

**SKRIPSI**

**PEMBUATAN PROTOTIPE *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)  
MENGUNAKAN DYE BUAH NAGA (*Hylocereus costaricensis*) DAN  
BUNGA SAFFRON (*Crocus sativus*) DENGAN METODE COCKTAIL**



Disusun Oleh :

**WAHYU BUDIMAN**

**D211 15 322**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2022**

**SKRIPSI**

**PEMBUATAN PROTOTIPE *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)  
MENGUNAKAN DYE BUAH NAGA (*Hylocereus costaricensis*) DAN  
BUNGA SAFFRON (*Crocus sativus*) DENGAN METODE COCKTAIL**

**OLEH :**

**WAHYU BUDIMAN**

**D211 15 322**

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2022**

LEMBAR PENGESAHAN

PEMBUATAN PROTOTIPE *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)  
MENGUNAKAN DYE BUAH NAGA (*Hylocereus costaricensis*) DAN BUNGA  
SAFFRON (*Crocus sativus*) DENGAN METODE COCKTAIL

Disusun dan diajukan oleh

**WAHYU BUDIMAN**

**D211 15 322**

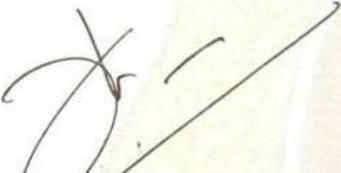
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian  
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

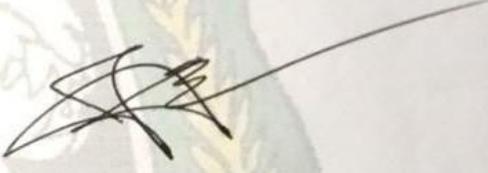
Pada tanggal 04 Agustus 2022

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

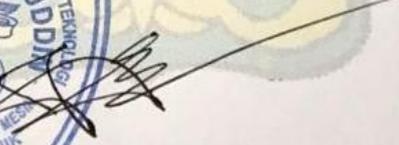
Dosen Pembimbing II

  
**Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D**  
NIP. 198401262012121002

  
**Dr. Eng. Jalaluddin, S.T., M.T.**  
NIP. 19720825 200003 1 001

Mengetahui,  
Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



  
**Dr. Eng. Jalaluddin, S.T., M.T.**  
NIP. 19720825 200003 1 001

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : WAHYU BUDIMAN

NIM : D211 15 322

PROGRAM STUDI : Teknik Mesin

JENJANG : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya berjudul

“Pembuatan Prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* (Dssc) Menggunakan Dye Buah Naga (*Hylocereus Costaricensis*) Dan Bunga Saffron (*Crocus Sativus*) Dengan Metode Cocktail”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa kripsi yang saya tulis benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Sebagian atau keseluruhan skripsi ini karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 24 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Wahyu Budiman

## ABSTRAK

DSSC merupakan salah satu pilihan energi alternatif yang berpotensi untuk dikembangkan dalam mengatasi krisis energi dunia. Telah dilakukan fabrikasi dan karakterisasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) hasil ekstraksi dye dari buah naga (*Hylocereus polyrhizus*), dye bunga saffron (*Crocus sativus*), dan campuran keduanya (Cocktail) dengan struktur sandwich menggunakan pasta TiO<sub>2</sub> yang dideposisi pada kaca konduktif dengan metode doctor blade. Penelitian dilakukan dengan variasi dye, dan variasi lama perendaman. kaca substrat yang telah dilapisi semikonduktor TiO<sub>2</sub> dengan lama perendaman 12 jam, 24 jam dan 48 jam. Pengujian dilakukan untuk mengukur tegangan dan arus dengan menggunakan multimeter dengan sumber cahaya lampu LED 20 Watt. Dari hasil pengujian diperoleh tegangan dan arus yang lebih tinggi dan stabil pada DSSC dengan dye cocktail 70:30 (Dye 17,5 ekstrak bunga saffron ditambahkan 7,5 ml ekstrak Buah Naga Merah) dari pada DSSC dengan dye cocktail 50:50 (Dye 12,5 ml ekstrak bunga saffron ditambahkan 12,5ml ekstrak Buah Naga Merah), dye cocktail 30:70 (Dye 7,5 ml ekstrak bunga saffron ditambahkan 17,5ml ekstrak buah naga merah), dye bunga saffron maupun dari pada DSSC dengan dye buah naga. Sedangkan pada variasi lama perendaman, tegangan dan arus yang dihasilkan oleh DSSC dengan lama perendaman 48 jam lebih tinggi dan stabil dari pada DSSC dengan lama perendaman 24 jam dan 12 jam.

