

Skripsi Fisika

**PEMBUATAN PROTOTIPE *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)
MENGUNAKAN KLOROFIL DAUN JARAK DAN ANTOSIANIN
BUNGA KRISAN UNGU**

WILDA SATRIANI W.

H211 13 020



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

2017

LEMBAR PENGESAHAN

PEMBUATAN PROTOTIPE *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)

MENGGUNAKAN KLOOROFIL DAUN JARAK DAN ANTOSIANIN

BUNGA KRISAN UNGU

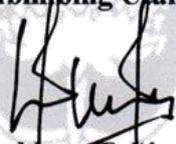
Oleh :

WILDA SATRIANI W.

H211 13 020

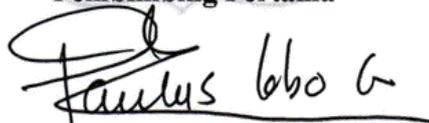
Disetujui oleh :

Pembimbing Utama


Prof. Dahlang Tahir, M.Si, Ph.D

NIP. 19750907 200003 1 006

Pembimbing Pertama



Dr. Paulus Lobo Gareso, M.Sc

NIP. 19650305 199103 1 008

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

2017

SARI BACAAN

Telah dilakukan pembuatan prototipe DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell) menggunakan daun jarak dan bunga krisan ungu sebagai dye. DSSC terdiri dari elektroda kerja dan elektroda lawan. Elektroda kerja terdiri dari substrat kaca konduktif, dilapisi dengan kaca konduktif tranparan oksida (TCO) dan nanopartikel semikonduktor TiO_2 yang telah dilapisi oleh molekul pewarna. Molekul pewarna berfungsi sebagai penangkap foton, sedangkan nanopartikel semikonduktor TiO_2 berfungsi menyerap dan meneruskan foton ke elektron. Elektroda lawan terdiri dari katalis karbon yang berfungsi untuk mempercepat reaksi proses reduksi triiodida pada TCO. DSSC menggunakan TiO_2 sebagai bahan semikonduktor dengan pewarna alami daun jarak dan bunga ungu telah berhasil dibuat. Karakterisasi sifat fisis elektroda kerja menggunakan XRD, sifat kimia bubuk TiO_2 dan bubuk dye menggunakan FTIR serta larutan dye menggunakan UV-Vis. Prototipe DSSC juga dilakukan pengujian I-V di bawah sinar matahari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi daya serap zat warna maka semakin tinggi tingkat efisiensi yang dihasilkan.

Kata kunci : Daun Jarak, Krisan Ungu, DSSC, dye

ABSTRACT

DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell) prototype has been performed using *Jatropha* leaves and purple *Chrysanthemum* as natural dyes. DSSC consists of working electrode and counter electrode. Electrodes are made of a conductive glass substrate, coated with transparent conductive oxide (TCO). Working electrode composed of semiconductor nanoparticles TiO_2 that has been coated by dye molecules. Dye molecules serve as light photon catchers, while semiconductor nanoparticles TiO_2 function to absorb and forward photons into electrons. In the electrode counter given catalyst carbon, serves to accelerate the reaction kinetics of triiodide reduction process on TCO. DSSC uses TiO_2 as a semiconductor material with natural dyes of *Jatropha* leaves and purple *Chrysanthemum* are successful made. The characterization of the physical properties of the working electrode using XRD and the chemical properties of TiO_2 powder and dye powder using FTIR and dye solution using UV-Vis. The resulted fabrications are also examined its *I-V* characteristics. The characterization results show that the higher the absorption power of the dye the more the resulting efficiency level.

Key word : Jatropha, purple chrysanthemum, DSSC, dye

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamin atas segala nikmat, iman, islam, serta kekuatan yang telah di berikan oleh Allah Subhanahu wa Ta'ala sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “Pembuatan Prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) Menggunakan Klorofil Daun Jarak dan Antosianin Bunga Krisan Ungu”. Serta shalawat dan salam untuk junjungan dan suri tauladan Rasulullah Shallallahu'alaihiwasallam beserta keluarga dan para sahabat beliau yang senantiasa menjunjung tinggi nilai-nilai islam yang hingga saat ini dapat dinikmati oleh seluruh umat manusia.

