungkan Arduino ke komputer dengan kabel USB ke adaptor DC.

2.5 Dual Tracking System (DTS)

Salah satu faktor yang dapat meningkatkan efisiensi panel surya adalah tersedianya mekanisme *Solar Tracker* dalam sistem tersebut. *Solar Tracker* adalah perangkat yang mengarahkan panel surya ke arah matahari. Ada dua jenis desain *Solar Tracker* yaitu *Single Axis* dan *Dual Axis Tracking System* (Ripalda *et al.*, 2020). *Dual Tracking System* memiliki dua *motor servo* yang diletakkan pada sumbu berbeda, yaitu horizontal dan vertikal. Tujuan penempatan 2 sumbu ini agar *motor servo* dapat menggerakkan solar panel mengikuti orientasi matahari. Dimana sumbu horizontal memosisikan solar panel pada orientasi matahari dari timur ke barat dan sumbu vertikal untuk mengarah matahari terbit hingga terbenam (Azcelik *et al.*, 2011). Teknik *Dual Tracking System* yang digunakan berupa sensor pelacakan cahaya matahari. Algoritma pelacak sinar terlepas dari kondisi cuaca, meski mendung posisi panel tetap konsisten dengan pencahayaan maksimal saat cuaca cerah kembali nantinya (Parvaneh & Khorasani, 2020).

2.6 Sensor Light Dependent Resistor (LDR)

Sensor *Light Dependent Resistor* terbuat dari bahan semikonduktor berjenis cadmium sulfida yang resistansinya dapat berubah sesuai dengan banyaknya cahaya. Cara kerja sensor ini mengubah energi foton menjadi elektron. Sensor dapat melakukan pengambilan data antara intensitas cahaya (I) dan output tegangan (V) yang diperoleh dari arduino UNO. Menurut Zuhendri dkk (2013) hasil pengujian sensor LDR dalam kondisi terang (<1,96 Vdc) dalam kondisi gelap (>1,96 Vdc).

Sensor LDR yang terpasang pada *Bio-Sun Tracker* dapat mendeteksi hari

sudah gelap atau saat hujan turun, sehingga penyerapan cahaya terhenti dan sistem mampu menyimpan energi. Resistansi LDR pada tempat yang gelap biasanya mencapai sekitar 10 M Ω , dan ditempat terang LDR mempunyai resistansi sekitar 150 Ω . (Rawal *et al.*, 2017).

2.7 Internet of Things (IoT)

IoT menggunakan beberapa teknologi yang secara garis besar digabungkan menjadi satu diantaranya sensor sebagai pembaca data, wireless sensor network dan teknologi lainnya sesuai dengan kebutuhan. Cara kerja IoT, dengan memanfaatkan perintah pemrograman yang dapat menghasilkan interaksi antara mesin yang terhubung otomatis. Manusia dalam IoT hanya bertugas mengawasi dalam sistem tanpa dibatasi oleh jarak. Penerapan IoT dalam beberapa sektor diantaranya pertanian seperti petani bisa memantau suhu dan kelembapan tanah tanpa ke lokasi. Sedangkan ada sektor energi mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik (Rao A., 2018)

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

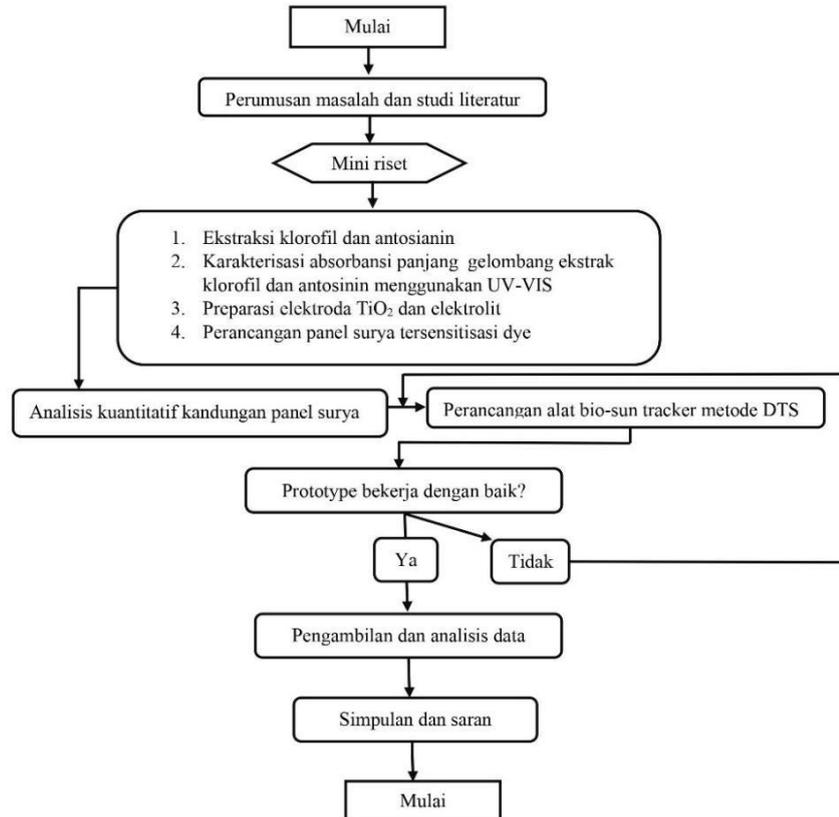
Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi daun bayam hijau, daun bayam merah, serbuk TiO_2 , serbuk ZnCl_2 , *Polyethylene glycol* (PEG), kalium Iodida, Iodine, larutan aseton, larutan etanol 96%, akuades. Alat yang digunakan untuk preparasi meliputi kaca berlapis *Transparent Conductive Oxide* (TCO), neraca digital, *beaker glass* 250 ml, gelas ukur 100 ml, pipet tetes, termometer, corong, hot plate, pengaduk, mortar alu, cawan petri, kertas saring Wattman, pencil grafit, penjepit kaca, alumunium foil, isolatipe, papan rangkaian, dan resistor. Alat yang digunakan untuk karakteristik diantaranya UV-VIS spektrofotometer, *Fourier Transform Infra-red* (FT-IR), dan alat uji arus-tegangan.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Pembuatan preparasi lapisan tipis TiO_2 dengan *dye* ekstrak transmetalasi klorofil daun bayam hijau dan antosianin daun bayam merah dilakukan di Laboratorium IPA MA Abadiyah. Pengujian karakteristik absorbansi panjang gelombang UV-VIS, FT-IR, arus dan tegangan sel surya dilakukan di laboratorium kimia anorganik Universitas Negeri Semarang.