**Kata Kunci** : *Sel Surya, Dye Sensitized Solar Cell (DSSC), Buah Naga Merah (Hylocereus Polyrhizus), Bunga Saffron Merah (Crocus Sativus), Dye Cocktail .*

## ABSTRACT

DSSC is an alternative energy option that has the potential to be developed in overcoming the world energy crisis. Fabrication and characterization of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) extracted from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*), saffron flower dye (*Crocus sativus*), and a mixture of the two (Cocktail) with a sandwich structure using TiO<sub>2</sub> paste deposited on conductive glass by the method doctor blades. The research was conducted with variations of dye, and variations of immersion time. glass substrate that has been coated with a TiO<sub>2</sub> semiconductor with immersion time of 12 hours, 24 hours and 48 hours. Tests were carried out to measure voltage and current using a multimeter with a 20 Watt LED light source. From the test results obtained higher and more stable voltage and current on DSSC with dye cocktail 70:30 (Dye 17.5 saffron flower extract added 7.5 ml of Red Dragon Fruit extract) than DSSC with dye cocktail 50:50 (Dye 12 ,5 ml of saffron flower extract added 12.5 ml of red dragon fruit extract), dye cocktail 30:70 (Dye 7.5 ml of saffron flower extract added 17.5 ml of red dragon fruit extract), saffron flower dye or from DSSC with dye Dragon fruit. Meanwhile, in the variation of immersion time, the voltage and current produced by DSSC with a duration of immersion of 48 hours were higher and more stable than DSSC with a duration of immersion of 24 hours and 12 hours.

Keywords: *Solar Cells, Dye Sensitized Solar Cell (DSSC), Red Dragon Fruit (Hylocereus Polyrhizus), Red Saffron Flower (Crocus Sativus), Dye Cocktail*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul **“PEMBUATAN PROTOTIPE *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC) MENGGUNAKAN DYE BUAH NAGA (*Hylocereus costaricensis*) DAN BUNGA SAFFRON (*Crocus sativus*) DENGAN METODE COCKTAIL”**.

Penyusunan Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Strata pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Meskipun banyak hambatan dan tantangan yang Penulis alami selama penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dan kerja sama berbagai pihak, akhirnya Penulis dapat mengatasi hambatan dan tantangan tersebut. Untuk semua itu, pada kesempatan ini Penulis dengan tulus mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibunda Hj. Hasmiyati H . dan Ayahanda Drs.H. Muslimin Datti serta saudara-saudari penulis: Haslinda Magfirah SARC dan Miftahul Jannah atas segala bantuan, bimbingan dan motivasi serta doa restu yang diberikan kepada penulis selama penyusunan skripsi.
2. Bapak Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D dan Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT sebagai Pembimbing I dan Pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, petunjuk dan saran selama Penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT dan Bapak Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu memberikan bimbingan, petunjuk dan saran sehingga Penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT sebagai Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta Staff Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemurahan yang diberikan.

5. Bapak dan Ibu dosen pengajar Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala ilmu yang telah diberikan.
6. Saudara seperjuangan HYDRAULIC 2015 yang telah banyak membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Pengurus HMM FT-UH Periode 2018 atas pengalaman dan kisahnya selama kepengurusan.
8. Saudara seperjuangan TEKNIK 2015 serta Pengurus Kabinet Perjuangan OKFT-UH Periode 2019 atas pengalaman dan kisah berkesannya.
9. Keluarga besar KOLABORASI KEMANUSIAAN yang telah memberi pengalaman yang berkesan tentang indahnya tolong-menolong.
10. Keluarga besar DMC IKATEK-UH yang telah memberi pengalaman yang berkesan untuk penulis.
11. Keluarga besar TIM JELAJAH MASJID NUSANTARA yang telah memberi pengalaman yang berkesan untuk penulis.
12. Teman-teman relawan lain nya atas pengalaman dan kisahnya selama menjalankan tugas kemanusiaan.
13. Kanda senior yang telah membimbing penulis hingga sampai saat ini

Makassar, 09 Agustus 2022

Wahyu Budiman

## DAFTAR ISI

<b>SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1.Latar Belakang .....	1
1.2.Rumusan Masalah .....	3
1.3.Tujuan Penelitian .....	3
1.4.Batasan Masalah .....	3
1.5.Manfaat Penelitian.....	4
1.5.1.Manfaat bagi Peneliti.....	4
1.5.2.Manfaat bagi Universitas.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1. Sel Surya .....	5
2.1.1. Struktur Umum Sel Surya.....	5
2.1.2. Klasifikasi Sel Surya.....	6
2.2. <i>Dye sensitized solar cell</i> (DSSC).....	7
2.3. Prinsip Kerja <i>Dye sensitized solar cell</i> (DSSC) .....	8
2.4. Struktur <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> .....	9
2.5. Komponen <i>Dye sensitized solar cell</i> (DSSC) .....	10
2.5.1. Substrat .....	10
2.5.2. Lapisan TiO <sub>2</sub> .....	10
2.5.3. Elektrolit.....	11
2.5.4. Zat Warna .....	11
2.5.5. Electroda Lawan.....	13

