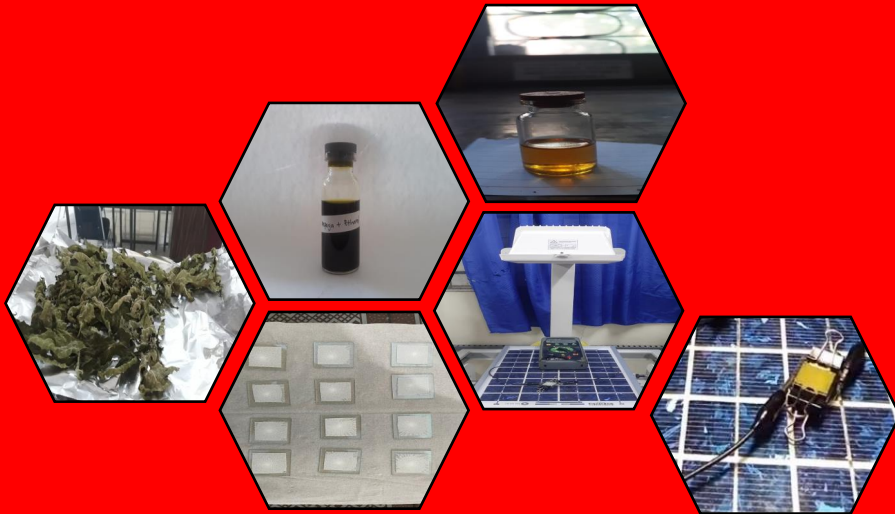


**ANALISIS KINERJA *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC) DENGAN  
VARIASI TEMPERATUR KALSINASI TITANIUM DIOKSIDA ( $\text{TiO}_2$ )  
MENGUNAKAN *DYE* KLOOROFIL DAUN PEPAYA (*Carica Papaya L.*)**



**NUR ALYA  
H021191022**



**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**ANALISIS KINERJA *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC) DENGAN  
VARIASI TEMPERATUR KALSINASI TITANIUM DIOKSIDA ( $\text{TiO}_2$ )  
MENGUNAKAN *DYE* KLOOROFIL DAUN PEPAYA (*Carica Papaya L.*)**

**NUR ALYA**

**H021191022**



**PROGRAM STUDI FISIKA  
DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**ANALISIS KINERJA *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC) DENGAN  
VARIASI TEMPERATUR KALSINASI TITANIUM DIOKSIDA ( $\text{TiO}_2$ )  
MENGUNAKAN *DYE* KLOOROFIL DAUN PEPAYA (*Carica Papaya L.*)**

**NUR ALYA  
H0021191022**

Skripsi

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Fisika

Program Studi Fisika

pada

**PROGRAM STUDI FISIKA  
DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**SKRIPSI**

**ANALISIS KINERJA DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) DENGAN  
VARIASI TEMPERATUR KALSINASI TITANIUM DIOKSIDA (TiO<sub>2</sub>)  
MENGUNAKAN DYE KLOROFIL DAUN PEPAYA (*Carica Papaya L.*)**

**NUR ALYA**  
**H021191022**

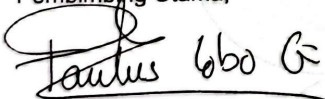
Skripsi,

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Fisika pada 14 Agustus 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

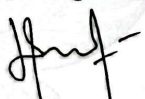
Program Studi Fisika  
Departemen Fisika  
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin  
Makassar

Mengesahkan:  
Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Paulus Lobo Gareso, M.Sc.  
NIP.196503051991031008

Mengetahui:  
Pembimbing Pertama,



Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si.  
NIP.197509072000031006

Mengetahui:  
Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Arifin, M.T.  
NIP.196705201994031002



### PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "*Analisis Kinerja Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Variasi Temperatur Kalsinasi Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>) menggunakan Dye Klorofil Daun Pepaya (Carica Papaya L.)*" adalah benar karya saya dengan arahan dari Bapak Prof. Dr. Paulus Lobo Gareso, M.Sc. sebagai Dosen Pembimbing Utama saya dan Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si. sebagai Dosen Pembimbing Pertama saya. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 14 Agustus 2024



Nur Alya

NIM H021191022

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* atas segala rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "**Analisis Kinerja *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* dengan Variasi Temperatur Kalsinasi Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) menggunakan *Dye Klorofil Daun Pepaya (Carica Papaya L.)*". Salam dan shalawat senantiasa tercurahkan untuk baginda Rasulullah *Shallallahu 'Alaihi Wa Sallam*, keluarga, dan para sahabat beliau.**

Dalam proses penyusunan skripsi tidaklah lepas dari bantuan, arahan, bimbingan, petunjuk, dorongan, semangat, dan motivasi dari banyak pihak untuk menyelesaikan skripsi ini. Maka dari itu, pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada keluarga penulis, Ayahanda **M. Yudhar Umar** dan Ibunda **Alm. Syarmi**, serta kakak, **Yasmin Putri Islamay** yang telah memberikan dukungan, doa, cinta, dan kasih yang tak terhitung nilainya. Semoga penulis dapat menjadi anak dan adik yang membanggakan.

Ucapan terima kasih dan penghormatan penulis sampaikan kepada Bapak **Prof. Dr. Paulus Lobo Gareso, M.Sc.** selaku dosen pembimbing utama dan Bapak **Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si.** selaku dosen pembimbing pertama yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan saran dalam penyusunan skripsi ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Bapak **Heryanto, S.Si., M.Si.** dan Bapak **Prof. Dr. Syamsir Dewang, MS., F.Med** selaku dosen penguji atas kritikan dan saran serta waktu yang berharga yang telah diberikan kepada penulis. Tak lupa juga penulis ucapkan terima kasih kepada Ibu **Prof. Dr. Nurlaela Rauf, M.Sc.** selaku dosen pembimbing akademik atas bimbingan dan arahan yang telah diberikan kepada penulis. Terima kasih juga kepada pimpinan Universitas Hasanuddin, pimpinan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, Ketua Departemen Fisika, para dosen dan staff yang telah memberikan ilmu dan fasilitas kepada penulis.