Laporan penelitian ini tidak akan selesai tanpa adanya berbagai pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini. Oleh karena itu, Penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kepada kedua orang tua penulis ayah **Wahyuddin** dan ibu **Mulyawati**, nenek **Mama Anni** dan **Mama Aji**, **Om Ari** serta keluarga besar penulis atas segala perhatian, dukungan, kasih sayang, dan doa demi kebaikan penulis.
2. **Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si, Ph.D**, selaku pembimbing utama yang telah memotivasi, membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
3. **Dr. Paulus Lobo Gareso, M.Sc**, selaku pembimbing pertama yang juga membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

4. **Pak Latif** dan **Pak Aji** yang telah membantu dalam kelancaran administrasi.
5. **Kak Tanto, pak Sugeng** dan **Ibu Kartini** yang telah membantu dalam melakukan karakterisasi.
6. Teman – teman SMA **Ida, Rina, Itti, Ikhe dan Ati** yang selalu bersama dan mendukung penulis sampai saat ini.
7. Ukhtifillah “**Perhiasan Terindah**” (**Zeni** dan **Ami**) atas segala kebersamaan dan waktu yang kalian berikan kepada penulis selama ini.
8. Teman – teman angkatan **Fisika 2013** yang telah mengajarkan penulis arti kekeluargaan, tanggung jawab, dan kepedulian.
9. Teman – teman material **Icha, Sultan, Nisa, Arni** yang telah berbagi lab dan kerjasamanya dalam penggunaan alat laboratorium.

Semoga Allah Subhanahu wa Ta’ala membalas kebaikan yang telah di berikan dengan kebaikan yang lebih baik. Aamiin. Penulis berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya.

Makassar, 14 Juni 2017

Wilda Satriani W.

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
SARI BACAAN	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Ruang Lingkup	2
I.3 Tujuan Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Sel Surya	4
II.2 Klasifikasi Sel Surya	5
II.2.1 Sel surya konvensional (<i>silicon based</i>)	5
II.2.2 <i>Dye-Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)	6
II.2.2.1 Prinsip Kerja DSSC	7
II.2.2.2 Struktur DSSC	8
II.2.2.3 Material DSSC.....	9
II.2.2.3.1 Substrat (Kaca ITO)	9

II.2.2.3.2 Semikonduktor TiO ₂	10
II.2.2.3.3 Dye	11
II.2.2.3.4 Elektrolit	11
II.2.2.3.5 <i>Counter Elektrode</i>	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
III.1 Tempat	13
III.2 Alat dan Bahan	13
III.2.1 Alat	13
III.2.2 Bahan	14
III.3 Prosedur Kerja	15
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
IV.1. Hasil pengujian XRD TiO ₂	21
IV. 2. Hasil pengujian FTIR	22
IV. 3. Hasil pengujian UV-Vis dye	24
IV. 4. Pengujian performansi DSSC	25
BAB V PENUTUP	27
V.1 Kesimpulan	27
V.2 Saran	28
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMPIRAN	33

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar II.1. Prinsip Kerja DSSC	7
Gambar II.2 Susunan Sandwich DSSC	9
Gambar II.3 Perbandingan Pita Energi Berbagai Fasa	10
Gambar III.1 Ilustrasi Sandwich DSSC	18
Gambar III.2. Skema pengujian tegangan pada DSSC	18
Gambar III.3 Cara menentukan FWHM	20
Gambar IV.1 Hasil XRD (a) TiO_2 (b) TiO_2 -Daun Jarak (c) TiO_2 -Bunga Krisan Ungu	22
Gambar IV.2 Hasil FTIR (a) TiO_2 (b) TiO_2 +Daun Jarak (c) TiO_2 +Bunga Krisan Ungu	23
Gambar IV.3 Hasil UV-Vis dye	25

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel IV.1. Intensitas puncak TiO ₂ dan dye	22
Tabel IV.2 Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus	25

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pertumbuhan ekonomi dunia, dihadapkan pada pertumbuhan akan energi yang semakin meningkat memenuhi pertumbuhan ekonomi serta kebutuhan manusia. Namun, mayoritas pasokan energi tersebut masih tergantung pada bahan bakar fosil, yakni batubara, minyak bumi, dan gas^[1].