<b>BAB III METODELOGI PENELITIAN.....</b>	<b>14</b>
3.1. Waktu dan Tempat.....	14
3.2. Alat dan Bahan.....	14
3.2.1. Alat.....	14
3.2.2. Bahan.....	14
3.3. Diagram Alir Penelitian.....	15
3.4. Prosedur Penelitian.....	16
3.5. Pengujian karakteristik <i>I-V</i> DSSC.....	20
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>22</b>
4.1. Kaca Konduktif.....	22
4.2. Pelapisan elektroda $\text{TIO}_2$ .....	23
4.3. Ekstraksi Dye.....	24
4.3.1. Ekstraksi Dye Buah Naga Merah.....	25
4.3.2. Ekstraksi Dye Bunga Saffron.....	27
4.3.3. Ekstraksi Dye campuran buah naga dan bunga saffron (metode cocktail).....	28
4.4. hasil karakterisasi menggunakan UV-Vis.....	29
4.5. Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan .....	30
4.6. Analisa DSSC yang telah di buat.....	42
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>45</b>
5.1. Kesimpulan.....	45
5.2. Saran .....	46
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>47</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>50</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema representasi DSSC dan reaksi yang terjadi pada DSSC.....	8
Gambar 2.2. Struktur <i>dye sensitized solar cell</i> (DSSC).....	9
Gambar 3.1. Flow chat penelitian .....	15
Gambar 3.2. Struktur DSSC pada penelitian ini.....	19
Gambar 3.3. Skema pengujian <i>I-V</i> pada divais DSSC.....	20
Gambar 4.1. Pengukuran nilai resistansi pada kaca konduktif yang telah di sinterin.....	23
Gambar 4.2. (kiri) pembuatan batas pelapisan tio2 (kanan) proses pelapisan lapisan tipis tio2 dengan spatula .....	24
Gambar 4.3. Penimbangan daging buah naga sebelum dicampurkan pelarut dan di Haluskan .....	25
Gambar 4.4. Proses penyaringan ekstrak dengan menggunakan kertas saring.....	26
Gambar 4.5. Perendaman kaca yang telah dilapisi tio2 pada dye daging buah naga+alkohol.....	26
Gambar 4.6. Penimbangan putik bunga saffron sebelum di campurkan pelarut dan dihaluskan .....	27
Gambar 4.7. (kiri) proses penyaringan ekstraknbunga saffron dengan menggunakan kertas saring (kanan) perendaman kaca yang telah di lapisi tio2 pada dye bunga saffron + alkohol.....	27
Gambar 4.8. Perendaman perendaman kaca yang telah di lapisi tio2 pada dye bunga saffron + alkohol.....	28
Gambar 4.9. Hasil karakterisasi UV-Vis dengan menggunakan <i>dye</i> buah naga dan <i>dye</i> bunga saffron.....	29
Gambar 4.10. . Hasil karakterisasi UV-Vis dengan menggunakan <i>dye Cocktail</i> ....	29
Gambar 4.11. Grafik lama perendaman terhadap tegangan dengan menggunakan dye buah naga.....	35
Gambar 4.12. Grafik lama perendaman terhadap arus dengan menggunakan dye buah naga.....	35
Gambar 4.13. Grafik lama perendaman terhadap tegangan dengan menggunakan dye bunga saffron.....	35
Gambar 4.14. . Grafik lama perendaman terhadap arus dengan menggunakan dye bunga saffron.....	36

Gambar 4.15. Grafik lama perendaman terhadap tegangan dengan menggunakan variasi campuran cocktail.....	36
Gambar 4.16. Grafik lama perendaman terhadap arus dengan menggunakan variasi campuran cocktail.....	36
Gambar 4.17. Grafik I-V hasil pengujian dengan menggunakan dye buah naga, bunga saffron dan variasi Coktail antara keduanya.....	37

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat beberapa jenis bahan ITO dan FTO.....	10
Tabel 4.1. Hasil pengujian dengan menggunakan hasil ekstraksi Buah Naga + alkohol sebagai dye dengan variasi lama perendaman .....	33
Tabel 4.2. Hasil pengujian dengan menggunakan hasil ekstraksi bunga saffron + alkohol sebagai dye dengan variasi lama perendaman .....	33
Tabel 4.3. Hasil pengujian dengan menggunakan hasil ekstraksi Buah Naga dan bunga saffron + alkohol sebagai dye dengan variasi lama perendaman dan variasi campuran cocktail. ....	33

## DAFTAR ISTILAH

AZO	: Aluminum-doped zinc oxide
DSSC	: Dye Sensitized Solar Cell
FF	: Fill Factor
FTO	: Fluoro-doped tin oxide
HEC	: Hidroxy Ethyl Cellulose
HOMO	: High Occupied Molecular Orbital
Isc	: Short Circuit Current
ITO	: Indium-doped tin oxide
LUMO	: Low Unoccupied Molecular Orbital
MPO	: Micro-Plasma Oxidation
MPP	: Maximum Power Point
TCO	: Transparant Conductive Oxide
Voc	: Open Circuit Voltage
SnCl <sub>2</sub>	: Stannous Chloride
TiO <sub>2</sub>	: Titanium Dioksida

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan dasar manusia yang terus meningkat sejalan dengan tingkat kehidupannya. Bahan bakar minyak (BBM) memegang posisi yang sangat dominan dalam pemenuhan kebutuhan energi nasional. Komposisi konsumsi energi nasional saat ini adalah BBM : 52,50%; gas: 19,04%; batubara: 21,52%; air:3,73%; panas bumi: 3,01%; dan energi baru: 0,2%. Kondisi demikian terjadi sebagai akibat dari kebijakan subsidi masa lalu terhadap bahan bakar minyak dalam upaya memacu percepatan pertumbuhan ekonomi (Kholiq, 2012).