3.3 Kerangka Penelitian

Metode penulisan karya tulis ini yaitu mini riset. Kerangka berpikir dari *Bio-Sun Tracker* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kerangka Berpikir *Bio-Sun Tracker*

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Ekstraksi dan Isolasi Klorofil dan Antosianin

Ekstrak klorofil dan antosianin berasal dari daun bayam. Masing-masing ekstraksi dilakukan dengan metode maserasi selama 24 jam. Daun bayam dipotong kecil-kecil dan dihaluskan dengan menggunakan mortar alu. Daun yang telah dihaluskan ditimbang sebanyak 10 gram, kemudian direndam pada larutan (Campuran 12,5 ml akuades; 12 ml aseton; dan 2 ml asam asetat), ditutup dengan aluminium foil dan disimpan ditempat gelap. Setelah dibiarkan selama 24 jam, hasil masing masing ekstraksi tersebut disaring menggunakan kertas saring Wattman. Langkah pembuatan panel surya tersensitisasi *dye* dapat dilihat pada Lampiran 1.

3.4.2 Karakterisasi Absorbansi Klorofil dan Antosianin

Hasil ekstrak klorofil dan antosianin dilakukan pengujian absorbansi

panjang gelombang dengan alat spektrofotometer UV-VIS. Ekstrak klorofil kemudian distabilkan dengan menambahkan larutan $ZnCl_2$ yang bertujuan agar pigmen klorofil tahan terhadap degradasi.

3.4.3 Pembuatan Elektroda *Titanium Dioxide* (TiO_2)

Dalam pembuatan elektroda *titanium dioxide* (TiO_2), dimulai dengan preparasi pasta TiO_2 . Sebanyak 3 gram TiO_2 dilarutkan dalam 15 ml etanol dan diaduk. Tahap kedua membersihkan kaca berlapis *Transparent Conductive Oxide* (TCO) dengan larutan aseton. Selanjutnya pada sisi kaca TCO ditutup dengan menggunakan isolatipe. Pasta TiO_2 yang sudah tercampur homogen, dioleskan pada kaca berlapis TCO dan dipanaskan dengan oven pada suhu 110^0 C selama 25 menit. Lapisan TiO_2 yang telah mengering selanjutnya direndam dalam *dye* selama 24 jam. Perendaman lapisan TiO_2 dilakukan pada *dye* dengan konsentrasi perbandingan yang bervariasi sebanyak 25 ml.

3.4.4 Pembuatan Elektrolit

Larutan elektrolit dibuat dengan cara melarutkan 0,85 gram KI dengan 10 ml larutan asetonitril, kemudian diaduk merata dan ditambahkan 0,12 gram I_2 ke dalam larutan tersebut.

3.4.5 Counter Electrode

Counter electrode disiapkan dari gelas berlapis TCO dengan grafit. Pelapisan grafit dilakukan dengan cara mengarsir kaca TCO dengan pensil 6B.

3.4.6 Pembuatan Panel Surya Tersensitisasi *Dye*

Elektroda TiO_2 yang telah direndam dalam *dye*, kemudian diangkat dan dikeringkan. Elektroda TiO_2 dan elektroda karbon ditumpuk dengan memberi jarak $\pm 0,5$ cm, dan dijepit menggunakan penjepit kertas. Larutan elektrolit yang telah disiapkan ditetaskan pada kedua ujung elektroda yang diberi jarak.

3.4.7 Analisis Kuantitatif Kandungan Panel Surya Tersensitisasi *Dye*

Pengolahan data kandungan panel surya tersensitisasi *dye* dilakukan secara kuantitatif dengan karakterisasi menggunakan uji spektrofotometer UV-VIS dan FT-IR. Spektrofotometer UV-VIS dilakukan pengujian terhadap serapan absorbansi panjang gelombang terhadap *dye* pada masing-masing konsentrasi. Pengujian UV-VIS diperoleh absorbansi pada rentang panjang gelombang 300 nm sampai 800 nm. Sedangkan FT-IR dilakukan pengujian pada rentang bilangan

gelombang 500 cm^{-1} sampai 4500 cm^{-1} . Analisis dilakukan dengan melihat puncak spesifik yang menunjukkan gugus fungsi dalam ekstrak.

3.4.8 Perancangan Alat *Bio-Sun Tracker*

Merancang konstruksi secara sistematis berupa sistem monitoring *Bio-Sun Tracker*. Perancangan ini menentukan tingkat keberhasilan sistem alat.

3.4.9 Implementasi dan Pengolahan Data

Setelah *hardware* dan *software* terbentuk maka dilakukan pengujian alat. Dalam implementasi alat ini juga dilakukan proses pengecekan yang bertujuan agar pembacaan sensor akurat. Setelah melakukan pengujian dan memastikan alat bekerja dengan baik, maka dilakukan pengambilan data. Pengambilan data dimulai *Bio-Sun Tracker* dengan melihat kondisi pengisian daya dari pagi pukul 08.00 hingga pukul 16.00. Alat mula-mula akan melakukan pemindaian sensor sehingga akan diperoleh data intensitas cahaya pada titik maksimum. Indikator yang terbaca berupa arus, tegangan, dan intensitas cahaya.

3.4.10 Penyusunan karya tulis

Pada tahap akhir ini, hasil pengambilan data dan analisa dimasukkan ke pembahasan. Kemudian ditarik kesimpulan yang menyangkut kinerja dari alat yang dibuat.