Penulis juga berterima kasih kepada teman-teman **Hlmafi 2019** dan **HMGF 2019**, terkhusus kepada **Ririn, Sire, Eni, Nurul, Asira, Ghalib, Alif, Fatimah, Ita, Cici, Devi, Dian, Haikal, Akbar, Agung, dan Yusri** yang telah kebersamai penulis dalam suka maupun duka. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada teman-teman **MIPA 2019**, terkhusus kepada **Lesta, Usama, Ferdi, Mahdis, Syahril, Daus, Hayat, Alfian dan Rahmat**, yang selalu membantu penulis serta memberikan warna yang baru dalam kehidupan penulis. Terima kasih juga kepada teman-teman seprodi **FISIKA 2019** yang telah menemani dan memberikan bantuan kepada penulis selama masa kuliah. Kepada teman-teman **RE20NANSI, F21CTIΦN, dan KMF 2022**, serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu, terima kasih atas dukungan, bantuan, dan doa yang telah diberikan. Semoga segala hal baik yang kalian berikan kepada penulis dapat kembali lagi ke kalian.

Penulis menyadari adanya keterbatasan dan ketidaksempurnaan dalam menyusun skripsi ini. Besar harapan kritik dan saran yang akan diberikan kepada penulis untuk membangun. Semoga tulisan ini memberikan manfaat untuk pembaca. Akhir kata mohon maaf atas segala salah dan khilaf dari penulis.

Makassar, 14 Agustus 2024



NUR ALYA

## ABSTRAK

NUR ALYA. **Analisis Kinerja *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan Variasi Temperatur Kalsinasi Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) menggunakan *Dye Klorofil Daun Pepaya* (*Carica Papaya L.*)** (dibimbing oleh Paulus Lobo Gareso dan Dahlang Tahir).

**Latar Belakang.** DSSC saat ini dianggap menjadi salah satu pembangkit energi alternatif yang menjanjikan. Akan tetapi, tingkat efisiensi konversi energinya masih perlu dikembangkan. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi temperatur saat dilakukannya proses kalsinasi terhadap besar efisiensi yang dihasilkan dari DSSC. **Metode.** Pada penelitian ini dilakukan pembuatan prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan menggunakan  $\text{TiO}_2$  sebagai bahan semikonduktor yang dilapisi kaca *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO) dan diberi variasi temperatur kalsinasi pada  $350^\circ\text{C}$ ,  $450^\circ\text{C}$ , dan  $550^\circ\text{C}$  dengan waktu kalsinasi masing-masing 30 menit, kemudian disensitisasi dalam larutan pewarna ekstrak daun pepaya (*Carica papaya L.*). Kinerja prototipe DSSC dianalisis dengan melakukan uji karakterisasi UV-Vis, XRD, FTIR, dan *Solar Simulator*. **Hasil.** Pada karakterisasi dengan UV-Vis didapatkan bahwa terjadi penyerapan gelombang cahaya secara maksimum pada panjang gelombang 659 nm dan 662 nm dengan nilai absorbansi masing-masing 3,475 a.u dan 3,474 a.u. Karakterisasi dengan FTIR menunjukkan adanya kandungan senyawa klorofil pada *dye* daun pepaya. Berdasarkan hasil karakterisasi dengan XRD diketahui bahwa fase kristal dari  $\text{TiO}_2$  murni dan yang telah dikalsinasi sama, yaitu anatase. Hasil dari uji XRD juga menunjukkan bahwa partikel  $\text{TiO}_2$  sebelum dikalsinasi memiliki ukuran 58,96 nm, setelah dikalsinasi pada suhu  $350^\circ\text{C}$  memiliki ukuran 35,98 nm, pada suhu  $450^\circ\text{C}$  memiliki ukuran 25,28 nm, dan pada suhu  $550^\circ\text{C}$  memiliki ukuran terkecil yaitu 24,49 nm. Pada pengujian kinerja DSSC diperoleh nilai efisiensi DSSC yang dikalsinasi pada suhu  $350^\circ\text{C}$ ,  $450^\circ\text{C}$ , dan  $550^\circ\text{C}$  masing-masing adalah  $3,43 \times 10^{-9}\%$ ,  $0,421 \times 10^{-9}\%$ , dan  $224 \times 10^{-9}\%$ . **Kesimpulan.** Kinerja DSSC terbaik ditunjukkan oleh prototipe DSSC yang dikalsinasi dengan suhu  $550^\circ\text{C}$  dengan efisiensi  $224 \times 10^{-9}\%$ .

**Kata kunci:** daun pepaya, *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC), sel surya, temperature kalsinasi,  $\text{TiO}_2$



## ABSTRACT

NUR ALYA. **Analysis of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Performance with Variation of Calcination Temperature of Titanium Dioxide (TiO<sub>2</sub>) using Chlorophyll Dye from Papaya Leaf (*Carica Papaya L.*)** (supervised by Paulus Lobo Gareso and Dahlang Tahir).

**Background.** DSSC are currently considered as one of the promising alternative energy generators. However, the energy conversion efficiency level still needs to be developed. **Aim.** This study is done to determine the effect of temperature variations during calcination process on the efficiency of DSSC. **Method.** In this study, a prototype of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) was made using TiO<sub>2</sub> as a semiconductor material coated with Fluorine-doped Tin Oxide (FTO) glass and given a calcination temperature variation at 350°C, 450°C, and 550°C for 30 minutes each, then sensitized in papaya leaf (*Carica papaya L.*) extract dye solution. The performance of the DSSC prototype was analyzed by using UV-Vis, XRD, FTIR, and Solar Simulator. **Results.** In characterization with UV-Vis, it was found that there was maximum absorption of light waves at wavelengths of 659 nm and 662 nm with absorbance values of 3.475 a.u and 3.474 a.u, respectively. Characterization with FTIR shows the content of chlorophyll compounds in papaya leaf dye. XRD results showed that TiO<sub>2</sub> is anatase crystallite phase, with the crystallite sizes is 58.96 nm before calcination, and after calcination the crystallite sizes at various temperature is 35.98 nm, 25.28 nm, and 24.49 nm, respectively. The efficiency of the DSSC was determined by measuring the voltage and current using Solar Simulator. The efficiency of DSSC calcined at 350 °C, 450 °C, and 550 °C are 3.43×10<sup>-9</sup>%, 0.421×10<sup>-9</sup>%, and 224×10<sup>-9</sup>%, respectively. **Conclusion.** The sample which was calcinated at 550°C performed the highest efficiency at 224×10<sup>-9</sup> %.