Kondisi keterbatasan sumber energi di alam disebabkan semakin meningkatnya kebutuhan energi dari tahun ketahun serta tuntutan untuk melindungi bumi dari pemanasan global dan polusi lingkungan membuat tuntutan untuk segera mewujudkan teknologi energi terbarukan, yang mempunyai peran penting dalam memenuhi kebutuhan energi. Maka dari itu muncul pemikiran untuk mengalihkan sistem pembangkitan yang berasal dari energi tak terbarukan menuju pembangkit energi listrik dengan memanfaatkan sumber-sumber energi terbarukan (*renewable energy*).

Konsumsi listrik di seluruh dunia diperkirakan mencapai 19,1 triliun KWh pada tahun 2008 dan diperkirakan akan meningkat menjadi 35,2 triliun KWh pada tahun 2035.(Al-Alwani et al., 2016) Indonesia memiliki banyak potensi energi terbarukan, salah satunya adalah memanfaatkan energi matahari yang kontinu, dan melimpah karena secara geografis dilalui oleh garis khatulistiwa dan menerima panas matahari lebih banyak daripada negara lain, yaitu 4800 watt/m<sup>2</sup> per hari (Zahrok et al., 2015).

Indonesia merupakan negara yang beriklim tropis yang hampir sepanjang tahun mendapat sinar radiasi matahari sehingga sangat memungkinkan penggunaan energi matahari sebagai energi alternatif. DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) atau disebut pula Bio sel surya berfungsi untuk mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. Kelebihan Bio sel

surya ini yaitu proses pembuatannya yang cukup sederhana, biayanya relatif murah, serta bahan dasarnya mudah diperoleh.

DSSC menggunakan dye sebagai material sensitizer yang dijadikan donor elektron pada partikel nano TiO<sub>2</sub> dan menggunakan elektrolit sebagai medium transport elektron. TiO<sub>2</sub> hanya mampu menyerap sinar ultraviolet (350-380 nm). Untuk meningkatkan serapan spektra TiO<sub>2</sub> di daerah tampak, dibutuhkan lapisan zat warna yang akan menyerap cahaya tampak. Zat warna tersebut berfungsi sebagai *sensitizer* (Maddu et al, 2009). Namun *dye sintesis* harganya cukup mahal dan proses pembuatannya cukup sulit. Oleh karena itu muncul alternatif penggunaan *dye* dari bahan alami yang umumnya mengandung senyawa antosianin, klorofil, betalain, dan karotenoid (Syafinar et al., 2015).

Pada penelitian sebelumnya dilakukan oleh Asri Novhandi (2018) dengan menggunakan hasil ekstraksi kulit dan daging buah naga merah sebagai *dye* dan menghasilkan efisiensi yang lebih baik pada penggunaan ekstraksi daging buah naga merah + alcohol sebagai *dye*.

Berdasarkan penelitian sebelumnya maka penelitian ini menggunakan *dye* alami pada DSSC yaitu ekstrak daging buah naga merah (*hylocereus costaricensis*) yang mengandung pigmen antosianin dan bunga saffron (*crocus sativus*) yang mengandung pigmen karotenoid dengan metode *cocktail dye sensitizer*.

*Cocktail dye sensitizer* digunakan sebagai metode untuk meningkatkan rentang penyerapan cahaya *dye* organik sehingga mampu meningkatkan efisiensi dari DSSC. Pengembangan DSSC menggunakan zat warna ekstrak buah naga merah dan bunga saffron menjadi pilihan yang cukup menjanjikan karena zat warna tersebut berfungsi sebagai penghantar elektron yang baik sehingga penggunaan zat warna sebagai *sensitizer* pada DSSC akan menjadi lebih murah.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dikemukakan, maka dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana unjuk kerja dari DSSC dengan menggunakan ekstrak buah naga, bunga saffron, dan campuran dari keduanya (metode *cocktail*)?
2. Bagaimana unjuk kerja dari DSSC akibat dari variasi lama perendaman *dye*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, maka tujuan penelitian dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis unjuk kerja dari DSSC dengan menggunakan ekstrak buah naga, bunga saffron, dan campuran dari keduanya (metode *cocktail*) sebagai *dye*.
2. Untuk menganalisis unjuk kerja dari DSSC akibat dari variasi lama perendaman *dye*.

## 1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini diberi batasan sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini bahan baku dari *dye* organik yang digunakan adalah ekstrak buah naga (*hylocereus costaricensis*), bunga saffron (*crocus sativus*), dan campuran dari keduanya.
2. Material semikonduktor yang digunakan pada penelitian ini adalah TiO<sub>2</sub> (titanium dioksida).
3. TiO<sub>2</sub> dilapiskan pada TCO (*transparent conductive oxides*) menggunakan metode *doctor blade* pada fabrikasi DSSC, selanjutnya dilakukan pengujian karakteristik *I-V* pada DSSC.
4. Variasi campuran ekstrak buah naga merah dan bunga saffron (metode *cocktail*) sebagai *dye*.
5. Variasi lama perendaman TCO yang telah dilapisi TiO<sub>2</sub> ke dalam cairan *dye* organik adalah 12 jam, 24 jam dan 48 jam.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini terbagi atas dua, yaitu:

### 1.5.1. Bagi peneliti

Memahami dan mengetahui manfaat ekstrak buah naga merah (*Hylocereus costaricensis*), bunga saffron (*Crocus sativus*), dan campuran dari keduanya sebagai *photosensitizer* pada DSSC. Teknologi pembuatan DSSC (*Dye-Sensitized Solar Cell*) yang dikembangkan penelitian ini bisa menjadi studi awal untuk penelitian lebih lanjut sehingga menghasilkan sel surya yang mempunyai performansi lebih baik.