BAB IV. PEMBAHASAN

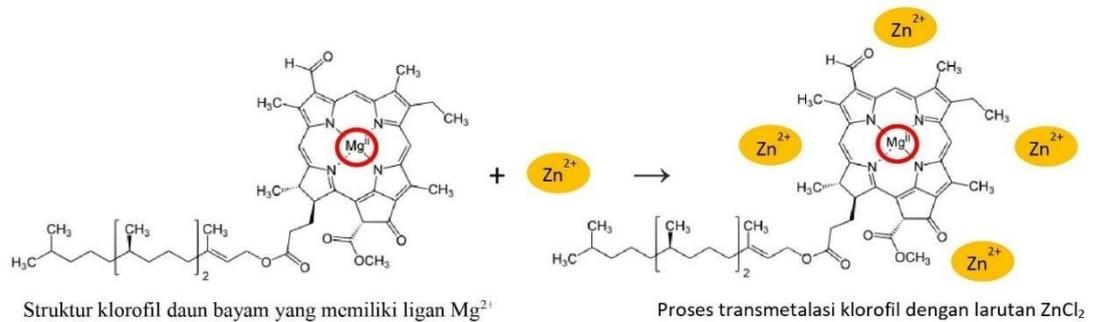
4.1 Panel Surya Tersensitisasi *Dye*

Panel surya tersensitisasi *dye* adalah sebuah perangkat sel surya yang menggunakan *dye* hasil transmetalasi klorofil dan antosianin daun bayam. Transmetalasi merupakan proses reaksi kimia organologam yang digunakan untuk melengkapi ion dalam struktur molekul agar membentuk ikatan kompleks. Menurut Rachmawati dan Ramdanawati (2020) kandungan klorofil dalam *dye* daun bayam memiliki stabilitas yang rendah. Oleh karena itu, dibutuhkan penambahan zat yang mampu melengkapi struktur klorofil salah satunya larutan $ZnCl_2$ agar dapat menyetabilkan *dye* dan mampu menyerap energi foton lebih banyak. Dalam pembuatan preparasi transmetalasi klorofil diperoleh hasil rata-rata pH uji kandungan klorofil daun bayam sebelum dan setelah penambahan larutan $ZnCl_2$ selama 7 hari yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai rata-rata pH dari klorofil daun bayam hijau
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Lama Penyimpanan	Kandungan Klorofil	
	Tanpa penambahan ZnCl ₂	Penambahan ZnCl ₂ sebanyak 0,25 M
Hari ke-0	7,45 ± 0,02	5,25 ± 0,04
Hari ke-1	7,24 ± 0,05	5,15 ± 0,04
Hari ke-2	7,16 ± 0,05	5,02 ± 0,02
Hari ke-3	6,97 ± 0,02	4,85 ± 0,03
Hari ke-4	6,85 ± 0,02	4,78 ± 0,03
Hari ke-5	6,75 ± 0,05	4,76 ± 0,03
Hari ke-6	-	4,47 ± 0,01
Hari ke-7	-	4,26 ± 0,01

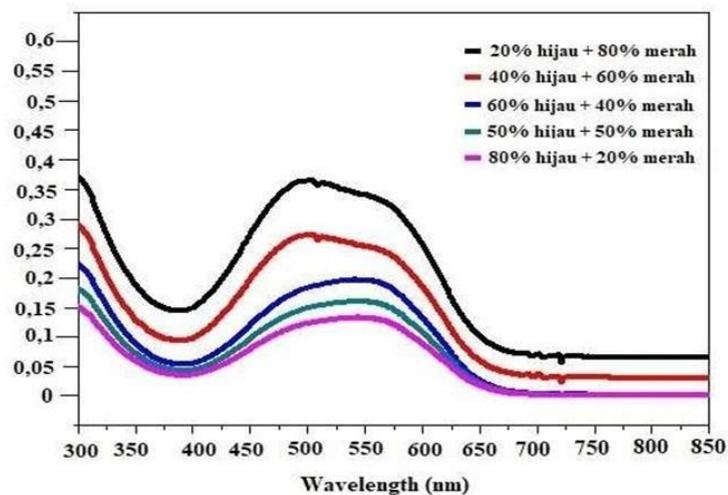
Penambahan konsentrasi ZnCl₂ sebesar 0,25 M menjadi konsentrasi optimum dalam menjaga stabilitas klorofil. Pencampuran *dye* ekstrak daun bayam dengan larutan ZnCl₂ menyebabkan terjadinya proses transmetalasi klorofil seperti Gambar 3.



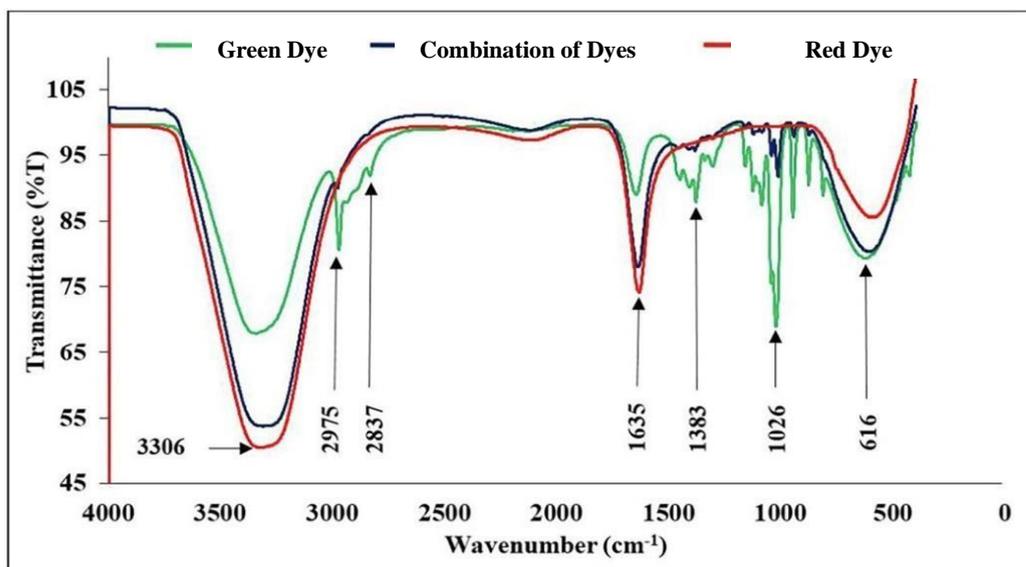
Gambar 3. Reaksi transmetalasi klorofil dengan larutan ZnCl₂

Kemampuan logam Zn dalam melengkapi tempat kation divalen seperti Mg²⁺ terbukti mampu meningkatkan stabilitas klorofil. Kemudian dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4 tentang pengujian absorbansi sampel.