Berdasarkan peraturan presiden RI No.5/2006 tentang kebijakan Energi Nasional, tercantum target peningkatan energi terbarukan sebanyak 5%. Oleh sebab itu, beberapa sumber energi terbarukan dijadikan sebagai sumber energy alternatif untuk mengatasi krisis energi saat ini, diantaranya adalah sumber energi surya, biomassa, angin dan tenaga air^[2].

Ketersediaan sumber energi yang berasal dari bahan bakar fosil semakin menipis sehingga perlu sumber energi alternatif. Salah satu sumber energi alternatif yang melimpah dan ramah lingkungan adalah matahari^[3]. Sinar matahari dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan sel surya dengan mengkonversi secara langsung radiasi matahari menjadi energi listrik^[4]. Sel surya yang banyak digunakan sekarang adalah sel surya berbasis teknologi silikon, yang merupakan hasil perkembangan teknologi semikonduktor elektronik. Walaupun sel surya sekarang didominasi oleh bahan bahan dari silikon, akan tetapi mahal biaya produksi dari silikon membuat biaya konsumsinya juga akan lebih mahal dibanding sumber energi fosil. Selain itu kekurangan dari *solar cell* silikon adalah

penggunaan dari bahan kimia yang membahayakan pada proses fabrikasinya^[4]. Oleh karena itu, telah ditemukan alternatif lain yaitu *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC).

Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) merupakan solar sel yang ditemukan pada tahun 1991 oleh Michael Graetzel^[5]. DSSC menarik banyak perhatian kalangan akademis maupun industri karena menawarkan solusi energi terbarukan dengan tingkat polusi yang rendah, ramah lingkungan dan biaya produksi listrik yang murah. DSSC terdiri atas fotoanoda dari kaca TCO (*Transparent Conductive Oxide*) dengan substrat ITO (*Indium tin oxide*) yang dilapisi semikonduktor seperti TiO₂, ZnO, SnO₂, Nb₂O₅ dengan berbagai metode seperti *doctor blade*, *screen printing*, elektroposisi, dan *spin coating*^[6].

Sejauh ini, *dye* yang digunakan sebagai *sensitizer* dapat berupa *dye* sintesis maupun *dye* alami. Karena meningkatnya jumlah larangan pewarna sintetis untuk alasan toksikologi dan ekologi, maka digunakannya pewarna alami, dengan alasan selain produk relatif murah adalah untuk mengurangi beban pencemaran, meskipun dirugikan sifat musiman dari bahan awal, yang tidak teratur baik dari segi kualitas dan kuantitas^[7]. Zat-zat seperti klorofil, beta karoten, antosianin, tanin, kurkumin pada tumbuhan dapat digunakan sebagai *sensitizer*^[6].

Dalam beberapa tahun terakhir, banyak penelitian menggunakan tanaman sebagai pewarna alami. Pewarna alami tersebut diekstraksi dari pohon, bunga, buah, dan sayuran sebagai zat penyerap *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)^[8].

Penelitian menggunakan dye berbahan organik antara lain dari pigmen klorofil daun pandan^[9], pigmen antosianin bunga mawar^[2], bayam merah^[10], dan pigmen kurkumin akar kunyit oleh Dahyunir Dahlan^[6].

Pada penelitian ini dilakukan kajian terhadap pembuatan prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan memanfaatkan ekstrak antosianin bunga krisan ungu dan klorofil dari daun jarak sebagai *dye* sensitizernya.

I.2 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada pembuatan *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan TiO₂ sebagai semikonduktor dan klorofil daun jarak serta antosianin krisan ungu sebagai *dye*-nya, karakterisasi sifat fisis dan kimia bahan *dye*, dan pengujian efisiensi *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC).