**Keywords:** calcination temperature, Dye Sensitized Solar Cell (DSSC), papaya leaf, solar cell, TiO<sub>2</sub>

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	ii
PERNYATAAN PENGAJUAN .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Landasan Teori.....	2
1.2.1 Energi Surya .....	2
1.2.2 Dye Sensitized Solar Cell (DSSC).....	2
1.3 Ruang Lingkup .....	7
1.4 Rumusan Masalah.....	7
1.5 Tujuan Penelitian .....	7
BAB II METODOLOGI PENELITIAN .....	8
2.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	8
2.2. Alat dan Bahan Penelitian .....	8
2.3. Prosedur Penelitian .....	8
2.3.1. Persiapan Sampel.....	8
2.3.2. Ekstraksi <i>Dye</i> .....	8
2.3.3. Preparasi Lapisan TiO <sub>2</sub> .....	9
2.3.4. Deposisi Lapisan Oksida TiO <sub>2</sub> .....	9
2.3.5. Proses Kalsinasi Lapisan Oksida TiO <sub>2</sub> .....	9
2.3.6. Absorpsi <i>Dye</i> pada Lapisan TiO <sub>2</sub> .....	9

2.3.7.	Preparasi Larutan Elektrolit.....	9
2.3.8.	Pembuatan <i>Counter</i> Elektroda Karbon.....	9
2.3.9.	Perakitan <i>Sandwich</i> DSSC.....	10
2.3.10.	Karakteristik dan Parameter Pengujian.....	10
2.4.	Bagan Alir Penelitian.....	12
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN.....		13
3.1.	Hasil Pengujian UV-Vis.....	13
3.2.	Hasil Pengujian FTIR.....	14
3.3.	Hasil Pengujian XRD.....	15
3.4.	Hasil Pengujian Kinerja DSSC.....	16
BAB IV PENUTUP.....		18
4.1.	Kesimpulan.....	18
4.2.	Saran.....	18
DAFTAR PUSTAKA.....		19
LAMPIRAN.....		22

**DAFTAR GAMBAR**

<b>Nomor Urut</b>	<b>Halaman</b>
1. Struktur DSSC .....	3
2. Struktur Kristal TiO <sub>2</sub> (A) Fase Anatase, (B) Fase Rutil, (C) Fase Brookite .....	5
3. Struktur Pigmen Klorofil-A dan Klorofil-B .....	6
4. Bagan Alir Penelitian .....	12
5. Hasil Uji UV-Vis dari Ekstrak Daun Pepaya .....	13
6. Hasil Uji FTIR dari TiO <sub>2</sub> dan Daun Pepaya .....	14
7. Hasil Uji XRD TiO <sub>2</sub> .....	15
8. Kurva Perbandingan I-V DSSC .....	17

**DAFTAR TABEL**

<b>Nomor Urut</b>	<b>Halaman</b>
1. Identifikasi Gugus Fungsi Spektrum FTIR.....	15
2. Ukuran Kristal TiO <sub>2</sub> dan Variasi Temperatur .....	16
3. Hasil Perhitungan Efisiensi DSSC.....	17

**DAFTAR LAMPIRAN**

<b>Nomor Urut</b>	<b>Halaman</b>
1. Hasil Pengukuran XRD.....	23
2. Hasil Pengukuran Arus Dan Tegangan DSSC.....	24
3. Perhitungan Efisiensi DSSC.....	26
4. Hasil Uji Spektrofotometer UV-Vis.....	28
5. Hasil Uji FTIR.....	30
6. Dokumentasi Penelitian.....	32

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi merupakan salah satu tantangan yang dihadapi dunia pada abad ke-21 ini. Besarnya kebutuhan energi mengalami peningkatan secara drastis selama beberapa dekade terakhir seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan peradaban manusia (Maka & Alabid, 2022). Hal tersebut dapat ditandai dari rata-rata besarnya rasio elektrifikasi (perbandingan antara jumlah rumah tangga yang memiliki listrik dengan total rumah tangga di suatu wilayah) pada tahun 2020, yaitu sebesar 99,20%. Saat ini, mayoritas energi yang digunakan di dunia bersumber pada bahan bakar fosil. Di sisi lain, peningkatan kebutuhan energi dari bahan bakar fosil ini berbanding terbalik dengan keberadaan sumber daya yang semakin menipis (Qurrota & Kusumawati, 2021). Karena permasalahan tersebut, para peneliti sedang gencar untuk mencari energi terbarukan yang dapat menjadi alternatif untuk menggantikan energi dari bahan bakar fosil, seperti energi angin, energi air, energi surya, dan lain-lain. Dari berbagai energi terbarukan yang tersedia, energi surya dianggap sebagai energi alternatif yang menjanjikan karena keberadaannya yang melimpah, ramah lingkungan, serta mudah untuk dikelola (Devadiga et al., 2021b).

Pengembangan mengenai energi matahari ini sangat diperhatikan, yang akhirnya menghasilkan generasi ketiga dari sel surya, yaitu *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). DSSC saat ini dianggap menjadi salah satu pembangkit energi alternatif yang menjanjikan karena biaya produksi yang lebih murah, mudah didapat, serta ramah lingkungan. Akan tetapi, tingkat efisiensi konversi energinya masih perlu dikembangkan. DSSC pada umumnya terdiri dari elektroda counter, elektroda semikonduktor berpori nanokristalin, elektrolit, dan sensitizer (Smok et al., 2022).

Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) merupakan salah satu semikonduktor yang memiliki *bandgap* yang lebar (sekitar 3,0 – 3,3 eV).  $\text{TiO}_2$  telah banyak diaplikasikan sebagai semikonduktor pada DSSC karena memiliki permukaan yang besar. Diketahui bahwa semakin kecil ukuran suatu material pada skala nanometer, maka semakin besar rasio permukaannya terhadap volumenya, dan semakin besar peluangnya untuk berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya (Supriyanto et al., 2020). Dengan permukaan yang besar dan energi *bandgap* yang lebar akan membuat ruang reaksi fotokatalis dan spectrum absorpsi oleh *dye* akan menjadi lebar, sehingga dapat memperbanyak elektron yang mengalir dari pita konduksi ke pita valensi. Hal ini pula yang menyebabkan arus yang masuk akan lebih besar (Fitri, 2022).

$\text{TiO}_2$  memiliki tiga fase kristal; anatase, rutil dan brokit, dengan tingkat kestabilan yang berbeda. Ketiga fase kristal dari  $\text{TiO}_2$  ini dapat dipengaruhi dari berbagai faktor, seperti ukuran partikel, suhu pemanasan, laju pemanasan, waktu pemanasan, atmosfer, dan energi permukaan (Blackwood & Doroudgar, 2019).