Gambar 4. Pengujian absorbansi kombinasi *dye* daun bayam hijau dan merah



bahwa campuran antara *dye* transmetalasi klorofil dan antosianin dengan komposisi 20% daun bayam hijau 80% daun bayam merah menjadi kombinasi terbaik. Hasil pengujian UV-VIS menunjukkan puncak serapan absorbansi panjang gelombang 478 nm, 532 nm dan 667 nm mampu menyerap cahaya tampak lebih efektif. Adanya kombinasi *dye* memungkinkan penyerapan energi matahari dari spektrum lebih luas sehingga absorbansi yang dihasilkan lebih tinggi daripada pewarna tunggal. Hasil pengujian berikutnya yaitu FT-IR (*Fourier Transform Infra-red*) yang dapat dilihat pada Gambar 4.

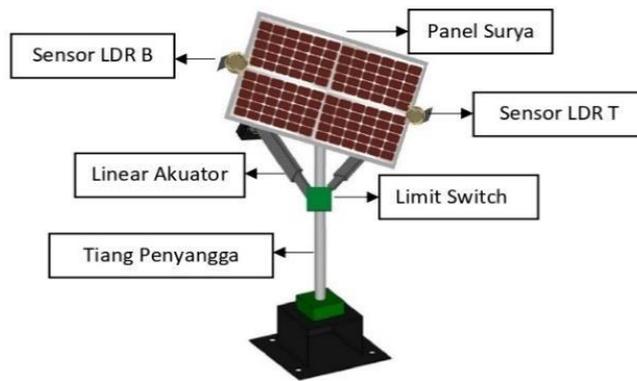


Gambar 4. Spektrum adsorpsi FT-IR bayam hijau, bayam merah, dan kombinasi keduanya(20% Hijau + 80% Merah)
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Hasil pengujian FT-IR bahwa terdapat gugus amina (N-H), alkohol (O-H), dan alkana (C-H) yang memiliki daerah frekuensi berturut-turut meliputi 3306 cm^{-1} , 1383 cm^{-1} , dan 1635 cm^{-1} . Spektrum tersebut mampu bereaksi dengan permukaan oksida semikonduktor sehingga membentuk ikatan kimia.

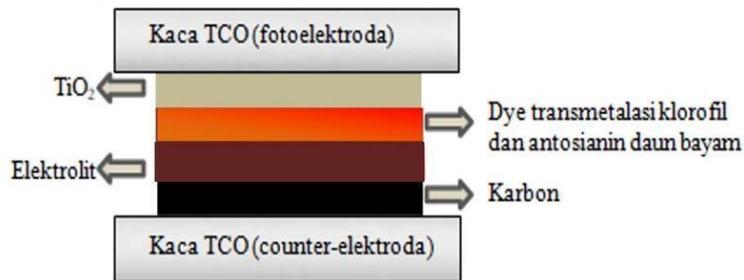
4.2 Konsep *Bio-Sun Tracker*

Bio-Sun Tracker terdiri atas power supply, sensor LDR T dan B , arduino UNO, linear aktuator, driver motor, dan posisi penampang. Pembuatan *Bio-Sun Tracker* menggunakan prinsip *low-cost sensor* sehingga dapat dibuat dan di implementasikan oleh masyarakat umum. Desain prototipe *Bio-Sun Tracker* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Desain Prototipe *Bio-Sun Tracker*

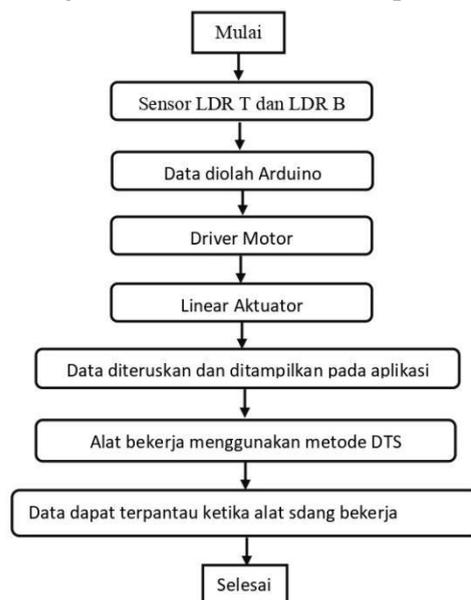
Schematic Rangkaian Prototipe *Bio-Sun Tracker* dapat dilihat pada Lampiran 2. *Bio-Sun Tracker* menggunakan media panel surya *Bio-Sun Tracker* yang *dye* nya berasal dari campuran transmetalasi klorofil dan antosianin ekstrak daun bayam. Ilustrasi struktur berlapis *Bio-Sun Tracker* ditunjukkan dalam Gambar 6.



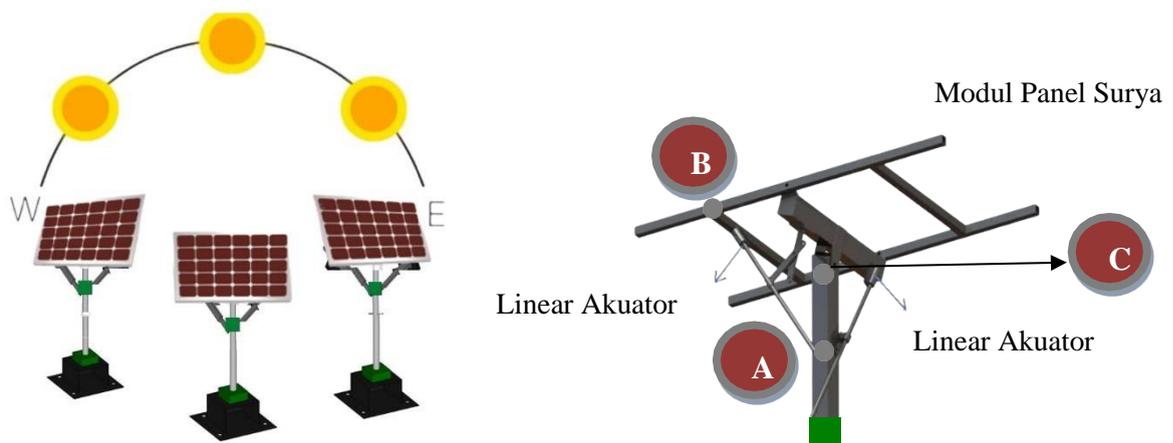
Gambar 6. Struktur berlapis *Bio-Sun Tracker*

4.3 Sistem Kerja *Bio-Sun Tracker*

Bio-Sun Tracker menggunakan kecerdasan *Internet of Things* (IoT) untuk pengaturan dengan tujuan agar pengguna tidak harus bersentuhan secara langsung. Monitoring intensitas pemanen foton dalam mengatur arah gerak panel surya tersensitisasi *dye* terhadap gerak cahaya matahari dilakukan melalui aplikasi. Sistem akan mengontrol arah gerak secara otomatis sehingga mampu menghasilkan daya maksimal. Skema kerja *Bio-Sun Tracker* ditampilkan pada Gambar 7.