### 1.5.2. Bagi Universitas

Manfaat bagi universitas adalah sebagai bahan informasi dan pengembangan bagi peneliti berikutnya.

1. Mengetahui pembuatan DSSC sebagai sarana pemanfaatan energi dari sinar matahari.
2. Memberikan informasi tentang karakteristik zat warna ekstrak buah naga merah (*Hylocereus costaricensis*) yang mengandung antosianin, bunga saffron (*Crocus sativus*) yang mengandung karotenoid, dan campuran dari keduanya, serta kaitannya dengan unjuk kerja
3. Memberikan informasi tentang nilai efisiensi zat warna ekstrak buah naga merah (*Hylocereus costaricensis*), bunga saffron (*Crocus sativus*), dan campuran dari keduanya, sebagai bahan pewarna DSSC.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Sel Surya**

Energi merupakan kebutuhan yang penting bagi kelangsungan hidup manusia. Ketergantungan pada energi fosil menyebabkan persediaan sumber ini menjadi semakin tipis. Sinar matahari merupakan salah satu sumber energi alternatif yang sangat berpotensi di Indonesia (Ardianto et al, 2015).

Sel surya telah berkembang sejak 1840-an, bahkan efek photovoltaik yang menjadi dasar dari sistem kerja sel surya telah ditemukan pada tahun 1839 oleh Becquerel. Teknologi ini kini kian berkembang karena memiliki keunggulan dibandingkan penghasil energi listrik yang sudah ada. Sel surya merupakan salah satu perangkat yang dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Sel surya terdiri dari tiga jenis yaitu silikon solar sel, polimer solar sel, dan *dye sensitized solar cell* (DSSC) (Dwioknain et al, 2019).

Sel surya dapat tereksitasi karena terbuat dari material semikonduktor yang mengandung unsur silikon. Silikon ini terdiri atas dua jenis lapisan sensitif: lapisan negatif (tipe-n) dan lapisan positif (tipe-p), *multicrystalline silicon* adalah bahan yang paling dominan dipakai dalam industri *solar cell*. *Multicrystalline* dan *monocrystalline silicon* menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dari *amorphous silicon* (Safrizal, 2017).

##### **2.1.1. Struktur Sel Surya**

Sesuai dengan perkembangan sains dan teknologi, jenis-jenis teknologi sel surya pun berkembang dengan berbagai inovasi. Ada yang disebut sel surya generasi satu, dua, tiga dan empat, dengan struktur atau bagian-bagian penyusun sel yang berbeda pula. Substrat adalah material yang menopang seluruh komponen sel surya. Material substrat juga harus mempunyai konduktifitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif sel surya, sehingga umumnya digunakan material metal atau logam seperti

aluminium atau molybdenum. Untuk sel surya *dye-sensitized* (DSSC) dan sel surya organik, substrat juga berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya sehingga material yang digunakan yaitu material yang konduktif tapi juga transparan seperti *indium tin oxide* (ITO) dan *flourine doped tin oxide* (FTO) (Aryzal et al, 2017).

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari sel surya yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk sel surya generasi pertama (silikon), dan 1-3 mikrometer untuk sel surya lapisan tipis. Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari. Sel surya lapisan tipis, material semikonduktor yang umum digunakan dan telah masuk pasaran yaitu contohnya material  $\text{Cu(In,Ga)(S,Se)}_2$  (CIGS), CdTe (kadmium telluride), dan amorphous silikon, disamping material-material semikonduktor potensial lain yang dalam sedang dalam penelitian intensif seperti  $\text{Cu}_2\text{ZnSn(S,Se)}_4$  (CZTS) dan  $\text{Cu}_2\text{O}$  (copper oxide). Bagian semikonduktor tersebut terdiri dari junction atau gabungan dari dua material semikonduktor yaitu semikonduktor tipe-p (material-material yang disebutkan diatas) dan tipe-n (silikon tipe-n, CdS,dll) yang membentuk p-n junction. P-n junction ini menjadi kunci dari prinsip kerja sel surya (Aryzal et al, 2017).

### 2.1.2. Klasifikasi Sel Surya

Berdasarkan perkembangannya sel surya (*solar cell*) dibedakan atas tiga generasi. Sel surya yang pertama kali ditemukan adalah sel surya dengan bahan silikon kristal tunggal. Sel surya dengan silikon ini, memiliki efisiensi yang sangat tinggi. Namun teknologinya sangat mahal sehingga tidak efisien sebagai sumber energi alternatif (Hardian et al , 2010:7).

Setelah generasi pertama, muncul teknologi sel surya generasi kedua yaitu sel surya dengan lapisan tipis (*thin film*). Sel surya ini menghasilkan efisiensi yang lebih rendah dari sel surya silikon. Generasi ketiga dari sel surya adalah teknologi yang berasal dari bahan polimer yaitu sel surya organik atau dye sensitized solar cells

(DSSC) serta sel surya foto elektrokimia (Hardian et al, 2010:7). Namun secara umum, Sel surya dapat dikategorikan berdasarkan bahan penyusun sel surya yaitu sel surya tipe anorganik (konvensional) dan organik.