Penelitian mengenai DSSC sampai saat ini terus dikembangkan. Dari penelitian-penelitian ini, diharapkan DSSC dapat dimanfaatkan menjadi sumber

energi listrik alternatif yang ramah lingkungan dan hemat biaya di masa depan. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai efisiensi yang dihasilkan dari penggunaan zat pewarna alami pada DSSC dan mengetahui pengaruh dari variasi temperatur kalsinasi pasta  $\text{TiO}_2$  terhadap efisiensi DSSC.

Pada penelitian ini, dilakukan fabrikasi prototipe DSSC dengan menggunakan zat pewarna alami dari daun pepaya dan elektroda nanokristal  $\text{TiO}_2$ . Elektrolit cair yang digunakan merupakan campuran dari *Potassium Iodide* (KI), *Polyethylene Glycol* (PEG), dan *Iodine* ( $\text{I}_2$ ). Prototipe DSSC ini akan dicari nilai efisiensinya dengan divariasikan temperatur kalsinasi dari pasta  $\text{TiO}_2$ . Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi temperatur saat dilakukannya proses kalsinasi terhadap besar efisiensi yang dihasilkan dari DSSC.

## **1.2 Landasan Teori**

### **1.2.1 Energi Surya**

Matahari merupakan salah satu sumber energi yang dapat menghasilkan energi yang tidak akan habis, yaitu energi surya. Secara teori, energi surya diperkirakan dapat memenuhi kebutuhan energi yang diperlukan di seluruh dunia jika sudah ada teknologi yang dapat menangkap energi tersebut. Setiap tahunnya, terhitung sekitar hampir empat juta exajoule ( $1 \text{ EJ} = 10^{18} \text{ J}$ ) energi matahari yang mencapai bumi. Akan tetapi, meskipun energi terbarukan ini memiliki potensi yang besar untuk keberlangsungan energi, pemanfaatannya sampai saat ini masih sangat kurang (E. Kabir et al., 2018).

Jika dibandingkan dengan jenis energi terbarukan yang lainnya, energi surya mudah didapatkan dan diolah dengan system fotovoltaik (PV). Sampai saat ini, perkembangan sel PV terbagi menjadi tiga generasi. Generasi pertama adalah sel surya berbasis wafer Si, generasi kedua yaitu CIGS, CdTe, GaAs, dan generasi ketiga yaitu sel surya titik kuantum, sel surya organik, sel surya *multijunction*, dan sel surya tersensitisasi warna (F. Kabir et al., 2019). Energi surya juga diketahui membutuhkan biaya yang cukup rendah, termasuk juga dengan biaya pemeliharannya. Energi ini sesuai untuk berbagai macam aplikasi (Rabaia et al., 2021).

### **1.2.2 Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)**

#### **1.2.2.1 Pengertian DSSC**

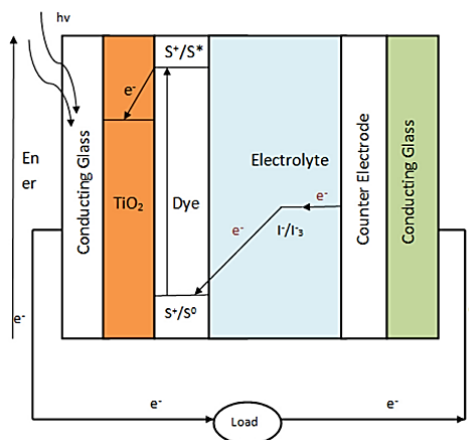
*Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) pertama kali dikembangkan oleh Gratzel dan O'Regan pada tahun 1991. Mereka memperkenalkan jenis sel surya fotokimia terbaru yang merupakan jenis sel surya eksitasi. DSSC memiliki struktur film tipis yang ini dibuat dengan bahan yang ramah lingkungan. Sel surya ini terdiri dari lapisan nanopartikel yang diendapkan dalam zat warna, kaca konduktor, elektroda, dan *counter* elektroda. Zat warna yang digunakan pada umumnya merupakan zat pewarna organik atau zat warna sintetis seperti *ruthenium complex* (Trihutomo et al., 2019).

#### **1.2.2.2 Struktur DSSC**

DSSC pada umumnya tersusun dari substrat transparan yang bersifat konduktif atau *Transparent Conductive Oxide* (TCO), seperti *Indium Tin Oxide* (ITO)



dan *Fluorine Tin Oxide* (FTO), bahan semikonduktor, *dye* sebagai sensitizer, elektrolit sebagai transfer elektron, dan *counter* elektroda. Bahan semikonduktor yang digunakan merupakan bahan oksida berpori nano yang ditempatkan pada kaca konduktif. Bahan *dye* diserapkan pada permukaan bahan semikonduktor. Antara *counter* elektroda dan elektroda kerja dipisahkan oleh larutan elektrolit. Bahan-bahan ini disusun dengan membentuk *sandwich*, seperti pada gambar berikut (Aslam et al., 2020; Castillo-Robles et al., 2021).



**Gambar 1.** Struktur DSSC (Aslam et al., 2020)

### 1.2.2.3 Prinsip Kerja DSSC

Mekanisme kerja DSSC pada umumnya meniru mekanisme yang terjadi pada proses fotosintesis. Dalam DSSC, energi foton diserap oleh molekul pewarna (*dye*) yang melekat pada lapisan mesopori bahan semikonduktor (Spinelli et al., 2023). Proses yang terjadi dalam sebuah DSSC dijelaskan sebagai berikut (Trianiza, 2020; Trianiza et al., 2022).

Ketika sinar matahari jatuh mengenai DSSC, energi foton akan menimpa elektroda kerja. Energi foton tersebut akan diserap oleh *dye* yang melekat pada permukaan lapisan semikonduktor. Pada tahapan ini, elektron yang ada pada *dye* mendapatkan energi untuk dapat tereksitasi dari orbital molekul yang paling tinggi ke yang paling rendah. Besar energi foton yang terserap bergantung pada *dye* yang digunakan serta banyaknya *dye* yang menempel. Semakin banyak *dye* yang menempel maka fotoelektron yang dihasilkan juga akan semakin banyak.

Elektron yang tereksitasi akan membawa energi dan akan langsung terinjeksi ke pita konduksi (*conduction band*)  $\text{TiO}_2$ .  $\text{TiO}_2$  disini berperan sebagai kolektor elektron. Molekul *dye* yang ditinggalkan kemudian menjadi teroksidasi. Adanya donor elektron oleh elektrolit ( $\text{I}^-$ ) menyebabkan molekul *dye* kembali ke keadaan semula (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi.