Bio-Sun Tracker mendapatkan sumber dari *power supply* dengan arduino UNO sebagai pusat pengatur kerja. Sensor LDR T dan LDR B akan menangkap data dan diunggah ke internet sehingga dapat dipantau melalui *mobile phone*, tampilan dari aplikasi dapat dipaparkan pada Lampiran 2. Metode DTS yang digunakan berjenis *Dual Tracking System* pada sumbu vertikal dan horizontal menggunakan rangkaian kontrol Arduino UNO. Cahaya matahari yang mengenai sensor LDR membuat hambatan listrik berubah sehingga akan mempengaruhi nilai tegangan dan arus ke analog input Arduino UNO. Arduino mengolah informasi dari sensor LDR dan memberi perintah untuk menggerakkan linear aktuator yang akan menggerakkan posisi permukaan *Bio-Sun Tracker* dengan dua arah yaitu mengikuti orientasi gerak semu harian matahari dari arah Timur ke Barat. Pada setiap arah terdapat *limit switch* untuk memberi batas gerakan, sehingga apabila salah satu *limit switch* itu aktif artinya sudah sampai pada batas maksimal dan tidak dapat melanjutkan pergerakan ke arah tersebut. Ketika malam hari akan otomatis *Bio-Sun Tracker* bergerak menghadap ke arah timur dan akan berhenti ketika *limit switch* timur aktif. Mekanisme pergerakan *Bio-Sun Tracker* dapat dilihat pada Gambar 8.

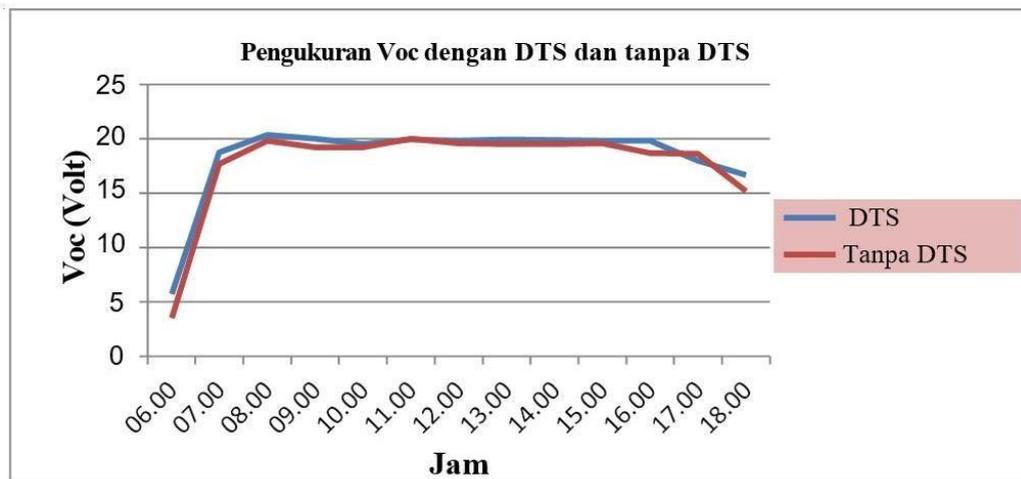


Gambar 8. Mekanisme pergerakan *Bio-Sun Tracker*

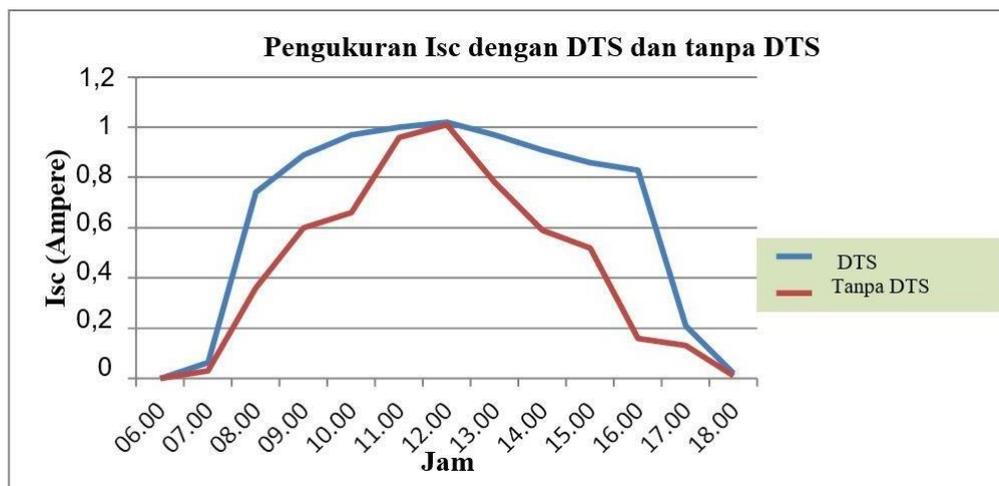
Mekanisme pergerakan *Bio-Sun Tracker* dapat dilihat bahwa *Bio-Sun Tracker* digerakkan oleh linear aktuator dengan cara menambah atau mengurangi panjang lengan A sehingga salah satu sisi *Bio-Sun Tracker* akan terdorong keatas apabila lengan memanjang dan akan tertarik ke bawah apabila panjang lengan di kurangi. Pada titik B dan C digunakan baut agar dapat berputar saat terjadi perubahan panjang pada lengan A.