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan DSSC dengan daun jarak dan bunga krisan ungu sebagai *dye*-nya.
2. Karakterisasi sifat fisis elektroda kerja menggunakan XRD, sifat kimia bubuk TiO₂ dan bubuk dye menggunakan FTIR serta larutan dye menggunakan UV-Vis.
3. Menentukan efisiensi DSSC.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Sel Surya

Secara geografis, Indonesia dilalui oleh garis khatulistiwa, sehingga Indonesia mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,8 kWh/m² per hari di seluruh wilayah Indonesia. Dengan melimpahnya energi surya tersebut, Indonesia memiliki potensi untuk mengembangkan tenaga *solar cell* sebagai energi alternatif^[2].

Sel surya (*solar cell*) juga dikenal dengan nama PV (*Photovoltaic*), merupakan pembangkit listrik yang mampu mengkonversi sinar matahari menjadi arus listrik. Energi matahari sesungguhnya merupakan sumber energi yang paling menjanjikan mengingat sifatnya yang berkelanjutan (*sustainable*) serta jumlahnya yang sangat besar^[11].

Efek *fotovoltaik* dapat mengubah energi matahari menjadi listrik. *Fotovoltaic* terdiri dari dua kata, *photo* yang diturunkan dari bahasa Yunani untuk cahaya dan *volt* yang berhubungan dengan listrik. Sehingga secara bahasa, *fotovoltaic* dapat diartikan cahaya-listrik. Yaitu proses perubahan cahaya (foton) menjadi listrik (voltase) disebut efek *fotovoltaic*^[2].

Sebagaimana telah diketahui bahwa cahaya tampak maupun yang tidak tampak memiliki dua buah sifat yaitu berperilaku sebagai gelombang dan dapat sebagai partikel yang disebut sebagai foton. Penemuan ini pertama kali diungkapkan oleh Einstein pada tahun 1905. Energi yang dipancarkan oleh sebuah

cahaya dengan panjang dan frekuensi foton satu gelombang dirumuskan dengan persamaan :

$$E = h \cdot c / \lambda \quad (2.1)$$

Dengan h adalah tetapan planks ($6.62 \times 10^{-34} J.s$) dan c adalah kecepatan cahaya vakum ($3 \times 10^8 m/s$). Persamaan di atas juga menunjukkan bahwa foton dapat dilihat sebagai partikel energi atau sebagai gelombang dengan panjang gelombang dan frekuensi tertentu^[12].

Energi solar atau radiasi cahaya terdiri dari biasan foton-foton yang memiliki tingkat energi yang berbeda-beda. Perbedaan tingkat energi dari foton cahaya inilah yang akan menentukan panjang gelombang dari spektrum cahaya. Ketika foton mengenai permukaan suatu sel PV, maka foton tersebut dapat dibiaskan, diserap, ataupun diteruskan menembus sel PV. Foton yang terserap oleh sel PV inilah yang akan memicu timbulnya energi listrik^[13].

II.2 Klasifikasi Sel Surya

II.2.1 Sel surya konvensional (*silicon based*)

Sel surya berbahan dasar silikon adalah sel surya komersil pertama yang berhasil dikembangkan. Saat ini *silicon based solar cell* masih mendominasi hingga 86% pasar sel surya di seluruh dunia^[13].

Silikon adalah suatu material semikonduktor bervalensi empat. Keunggulan dari silikon adalah memiliki resistifitas yang sangat tinggi hingga $300,000 \Omega cm$, memiliki energi *band gap* yang cukup rendah, dan ketersediaan yang banyak di alam. Namun, kekurangannya adalah biaya produksi *silicon wafer*

yang sangat tinggi. Dikarenakan untuk mendapatkan performa sel surya yang baik dibutuhkan silikon dengan kemurnian sangat tinggi yaitu di atas 99.9 %. Untuk mengurangi biaya produksi, maka pengembangan dilakukan dengan meminimalisir material yang digunakan. Antara lain dengan menciptakan *crystalline thin film silicon*. Selain itu telah dikembangkan metode-metode baru yang lebih mudah dan murah dalam memproduksi *semiconductor-grade silicon*^[13].

Sel surya konvensional lain yang menggunakan semikonduktor klasik seperti C-Si, CdS/CdTe, CdS/CdInSe juga memiliki beberapa kendala seperti sel surya Si yaitu membutuhkan biaya produksi yang cukup tinggi, rumit dan menyebabkan masalah lingkungan karena pemakaian logam berat. Diantara sel surya berbasis bahan semikonduktor, sel surya fotoelektrokimia yang menggunakan zat warna sebagai sensitiser mempunyai beberapa kelebihan antara lain biaya produksi murah dan ramah lingkungan^[2].