Tahapan selanjutnya ialah energi yang dibawa oleh elektron akan mengalir melewati rangkaian eksternal menuju *counter* elektroda. Dengan adanya karbon sebagai katalis pada *counter* elektroda, elektron diterima oleh elektrolit sehingga,

dengan terjadinya donor elektron pada proses sebelumnya, *hole* yang terbentuk pada elektrolit ( $I_3^-$ ) akan berekombinasi dengan elektron dan membentuk iodide ( $I^-$ ).

Elektrolit pada umumnya merupakan pasangan redoks iodide ( $I^-$ ) dan triiodide ( $I_3^-$ ). Triiodide akan menerima elektron dari rangkaian eksternal dengan bantuan karbon pada *counter* elektroda yang berperan sebagai katalis. Elektron yang sebelumnya telah tereksitasi akan masuk kembali ke dalam sel. Dengan bantuan karbon, elektron dapat bereaksi dengan elektrolit, sehingga terjadi penambahan ion iodida pada elektrolit (reaksi oksidasi).

Iodida akan berperan untuk mendonor elektron yang membawa energi ke *dye* yang teroksidasi. Elektrolit kemudian akan menyediakan elektron pengganti untuk molekul *dye* yang teroksidasi sehingga *dye* kembali ke keadaan semula (reaksi oksidasi). Inilah keadaan dimana terjadi siklus perpindahan elektron, yang kemudian dari siklus ini akan terjadi konversi cahaya matahari menjadi listrik.

#### 1.2.2.4 Komponen DSSC

##### 1.2.2.4.1 Substrat Kaca Konduktif

Substrat kaca konduktif *Transparent Conductive Oxide* (TCO) berperan sebagai media untuk menyiapkan elektroda kerja dan *counter* elektroda. Dari berbagai jenis kaca TCO yang dikembangkan, *Indium Tin Oxide* (ITO) dan *Fluorine Tin Oxide* (FTO) memiliki performa yang terbaik. Jika dibandingkan, FTO memiliki tingkat konduktivitas listrik yang lebih rendah dibandingkan ITO. Meskipun demikian, FTO juga memiliki kelebihan pada biayanya yang murah dan tahan terhadap suhu panas (hingga suhu  $550^\circ\text{C}$ ) (Kishore Kumar et al., 2020).

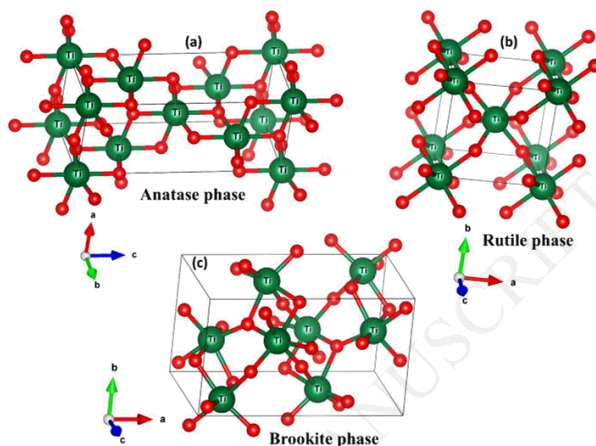
##### 1.2.2.4.2 Lapisan Semikonduktor

Dalam fabrikasi fotoanoda, digunakan semikonduktor oksida dengan *bandgap* lebar (3 eV), karena hal ini dapat memperbanyak elektron yang mengalir dari pita konduksi ke pita valensi. Oksida ini juga mampu menyerap sebagian sinar matahari yang datang, stabil terhadap photo-korosi, dan eksitasi optik yang melewati *bandgap*. Material semikonduktor yang umum digunakan untuk DSSC ialah *metal oxide*, seperti  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ , dan  $\text{SnO}_2$  (Kishore Kumar et al., 2020), (Menon et al., 2019).

$\text{TiO}_2$  merupakan salah satu bahan semikonduktor yang banyak diteliti dan diaplikasikan untuk DSSC karena biaya yang diperlukan cukup rendah, tidak beracun, mudah didapatkan, serta stabil dalam kondisi operasi yang ekstrim (menghasilkan nilai tertinggi untuk arus *short-circuit* dan tegangan *open-circuit*).  $\text{TiO}_2$  memiliki energi *bandgap* yang berada di antara 3,0 – 3,3 eV. Sel surya  $\text{TiO}_2$  dan sel surya p-n junction memiliki perbedaan pada proses penangkapan cahaya. Pada sel surya  $\text{TiO}_2$ , lapisan penangkap energi foton dipisahkan oleh lapisan pembawa elektron. Proses terjadinya eksitasi elektron terjadi pada lapisan penyerap foton, lalu masuk ke lapisan pembawa electron (Rais & Warti, 2022).

Kinerja dari  $\text{TiO}_2$  sebagai semikonduktor bergantung pada morfologi, sifat kristal, serta fasenya. Pada umumnya, nanokristalin  $\text{TiO}_2$  memiliki tiga fasa yang berbeda, dengan struktur kristalnya yang terdiri dari oktahedral  $\text{TiO}_6$  yang terdistorsi dengan orientasi. Fase rutil terdiri dari struktur tetragonal dengan dua sisi yang berlawanan dengan setiap oktahedron telah bergabung untuk membuat rantai linier melalui arah (001) dan rantai  $\text{TiO}_6$  digabungkan oleh sudut. Fase anatase memiliki

pembagian empat sisi per oktahedron. Fase brookite memiliki struktur ortorombik, dengan tiga sisi yang dibagi oleh oktahedra, dan fitur utamanya adalah rantai berbagai tepi (Suresh et al., 2023).



**Gambar 2.** Struktur kristal TiO<sub>2</sub> (a) Fase anatase, (b) Fase rutil, (c) Fase brokit (Omar et al., 2020)

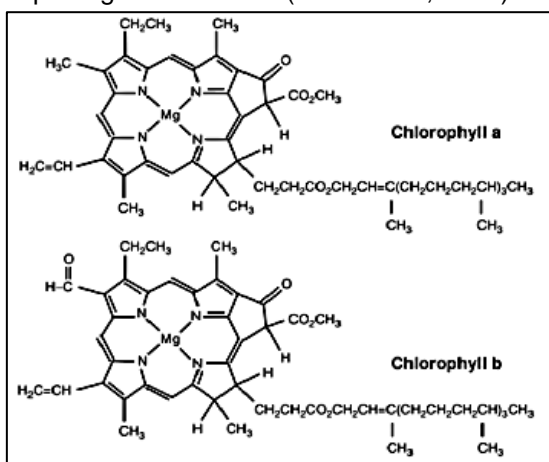
#### 1.2.2.4.3 Lapisan Dye

Zat pewarna pada dye berperan sebagai penangkap energi foton dari cahaya matahari. Berdasarkan strukturnya, sensitizer dapat dibagi menjadi pewarna anorganik, seperti kompleks logam polipiridil dari ruthenium, dan pewarna organik yang berupa pewarna natural dan sintetis. Pewarna anorganik ruthenium polipiridil sudah banyak diterapkan penggunaannya pada DSSC dengan hasil efisiensi yang tinggi, yaitu hingga 11-13%. Akan tetapi, bahan ini mahal, susah didapat, dan masih harus dipertimbangkan dampaknya terhadap lingkungan (Adedokun et al., 2018).