4.4 Pengujian Sensor

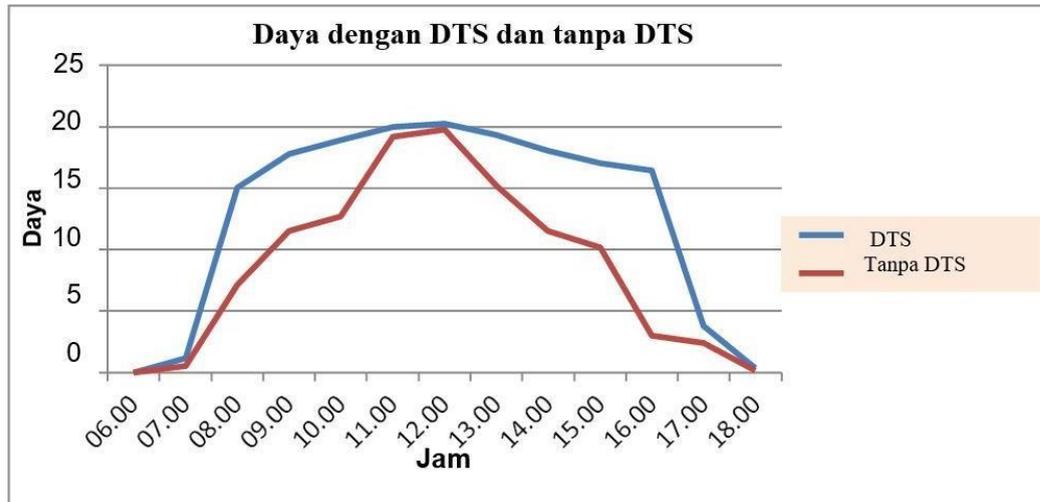
Pengujian sensor LDR pada *Bio-Sun Tracker* bertujuan untuk mengetahui kemampuan prototype dalam mengarahkan permukaan panel yang tegak lurus (membentuk sudut 90°) dengan sudut datangnya cahaya matahari. Pengujian dilakukan dengan mengukur sudut kemiringan permukaan dan sudut datang matahari menggunakan busur derajat. Pengambilan data hasil keluaran *Bio-Sun Tracker* ini dilakukan pada jam 06.00 sampai dengan jam 18.00 selama 3 hari. Analisis keluaran *Bio-Sun Tracker* dengan metode *Dual Tracking System* (DTS) dilakukan dengan cara mengukur tegangan hubung terbuka (VoC), arus hubung singkat (Isc), dan daya yang dihasilkan, kemudian dibandingkan dengan *prototype* tanpa metode DTS. Perhitungan nilai rata-rata Voc, Isc, dan daya yang dikeluarkan *Bio-Sun Tracker* dapat dilihat pada lampiran 3. Keefektifan *prototype Bio-Sun Tracker* dapat dilihat pada Gambar 9.



(a) Grafik perbandingan nilai Voc *Bio-Sun Tracker*



(b) Grafik perbandingan Isc *Bio-Sun Tracker*



(c) Grafik perbandingan daya *Bio-Sun Tracker*

Gambar 9. Keefektifan *prototype Bio-Sun Tracker* (a) Voc, (b) Isc, dan (c) Daya

Untuk mengetahui kemampuan *Bio-Sun Tracker* dalam meningkatkan daya yang dihasilkan panel surya dapat dilihat pada Lampiran 6. Berdasarkan hasil analisis grafik perbandingan nilai Voc dan Isc bahwa penggunaan metode DTS mampu meningkatkan nilai daya, arus, dan tegangan. *Bio-Sun Tracker* terbukti dapat menjadi sumber energi alternatif dengan daya keluaran sebesar 12,46 Watt. Hasil tersebut jauh lebih besar dari pada tanpa menggunakan DTS yang menghasilkan daya hanya sebesar 8,71 Watt.

BAB V. PENUTUP

5.1 Simpulan

1. Spesifikasi panel surya tersensitisasi *dye* ekstrak daun bayam diperoleh perbandingan 80%:20% transmetalasi klorofil dan antosianin berbantuan ion Zn^{2+} sebesar 25 ppm mampu menjaga kestabilan *dye Bio-Sun Tracker* sehingga menghasilkan absorbansi tertinggi pada puncak 450-700 nm.
2. Konsep *Bio-Sun Tracker* menjadi alternatif sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan karena mengandung sumber *dye sensitizer* transmetalasi klorofil dan antosianin daun bayam mampu meningkatkan nilai efisiensi dan kestabilan pada *Bio-Sun Tracker*.
3. Performa *Bio-Sun Tracker* dapat menjadi sumber energi alternatif dengan

keluaran daya *solar cell* sebesar 12,46 Watt. Hasil tersebut jauh lebih besar dari pada tanpa menggunakan *tracking* yang menghasilkan daya hanya sebesar 8,71 Watt.

5.2 Saran

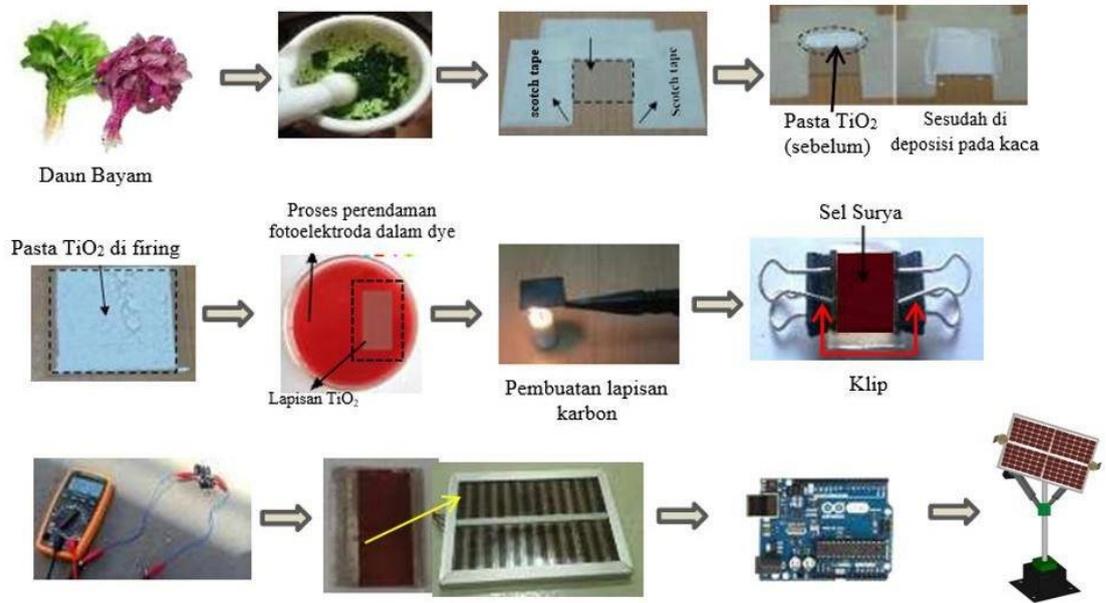
Dalam penulisan KTI ini masih banyak kekurangan, harapannya penggunaan referensi dan pengembangan produk akan mampu menjadikan KTI ini lebih baik lagi dari sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