II.2.2 Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)

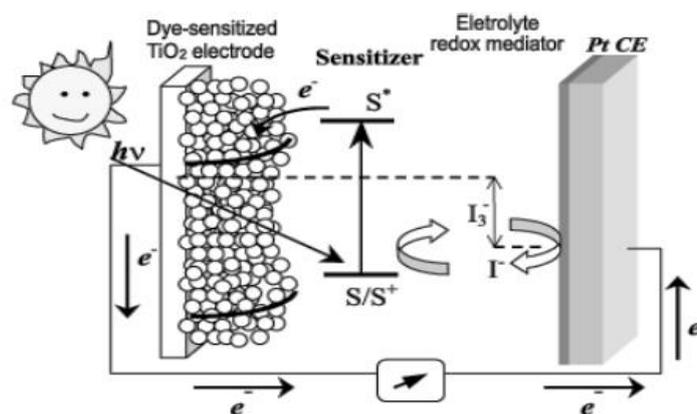
Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) atau disebut juga sel Grätzel pertama kali ditemukan oleh Michael Gratzel dan Brian O'Regan pada tahun 1991 di École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Swiss. Berbeda dengan sel surya konvensional, DSSC adalah sel surya fotoelektrokimia yang menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan untuk mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Efisiensi konversinya telah mencapai 10 – 11%^[12].

DSSC adalah salah satu kandidat potensial sel surya generasi yang akan datang, hal ini disebabkan tidak diperlukannya material yang punya kemurnian

tinggi sehingga biaya produksi yang diperlukan juga relatif rendah. Berbeda dengan sel surya konvensional dimana semua proses produksinya harus melibatkan material silikon itu sendiri. Sedangkan, pada DSSC absorpsi cahaya dan separasi muatan listrik terjadi pada proses terpisah. Absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul dye dan separasi muatan oleh inorganik semikonduktor nanokristal yang memiliki bandgap lebar^[4].

II.2.2.1 Prinsip Kerja DSSC

Prinsip Kerja dari DSSC melalui tahapan-tahapan sebagai berikut^[14]:



Gambar II.1. Prinsip Kerja DSSC

Tahapan pertama yaitu, ketika cahaya berupa foton mengenai sel DSSC, energi dari foton tersebut akan diserap oleh ekstrak dye. Perbedaan level energi foton yang diserap bergantung pada dye yang digunakan. Penyerapan energi foton menyebabkan elektron pada dye tereksitasi. Dengan ukuran semikonduktor TiO_2 nanopartikel mengakibatkan dye yang melekat pada saat proses pewarnaan. Semakin banyak dye yang menempel akan menghasilkan fotoelektron yang semakin banyak. Elektron tereksitasi tersebut kemudian diinjeksikan ke pita

konduksi TiO_2 nanopartikel, sehingga TiO_2 bertindak sebagai semikonduktor tipe-n (seperti pada sel surya konvensional *silicon* tipe- n).

Tahapan kedua, fotoelektron yang diinjeksikan bergerak sepanjang nanopartikel menuju ke pita konduksi paling atas (anoda). Dengan lapisan TiO_2 yang tipis (dalam ukuran mikro) elektron tereksitasi tidak membutuhkan perjalanan yang jauh untuk sampai ke anoda. Setelah fotoelektron mencapai anoda.

Tahapan ketiga, fotoelektron berpindah melalui rangkaian listrik dan kelebihan energi tersebut diubah menjadi energi menjadi energi listrik oleh perangkat di rangkaian (beban).