Jika keduanya dibandingkan, molekul pewarna anorganik memiliki beberapa kelebihan, antara lain tingkat absorbansi yang lebih tinggi, penyerapan spektrum matahari yang luas, cepat dalam proses injeksi dan transfer elektron, serta stabilitas yang lebih tinggi. Di sisi lain, molekul pewarna organik juga dianggap sebagai zat pewarna yang efisien, dengan tingkat koefisien ekstensinya yang tinggi, kemampuan transport *hole* yang baik, memiliki sifat toksisitas yang rendah, serta mudah dalam melakukan proses sintesis. Akan tetapi, pada jenis molekul pewarna alami ditunjukkan bahwa absorbansi dan transfer elektronnya rendah, serta stabilitas yang kurang. Meskipun demikian, molekul pewarna alami gampang didapat, yang pada umumnya merupakan ekstrak dari bahan alami, seperti daun, bunga, buah, dan sebagainya. Pewarna organik juga tidak membutuhkan biaya yang mahal, tersedia secara meluas, ramah lingkungan, mudah terurai, dan tentunya tidak beracun. Pewarna organik yang biasanya digunakan antara lain klorofil, antosianin, kurkumin, betasianin, dan karoten (F. Kabir et al., 2019).

Klorofil merupakan pigmen warna hijau yang dapat ditemukan pada daun hijau, alga, ataupun *cyanobacteria*. Pigmen warna klorofil yang paling sering ditemukan ialah klorofil-a dan klorofil-b. kandungan klorofil pada tiap jenis tanaman

berbeda-beda, tetapi paling umum ialah kandungan klorofil-a lebih banyak dari pada klorofil-b dengan perbandingan 3:1 (Alif et al., 2023). Karena kemampuannya yang mampu menyerap cahaya merah dan biru, dengan penyerapan maksimum pada 670 nm, klorofil kemudian dipertimbangkan untuk digunakan sebagai sensitizer dalam DSSC. Selain itu, struktur elektronik pada pigmen klorofil juga memungkinkan terjadinya interaksi dengan cahaya matahari, yang kemudian menangkap energi foton, pada akhirnya dapat meningkatkan kinerja DSSC. Struktur kimia dari kedua pigmen dapat dilihat pada gambar berikut (Omar et al., 2020).



**Gambar 3.** Struktur Pigmen Klorofil-a dan Klorofil-b (Omar et al., 2020)

#### 1.2.2.4.4 Elektrolit

Elektrolit dalam DSSC berperan dalam regenerasi elektron pada *dye* setelah terjadi proses injeksi elektron, dan memastikan transfer muatan yang baik. Bahan elektrolit harus memiliki stabilitas yang tinggi, potensi redoks yang sesuai dengan tingkat *Highest Occupied Molecular Orbital* (HOMO) sensitizer, serta memiliki sifat korosif yang rendah. Bahan elektrolit yang sering digunakan pada umumnya merupakan pasangan redoks iodin ( $I^-$ ) dan triiodida ( $I_3^-$ ). Pasangan redoks ini memiliki beberapa kelebihan, seperti regenerasi warna yang cepat dan mobilitas pengisian daya. Selain itu, iodin, yang juga merupakan anion kecil, dianggap dapat melekat pada struktur mesopori pada elektroda kerja (Mariotti et al., 2020).

#### 1.2.2.4.5 Counter Elektroda

*Counter* elektroda yang dilapiskan pada permukaan substrat TCO pada DSSC berperan sebagai katalis. Katalis ini berperan memastikan aktivitas elektron katalitik terhadap reduksi triiodida dan transfer elektron pada katoda. Agar dapat digunakan sebagai *counter* elektroda, bahan yang digunakan ialah bahan yang memiliki resistansi transfer elektron yang rendah, densitas arus pertukaran elektron yang tinggi (pada tahap reduksi elektrolit), serta aktivitas katalitik yang tinggi (Semalti & Sharma, 2019).

Bahan yang umum digunakan sebagai *counter* elektroda adalah platinum dan material yang berbahan dasar karbon, dengan platinum yang memiliki performa terbaik dan konduktivitasnya tinggi. Akan tetapi biaya yang diperlukan untuk

menggunakan platina cukup tinggi, sehingga hal ini merupakan kelemahan dari penggunaan bahan tersebut. Grafit menjadi salah satu bahan alternatif yang dianggap dapat menggantikan peran platinum sebagai *counter* elektroda, dengan pertimbangan bahannya murah dan gampang ditemukan (Kishore Kumar et al., 2020).

### **1.3 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup pada penelitian ini dibatasi pada pemilihan *dye* dari tanaman yang mengandung klorofil, karakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis, *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), dan pengukuran efisiensi dari prototipe DSSC dengan variasi temperatur kalsinasi yang diuji menggunakan *Solar Simulator*.

### **1.4 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana membuat prototipe DSSC dengan *dye* klorofil daun pepaya?
2. Bagaimana nilai efisiensi dari prototipe DSSC dengan *dye* klorofil daun pepaya?
3. Bagaimana pengaruh dari variasi temperatur kalsinasi pada kinerja prototipe DSSC dengan *dye* klorofil daun pepaya?

### **1.5 Tujuan Penelitian**

1. Membuat prototipe DSSC dengan *dye* klorofil daun pepaya.
2. Menganalisis besar efisiensi yang dihasilkan dari prototipe DSSC dengan *dye* klorofil daun pepaya.
3. Menganalisis pengaruh dari variasi temperatur kalsinasi pada kinerja prototipe DSSC dengan *dye* klorofil daun pepaya.

## BAB II METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2023 sampai selesai di laboratorium Fisika Material dan Energi, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar.