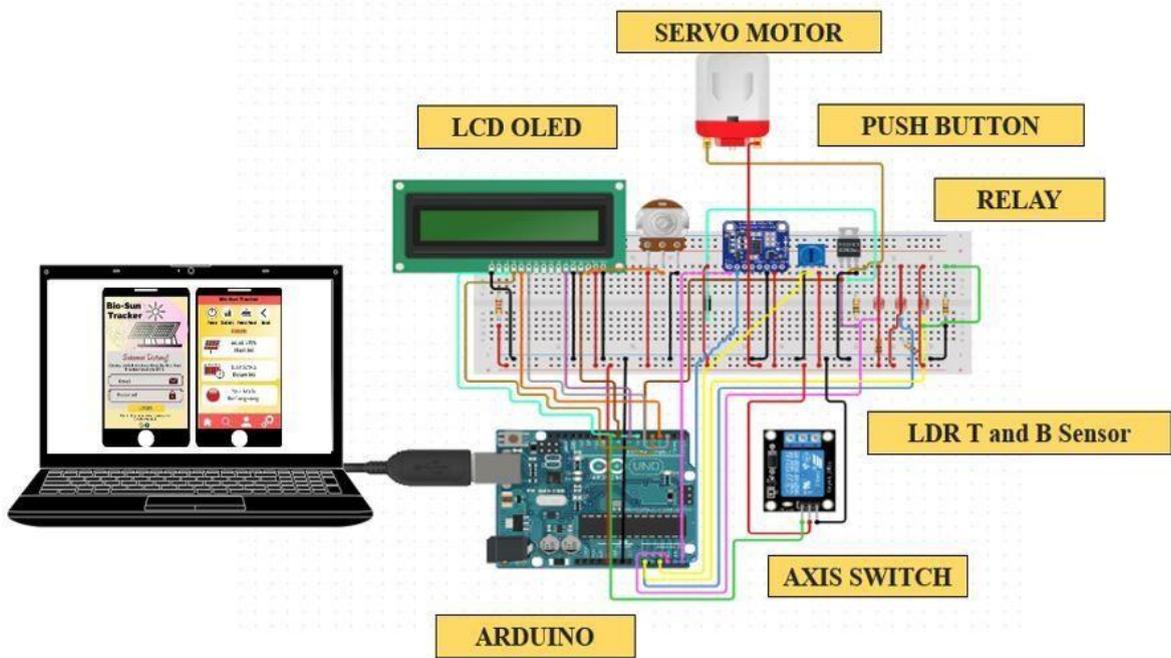
- Ammar, A. M., Mohamed, H. S. H., Yousef, M. M. K., Abdel-Hafez, G. M., Hassanien, A. S., & Khalil, A. S. G. (2019). Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs) based on extracted natural dyes. *Journal of Nanomaterials*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/1867271>
- Azelik, H. Prakash, dan R. Chaloo. (2011). TwoAxis Solar Tracker Analysis and Control for Maximum Power Generation. *Procedia Comput. Sci.*, vol. 6, hal. 457–462. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2011.08.085>
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2020. *Outlook Energi Indonesia 2020: Edisi Khusus Dampak Pandemi COVID-19 terhadap Sektor Energi di Indonesia*. Jakarta: BPPT.
- Bahtiar, H., Wibowo, N. A., & Rondonuwu, F. S. (2015). Konstruksi Sel Surya Bio menggunakan Campuran Klorofil-Karotenoid sebagai Sensitizer. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 11(1), 19. <https://doi.org/10.12962/j24604682.780>
- Dhafina, W. A., Daud, M. Z., & Salleh, H. (2020). The sensitization effect of anthocyanin and chlorophyll dyes on optical and photovoltaic properties of zinc oxide based dye-sensitized solar cells. *Optik*, 207, 163808. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2019.163808>
- Kementerian ESDM. (2018). *Handbook Of Energy & Economic Statistics Of Indonesia 2018 Final Edition*. In Ministry of Energy and Mineral Resources.
- Kitayama, Mizuki & Tisarum, Rujira & Theerawitaya, Cattarin & Samphumphung, Thapanee & Takagaki, Michiko & Kirdmanee, Chalernpol & Cha-Um, Suriyan. (2019). Regulation on anthocyanins, α -tocopherol and calcium in two water spinach (*Ipomoea aquatica*) cultivars by NaCl salt elicitor. *Scientia Horticulturae*. 249. 390-400. [10.1016/j.scienta.2019.02.021](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.021).
- Li, B., Wang, L., Kang, B., Wang, P. and Qiu, Y. (2006) Review of Recent Progress in Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90, 549-573. <https://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2005.04.039>
- Madnasri, S., Wulandari, R. D. A., Hadi, S., Yulianti, I., Edi, S. S., & Prastiyanto, D. (2019). Natural Dye of *Musa acuminata* bracts as Light Absorbing Sensitizer for Dye-Sensitized Solar Cell. *Materials Today: Proceedings*, 13(Part1), 246–251. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.03.222>
- Manfredi, N., Trifiletti, V., Melchiorre, F., Giannotta, G., Biagini, P., & Abboto, A. (2019). Photovoltaic characterization of di-branched organic sensitizers for DSSCs. *Data in Brief*, 25, 0–5. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104167>