## **2.2. *Dye sensitized solar cell (DSSC)***

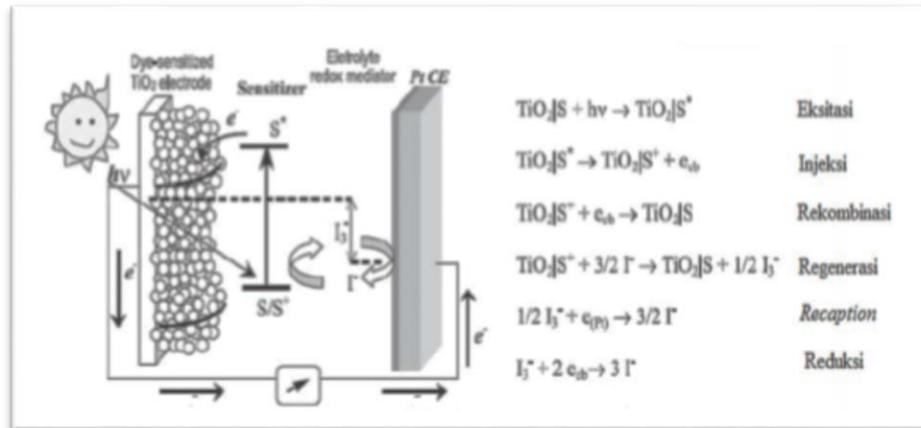
Seiring perkembangan teknologi muncul *Dye sensitized solar cell* (DSSC) ini merupakan sel surya generasi ketiga yang dikembangkan pertama kali oleh Professor Michael Gratzel pada tahun 1991 dan berfungsi untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik (Ardianto et al, 2015).

DSSC ini terinspirasi dari interaksi tanaman dengan sinar matahari. DSSC mengkonversi cahaya tampak menjadi listrik dengan menggunakan sistem fotoelektrokimia. DSSC terdiri atas fotoanoda dari kaca TCO (*Transparent Conductive Oxide*), dye alami sebagai donor elektron, dan elektrolit sebagai transfer elektron dengan substrat ITO (*Indium tin oxide*) yang dilapisi semikonduktor seperti TiO<sub>2</sub>, ZnO, SnO<sub>2</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dengan berbagai metode seperti doctor blade, screen printing, elektroposisi, dan spin coating (Dwioknain et al, 2019).

DSSC tersusun atas elektroda kerja anoda (semikonduktor TiO<sub>2</sub> - zat warna) dan elektroda lawan (karbon) katoda sebagai katalis yang keduanya dilapiskan pada kaca konduksi. Kaca konduksi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan kaca LCD (*Liquid crystal Display*) karena kaca LCD terdapat lapisan TCO yang mempunyai sifat berpenghantar sehingga dapat digunakan dalam pembuatan DSSC. Alasan menggunakan kaca LCD karena harganya yang relatif mahal. Elektrolit yang digunakan redoks biasanya berupa pasangan iodide dan triiodide (I<sup>-</sup>/I<sub>3</sub><sup>-</sup>) yang bertindak sebagai mediator redoks sehingga dapat menghasilkan proses siklus di dalam sel (Pangestuti et al, 2008).

### 2.3. Prinsip Kerja *Dye sensitized solar cell* (DSSC)

Prinsip kerja dari DSSC, pada dasarnya merupakan reaksi dari transfer elektron, meliputi (Kumara, 2012) :



**Gambar 2.1** Skema Representasi DSSC dan reaksi yang terjadi pada DSSC

*Sumber : Dahlan, 2016*

1. Ketika foton dari sinar matahari menimpa elektroda kerja pada DSSC, energi foton tersebut diserap oleh larutan dye yang melekat pada permukaan partikel TiO<sub>2</sub>. Sehingga elektron dari dye mendapatkan energi untuk dapat tereksitasi (D\*).



2. Elektron yang tereksitasi dari molekul dye tersebut akan diinjeksikan ke pita konduksi TiO<sub>2</sub> yang bertindak sebagai akseptor/kolektor elektron. Molekul dye yang ditinggalkan kemudian dalam keadaan teroksidasi (D<sup>+</sup>).



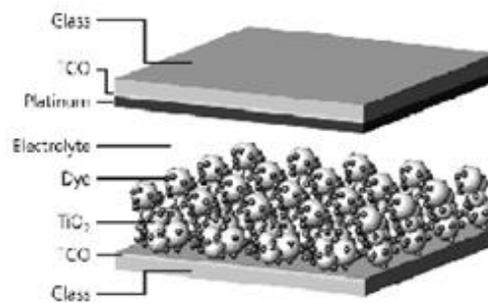
3. Selanjutnya akan ditransfer melewati rangkaian luar menuju elektroda pembanding (elektroda karbon).
4. Elektrolit redoks biasanya berupa pasangan iodine dan triiodide I<sup>-</sup>/I<sub>3</sub><sup>-</sup> yang bertindak sebagai mediator elektron sehingga dapat menghasilkan proses siklus dalam sel. Triiodida dari elektrolit yang terbentuk akan menangkap elektron yang berasal dari rangkaian luar dengan bantuan molekul karbon sebagai katalis.