### 2.2. Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan melakukan karakterisasi dan fabrikasi DSSC. Penelitian dimulai dengan mempersiapkan alat dan bahan sebagai berikut :

#### 2.2.1 Alat

Adapun alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- |                   |                             |
|-------------------|-----------------------------|
| 1. Gelas Kimia    | 9. Kabel penjepit           |
| 2. Mortar         | 10. <i>Furnace</i>          |
| 3. Spatula        | 11. <i>Spin Coater</i>      |
| 4. Kertas saring  | 12. Spektrofotometer UV-Vis |
| 5. Aluminium foil | 13. FTIR                    |
| 6. Pipet tetes    | 14. XRD                     |
| 7. Pensil 7B      | 15. <i>Solar Simulator</i>  |
| 8. Multimeter     |                             |

#### 2.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Daun Pepaya
2. Ethanol
3. Kaca FTO (*Fluorine Tin Oxide*)
4. Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ )
5. Kalium Iodida (KI)
6. Polyethylene Glycol (PEG)
7. Larutan Iodine ( $\text{I}_2$ )
8. Karbon (Pensil 7B)
9. Lilin

### 2.3. Prosedur Penelitian

#### 2.3.1. Persiapan Sampel

Persiapan ini meliputi mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian.

#### 2.3.2. Ekstraksi *Dye*

- 1) Membersihkan daun pepaya, kemudian dikeringkan pada suhu  $80^\circ\text{C}$  selama 5 jam
- 2) Daun pepaya yang sudah kering dihaluskan sampai menjadi bubuk dengan menggunakan mortar.

- 3) Bubuk *dye* dari daun pepaya dikarakterisasi dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk melihat gugus fungsional pada sampel.
- 4) Mencampurkan bubuk *dye* sebanyak 5 gram dengan pelarut ethanol sebanyak 50 ml kemudian dидiamkan di ruang gelap selama 48 jam pada suhu ruang (proses maserasi).
- 5) Setelah proses maserasi, larutan *dye* kemudian disaring menggunakan kertas saring.
- 6) Hasil dari saringan ditutup dengan rapat agar tidak terjadi evaporasi.
- 7) *Dye* kemudian diuji dengan Spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui kemampuan absorpsi dan panjang gelombang yang dihasilkan.

### **2.3.3. Preparasi Lapisan TiO<sub>2</sub>**

Sebelum pembuatan pasta, dilakukan karakterisasi bubuk TiO<sub>2</sub> menggunakan FTIR untuk mengetahui struktur molekul senyawa melalui identifikasi gugus fungsi penyusun senyawa. Setelah itu, TiO<sub>2</sub> sebanyak 1 gram dan 8 ml ethanol dicampurkan dan diaduk dengan *magnetic stirrer* pada temperatur 40°C selama 15 menit.

### **2.3.4. Deposisi Lapisan Oksida TiO<sub>2</sub>**

Sebelum melakukan proses deposisi, terlebih dahulu ditentukan bagian kaca FTO yang bersifat konduktif dengan menggunakan multimeter. Setelah itu, diberikan pembatas pada bagian luar kaca dengan selotip sehingga membentuk area kerja dengan luas 4 cm<sup>2</sup>. Selanjutnya, permukaan kaca diberikan lapisan TiO<sub>2</sub> dengan merata, kemudian diletakkan pada alat *spin coater* dengan posisi sisi konduktif menghadap ke atas. Mesin *spin coating* diputar dengan kecepatan 3000 rpm. Proses pelapisan dilakukan sebanyak 4 kali dengan durasi 15 detik tiap pelapisan, kemudian dидiamkan hingga pasta kering.

### **2.3.5. Proses Kalsinasi Lapisan Oksida TiO<sub>2</sub>**

Setelah lapisan oksida dideposisikan, maka selanjutnya akan dilakukan proses kalsinasi dengan menggunakan *furnace*. Proses ini dilakukan dengan variasi temperatur, yaitu 350°C, 450°C, dan 550°C dengan waktu masing-masing 30 menit, kemudian dидiamkan mendingin hingga mencapai suhu ruang sekitar 30°C.

### **2.3.6. Absorpsi Dye pada Lapisan TiO<sub>2</sub>**

Sampel yang telah dilapisi TiO<sub>2</sub> kemudian dimasukkan ke dalam larutan *dye* dengan posisi lapisan oksida menghadap ke atas dan direndam selama 48 jam hingga larutan *dye* menyerap ke dalam lapisan oksida. Sampel kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan XRD.

### **2.3.7. Preparasi Larutan Elektrolit**

Pembuatan larutan elektrolit dilakukan dengan mencampurkan 0,8 gram *Potassium Iodida* (KI) dengan 10 ml *Polyethylene Glycol* (PEG), kemudian diaduk. Setelah itu, ditambahkan 0,127 ml *Iodine* (I<sub>2</sub>) lalu diaduk selama 10 menit.

### **2.3.8. Pembuatan Counter Elektroda Karbon**

Pada sisi konduktif dari kaca FTO dilapisi dengan grafit pensil 7B dengan mengarsirnya dengan luas area arsiran 2x2 cm<sup>2</sup>. Kaca FTO yang sudah diarsir lalu diasapi dengan lilin, setelah itu disintering dengan suhu 450°C selama 10 menit.

### 2.3.9. Perakitan *Sandwich* DSSC

Kaca FTO yang telah dilapisi  $\text{TiO}_2$  dan *counter* elektroda disusun dengan kedua permukaan yang saling berhadapan sehingga membentuk struktur *sandwich*. Kedua sisi dari *sandwich* dijepit dengan penjepit kertas agar melekat dengan sempurna. Dari kedua ujung kaca kemudian ditetesi larutan elektrolit sebanyak 2-3 tetes hingga merata dan dibiarkan hingga larutan elektrolit terserap ke dalam lapisan oksida. Prototipe DSSC siap untuk diuji efisiensinya dengan menggunakan *Solar Simulator*.

### 2.3.10. Karakteristik dan Parameter Pengujian

Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi Spektrofotometer UV-Vis, X-Ray Diffraction (XRD), *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), dan pengujian tegangan dan arus pada prototipe DSSC dengan bantuan *Solar Simulator*.

Karakterisasi Spektrofotometer UV-Vis pada penelitian ini dilakukan untuk menganalisis rentang panjang gelombang absorbansi dari cahaya tampak pada larutan *dye* dari daun pepaya yang bertindak sebagai sensitizer pada prototipe DSSC.