- Manurung, P. 2011. Pigmen Klorofil Daun Katuk dan Aplikasinya sebagai Zat Pewarna Alami (online) (<http://breaanmanurung.wordpress.com/2011/02/26/pigmen-klorofil-daunkatuk-dan-aplikasinya-sebagai-zat-pewarna-alami/> diakses 25-12-2021).
- Parvaneh, M. H., & Khorasani, P. G. (2020). A new hybrid method based on Fuzzy Logic for maximum power point tracking of Photovoltaic Systems. *Energy Reports*, 6, 1619–1632. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.06.010>
- Rachmawati, W., & Ramdanawati, L., 2020. Pengembangan Klorofil dari Daun Singkong sebagai Pewarna Makanan Alami. *Pharmacoscript*, 2(2):87-97. DOI: 10.36423/pharmacoscript.v2i2.252.
- Rao, A.S., Neha, & Santosh Kumar, S. (2018). Smart IoT based Solar Panel Cleaning System. *2018 3rd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*, 2357-2361. doi: 10.1109/RTEICT42901.2018.9012432.
- Rawal, I., Dwivedi, N., Tripathi, R. K., Panwar, O. S., & Malik, H. K. (2017). Organic-inorganic hybrid nanomaterials for advanced light dependent resistors. *Materials Chemistry and Physics*, 202, 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2017.09.026>
- Ripalda, J. M., Chemisana, D., Llorens, J. M., & García, I. (2020). Location specific spectral and thermal effects in tracking and fixed tilt photovoltaic systems. *IScience*, 101634. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101634>
- Satriani, W. (2017). Pembuatan Prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) Menggunakan Klorofil Daun Jarak Dan Antosianin Bunga Krisan Ungu. *Skripsi Universitas Hasanuddin*.
- Yandri, V. R. (2012). Prospek Pengembangan Energi Surya untuk Kebutuhan Listrik di Indonesia. *Jurnal Ilmu Fisika*, 9/1, 14-19
- Younas, M., Baroud, T. N., Gondal, M. A., Dastageer, M. A., & Giannelis, E. P. (2020). Highly efficient, cost-effective counter electrodes for dye-sensitized solar cells (DSSCs) augmented by highly mesoporous carbons. *Journal of Power Sources*, 468(June). <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228359>
- Zulhendri Kamus, Ridho Pratama. "Aplikasi Light Dependent Resistor Untuk Pengembangan Sistem Pengukuran Durasi Harian Penyinaran Matahari". Padang: Univesitas Negeri Padang. hal 1-5

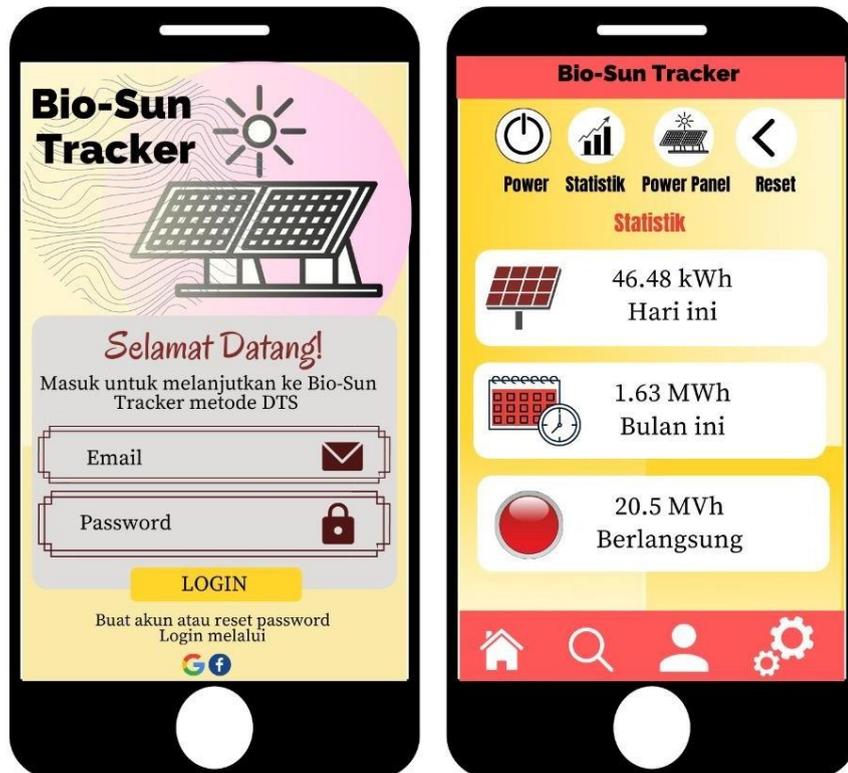
Lampiran 1. Struktur Pembuatan pada Ekstrak Transmetalasi Klorofil dan Antosianin Daun Bayam



Lampiran 2. Schematic Rangkaian Prototipe *Bio-Sun Tracker* dan Ilustrasi Aplikasi Android *Bio-SunTracker*



Ilustrasi Aplikasi Android *Bio-Sun Tracker*



Lampiran 3. Analisis Hasil Perhitungan Rata-rata Voc, Isc, dan daya Menggunakan DTS dan Tanpa DTS pada *Bio-Sun Tracker*.

- Hasil perhitungan menggunakan *Dual Tracking System (DTS)*

Jam	Rata rata		Daya (Watt)
	Voc (Volt)	Isc (Ampere)	
06.00	5,7	0	0
07.00	18,72	0,063	1,17
08.00	20,33	0,74	15,04
09.00	19,99	0,89	17,79
10.00	19,51	0,97	18,92
11.00	19,96	1	19,96
12.00	19,84	1,02	20,23
13.00	19,93	0,97	19,33
14.00	19,85	0,91	18,06
15.00	19,83	0,86	17,05
16.00	19,83	0,83	16,45
17.00	17,94	0,21	3,76
18.00	16,65	0,02	0,33

- Hasil perhitungan Tanpa *Dual Tracking System (DTS)*

Jam	Rata-rata		Daya (Watt)
	Voc (Volt)	Isc (Ampere)	
06.00	3,51	0	0
07.00	17,7	0,03	0,53
08.00	19,8	0,36	7,12
09.00	19,2	0,6	11,52
10.00	19,2	0,66	12,67
11.00	19,99	0,96	19,19
12.00	19,6	1,01	19,79
13.00	19,5	0,78	15,21
14.00	19,5	0,59	11,5
15.00	19,6	0,52	10,19
16.00	18,7	0,16	2,99
17.00	18,6	0,13	2,41