5. Elektron yang tereksitasi masuk kembali ke dalam sel dan bereaksi dengan elektrolit menuju *dye* teroksidasi. Sehingga *dye* kembali ke keadaan awal dengan persamaan reaksi:



Tegangan yang dihasilkan oleh DSSC berasal dari perbedaan tingkat energi konduksi elektroda semikonduktor (TiO<sub>2</sub>) dan potensial elektrokimia pasangan kopel redoks (I<sup>-</sup>/I<sub>3</sub><sup>-</sup>). Sedangkan arus yang dihasilkan oleh DSSC berkaitan dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi dan intensitas penyinaran serta kinerja *dye* yang digunakan (Adhitya et al, 2013).

#### 2.4. Struktur *Dye sensitized solar cell* (DSSC)



**Gambar 2.2** Struktur *Dye sensitized solar cell* (DSSC)

Struktur DSSC berbentuk struktur sandwich. Dimana dua elektrode yaitu elektrode TiO<sub>2</sub> tersensitasi *dye* dan elektrode counter mengapit elektrolit. Elektrode kerja pada DSSC merupakan kaca *transparent conductive oxide* (TCO) yang dilapisi TiO<sub>2</sub> tersensitasi *dye*. TiO<sub>2</sub> berfungsi sebagai collector elektron sehingga dapat disebut semikonduktor tipe-n. Struktur nano pada TiO<sub>2</sub> memungkinkan *dye* yang terabsorpsi lebih banyak. Sehingga proses absorpsi cahaya menjadi lebih efisien. Pada elektrode pembanding dilapisi katalis berupa karbon untuk mempercepat reaksi redoks pada elektrolit. Pasangan redoks yang umumnya dipakai yaitu I<sup>-</sup>/I<sub>3</sub><sup>-</sup> (iodide/triiodide) (Adhitya et al, 2013).

## 2.5. Komponen *Dye sensitized solar cell* (DSSC)

Komponen-komponen yang terdapat pada rangkaian DSSC adalah sebagai berikut:

### 2.5.1. Substrat

Di bagian depan DSSC terdapat lapisan substrat kaca, yang di atasnya menutupi lapisan tipis berupa lapisan transparan. Lapisan ini sangat penting karena memungkinkan sinar matahari masuk sel saat melakukan pembawa elektron ke sirkuit luar. Lapisan luar atau substrat yang sering digunakan adalah TCO (*Transparent Conductive Oxide*). Material yang dipakai pada umumnya adalah *F-doped* atau *In-doped tin oxide* (FTO atau ITO) dan *Aluminum-doped zinc oxide* (AZO). (Yang Jiao, et al., 2012).

Tabel 2.1. Sifat beberapa jenis bahan ITO dan FTO. (Yang Jiao, et al., 2012).

Conductive Glass	Company	Light Transmittance	Conductive (Ohm/sq)	Thickness (mm)	Size (cm x cm)
ITO	Nanocs	>85%	5	1,1	1 x 3
ITO	PG&O	85%	4,5	1,1	2 x 3
FTO	NSG	>84%	< 7	3	100 x 100

### 2.5.2. Lapisan TiO<sub>2</sub>

TiO<sub>2</sub> merupakan bahan semikonduktor yang bersifat inert, stabil terhadap fotokorosi dan korosi oleh bahan kimia. Aplikasi TiO<sub>2</sub> sebagai semikonduktor telah banyak dilaporkan. Berbagai metode dilakukan dalam aplikasi pemanfaatan TiO<sub>2</sub> pada DSSC diantaranya dengan metode *Micro-Plasma Oxidation* (MPO), dengan metode sintesa sol-gel. (Saehana, S. (2012).

Lapisan TiO<sub>2</sub> memiliki bandgap yang tinggi (>3 eV) dan memiliki transmisi optik yang baik. Penggunaan TiO<sub>2</sub> diantaranya untuk manufaktur elemen optik. Selain itu TiO<sub>2</sub> berpotensi pada aplikasi divais elektronik seperti DSSC, sensor gas, dan lain-lainnya (Marchand, 2004).

TiO<sub>2</sub> dengan struktur nanopori yaitu ukuran pori dalam skala nano akan menaikkan kinerja sistem karena struktur nanopori mempunyai karakteristik luas permukaan yang tinggi sehingga akan menaikkan jumlah dye yang teradsorpsi yang implikasinya akan menaikkan jumlah cahaya yang terabsorpsi.

### **2.5.3. Elektrolit**

Elektrolit yang digunakan pada DSSC adalah pasangan redoks iod (I<sup>-</sup>) dan triiodida (I<sub>3</sub><sup>-</sup>) (Gratzel, 1998:752). Dalam proses redoks, elektrolit menghasilkan elektron dan melakukan proses siklus dalam sel (Gratzel, 1998:752) yang menggantikan elektrolit zat warna yang tereksitasi. Untuk mempercepat proses reaksi dalam sel digunakan katalis yaitu karbon (Prasetyo et al, 2014:47).

Prasetyo, dkk (2014:47) telah melakukan variasi elektrolit terhadap kinerja *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan menggunakan KI, NaI dan TEAI dan mencampurkan masing-masing elektrolit dengan I<sub>2</sub>. Berdasarkan nilai efisiensi, elektrolit KI lebih baik dibandingkan dengan elektrolit lainnya yaitu 0,057% sedangkan elektrolit NaI dan TEAI adalah 0,0014% dan 0,0006%.