Struktur kristal dari sampel  $\text{TiO}_2$  dikarakterisasi dengan menggunakan XRD. Hasil dari pengujian ini dapat digunakan untuk mengetahui ukuran kristal  $\text{TiO}_2$  dengan menggunakan perhitungan dengan persamaan Debye Scherrere berikut (Rais & Warti, 2022).

$$D = \frac{0,9\lambda}{\beta \cos(\theta)} \quad (1)$$

Keterangan :

D = ukuran kristal (nm)

$\lambda$  = panjang gelombang Cu-K $\alpha$  (0,154 nm)

$\beta$  = *FWHM* (*Full Width Half Maximum*/setengah lebar puncak tertinggi) (radian)

$\theta$  = sudut difraksi yang digunakan (radian)

Uji karakterisasi FTIR dilakukan untuk mengetahui ikatan kimia dari *dye* daun pepaya. Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi FTIR pada  $\text{TiO}_2$  dan *dye* daun pepaya dalam bentuk bubuk.

Kemampuan dari prototipe DSSC dalam mengonversi cahaya menjadi energi listrik dapat dilihat dari besar efisiensinya. Efisiensi dari DSSC dapat diketahui dengan melakukan perhitungan dari parameter yang didapat dari proses pengujian. Parameter yang digunakan dalam pengujian adalah besar arus (I) dan tegangan (V), yang dapat diperoleh dengan melakukan pengujian menggunakan *Solar Simulator*. Besar kuat arus dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$I = \frac{V}{R} \quad (2)$$

Keterangan :

I = arus (A)

V = tegangan (V)



R = hambatan ( $\Omega$ )

Dengan menggunakan data dari hasil pengujian yang dilakukan sebelumnya, besar efisiensi dari prototipe DSSC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Ammar et al., 2019; Devadiga et al., 2021a) :

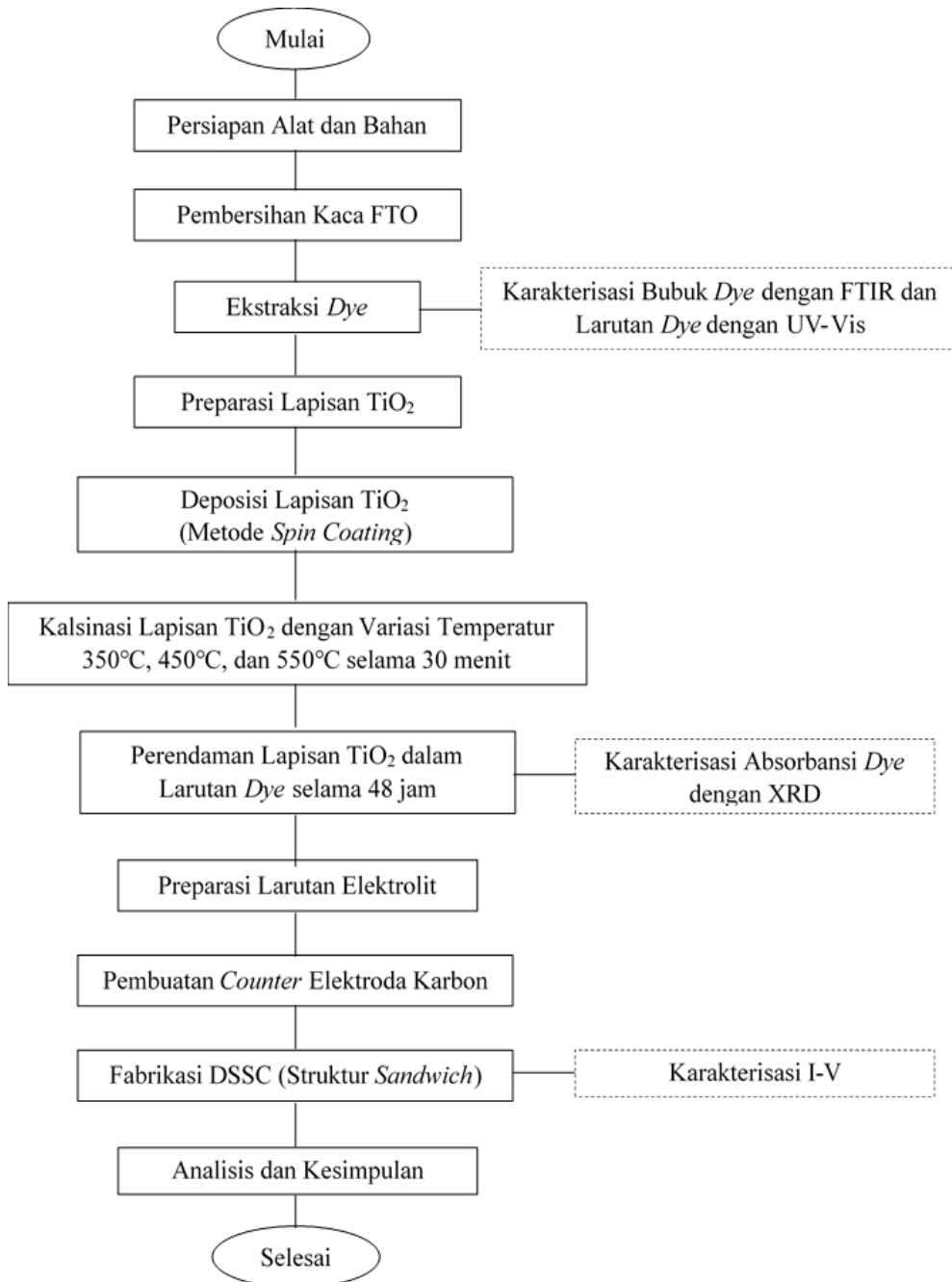
$$FF = \frac{V_{max} J_{max}}{V_{OC} J_{SC}} \quad (3)$$

$$\eta = \frac{V_{OC} J_{SC} FF}{P_{in}} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan :

$FF$	= <i>Fill Factor</i>
$V_{max}$	= tegangan maksimum (V)
$J_{max}$	= rapat arus maksimum ( $A/cm^2$ )
$V_{OC}$	= tegangan <i>open circuit</i> (V)
$J_{SC}$	= rapat arus <i>short circuit</i> ( $A/cm^2$ )
$\eta$	= efisiensi (%)
$P_{in}$	= daya yang masuk ke sel ( $W/cm^2$ )

## 2.4. Bagan Alir Penelitian



**Gambar 4.** Bagan Alir Penelitian