### **2.5.4. Zat Warna (Dye)**

Komponen selanjutnya adalah zat warna. Material ini memberikan pengaruh pada semikonduktor terhadap cahaya. Di dalam proses DSSC, cahaya foton yang diserap oleh zat warna akan mengalami eksitasi elektron. Proses ini memberikan energi kepada elektron untuk pindah menuju pita konduksi dari TiO<sub>2</sub>. Akibatnya elektron mengalir menuju elektroda, rangkaian listrik sampai ke counter elektroda. Elektrolit kemudian membawa elektron-elektron kembali ke zat warna yang berasal dari counter elektroda (Nuryadi, 2011:35).

DSSC pada umumnya menggunakan suatu zat warna buatan pada rangkaian sel surya. Salah satu dye yang disintesis dari campuran logam dan senyawa organik adalah N<sub>3</sub> rutenium

complex. Zat warna ini telah diaplikasikan pada DSSC dan diketahui memiliki efisiensi yang sangat tinggi (Gratzel, 2003:148).

Zat warna alami dapat digunakan sebagai fotonsitizer pada DSSC, tetapi efisiensinya masih lebih rendah dibandingkan zat warna sintesis. Zat warna alami diperoleh dari ekstrak bagian-bagian tumbuhan seperti daun, batang atau bunga. Zat warna alami memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dye sintesis seperti tidak beracun atau berbahaya, lebih murah dan ramah lingkungan (Hug et al, 2014:224) sehingga berpotensi sebagai bahan zat warna alternatif.

Pewarna alami sangat melimpah dan dapat ditemukan pada beberapa buah, tanaman, bunga dan daun yang menampilkan berbagai warna dan mengandung beberapa pigmen, seperti flavonoid, antosianin, karotenoid, klorofil dan betalain yang bisa diekstraksi kemudian digunakan sebagai penyensitif pada DSSC (Al-Alwani et al, 2016).

## **1. Antosianin**

Antosianin (bahasa Inggris: *anthocyanin*, dari gabungan kata Yunani : *anthos* = "bunga", dan *cyanos* = "biru") adalah pigmen larut air yang secara alami terdapat pada berbagai jenis tumbuhan. Sesuai namanya, pigmen ini memberikan warna pada bunga, buah, dan daun tumbuhan hijau, dan telah banyak digunakan sebagai pewarna alami pada berbagai produk pangan dan berbagai aplikasi lainnya.

Senyawa antosianin yang merupakan golongan *flavonoid* termasuk senyawa yang bersifat polar sehingga dapat diekstraksi menggunakan pelarut polar seperti etanol, air, dan etil asetat (Moulana et al., 2012: 23). Spektrum serapan ekstrak antosianin dengan 22 warna pita serapan biru sampai kuning bernilai 450-470 nm dan untuk spektrum serapan pita hijau hingga merah bernilai 500-560 nm dan pada daerah spektrum ungu memiliki nilai serapan 400-430 nm (Maddu, dkk., 2007: 27).

## 2. Karotenoid

Karotenoid merupakan salah satu turunan dari terpenoid yang memiliki sifat khusus serta bertindak sebagai pigmen pada tumbuhan. Sifat khasnya berupa *hidrofobik* yang hanya larut pada lemak. Karotenoid dapat juga didapatkan dari ganggang, jamur, ragi dan bakteri (Ilyas, 2013: 40). Peran utama dari senyawa ini ialah untuk melindungi jaringan fotosintesis dari fotooksida. Salah satu turunan dari karotenoid yaitu  $\beta$ -karoten, yang mana memiliki nilai spektrum panjang gelombang berkisar 500-550 nm (Samson et al, 2013: 19).

### 2.5.5. Elektroda Lawan

Di bagian belakang DSSC ada substrat gelas lain yang dilapisi lapisan tipis. Elektroda lawan merupakan substrat kaca FTO yang dilapisi oleh katalis. Katalis dibuat dari bahan yang berfungsi mempercepat kinetika reaksi kimia dalam proses reduksi triiodid pada substrat FTO. Beberapa bahan dan metode yang dapat digunakan dalam pendeposisian ke FTO. Salah satu bahan yang dapat diseposisikan pada FTO adalah serbuk Platina. Pt (Platina) digunakan sebagai katalis untuk meregenerasi I<sup>-</sup> dan sebagai bahan katoda. Pt (Platina) adalah bahan terbaik secara teknis untuk membuat perangkat yang efisien. Tapi mengingat tingginya biaya, katoda karbon sudah ada pengganti yang ideal, seperti karbon hitam, karbon nanotube dll. Metode yang dapat digunakan dalam pembuatan counter elektroda antara lain sputtering, spin coating, screen printing dan spray pyrolysis. (Yang Jiao, et al., 2012).

Pada tahun 2006, kelompok Grätzel menggunakan karbon hitam sebagai bahan elektroda kontra, dan mencapai efisiensi 9,1% yaitu 83% dari yang menggunakan Pt (Platina). Polimer juga bisa digunakan. Film polianilin pada baja tahan karat dengan elektrokimia dasar polimerisasi telah dipublikasi sebagai elektroda counter DSSC karena material Ini murah dan tidak rapuh (Ye, L et al, 2011)