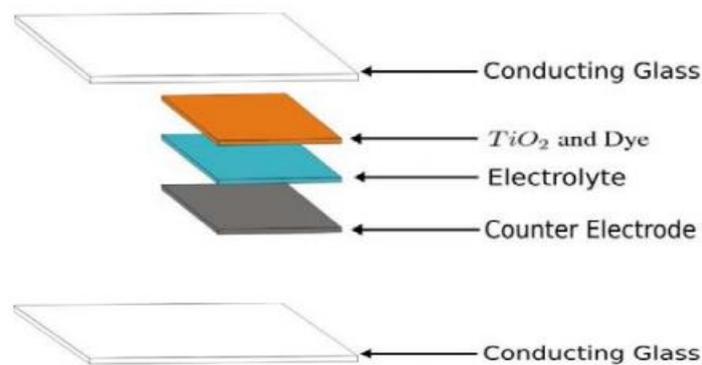
Tahapan terakhir, jumlah elektron yang mengalir melalui elektroda pembanding atau katoda yaitu kaca konduktif yang telah dilapisi karbon ditangkap oleh elektrolit yang berasal dari triiodida perdetiknya dibaca sebagai arus dan energi yang dimiliki setiap elektron merupakan tegangan atau potensial listrik. Dengan adanya triiodin dari larutan elektrolit akan memberikan elektron untuk melengkapi kekurangan elektron pada molekul dye sehingga kembali pada keadaan semula. Dye tersebut siap untuk menyerap foton kembali sehingga terbentuk suatu siklus transpor elektron yang berulang-ulang. Kemudian dari siklus tersebut, akan terjadi konversi langsung dari energi matahari menjadi energi listrik^{[14][15]}.

II.2.2.2 Struktur DSSC

DSSC merupakan suatu perangkat sel surya yang tersusun dari sepasang elektroda dan counter elektroda. Elektroda terbuat dari substrat kaca konduktif,

yang telah dilapisi transparent conductive oxide (TCO). Pada elektroda dilapisi oleh layer oksida nanopartikel yang dilapisi oleh molekul dye (zat pewarna) sensitasi. Molekul dye berfungsi sebagai penangkap foton cahaya, sedangkan nanopartikel semikonduktor berfungsi menyerap dan meneruskan foton menjadi elektron. Pada counter elektroda diberi katalis, umumnya carbon atau platinum, berfungsi untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada TCO^[13].

Selain itu DSSC juga menggunakan media elektrolit sebagai medium transport muatan. Elektrolit yang umum digunakan pada DSSC terdiri dari iodine (I) dan triiodide (I³⁻) sebagai pasangan redoks dalam pelarut. Skematis susunan sandwich layer dari DSSC diilustrasikan pada Gambar II.2^[13] :



Gambar II.2 Susunan *Sandwich* DSSC

II.2.2.3 Material DSSC

II.2.2.3.1 Substrat (Kaca ITO)

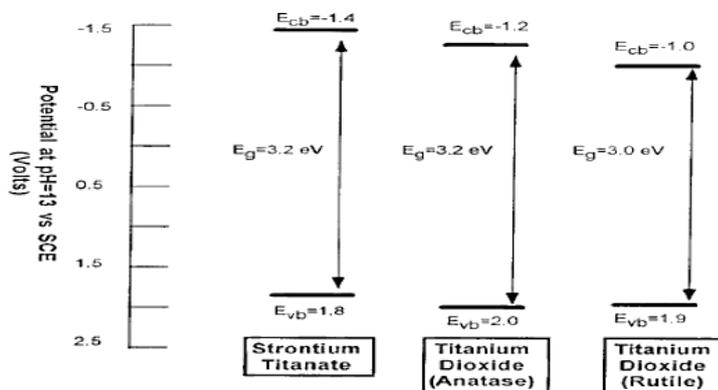
Substrat yang umum digunakan pada DSSC yaitu jenis TCO (*Transparent Conductive Oxide*), merupakan kaca transparan konduktif yang dapat mengalirkan muatan. Material substrat itu sendiri berfungsi sebagai badan dari sel surya dan film konduktifnya berfungsi sebagai media *transport* muatan (elektron). Material

yang umumnya digunakan yaitu *Flourine-doped Tin Oxide* (FTO) dan *Indium Tin Oxide* (ITO). Hal ini dikarenakan dalam proses sintering layer oksida pada substrat di suhu 400-500°C, material-material tersebut memiliki konduktifitas yang baik dan tidak mengalami defect atau cacat pada rentang temperatur tersebut^{[12][13]}.

II.2.2.3.2 Semikonduktor TiO₂

Titanium dioxide yang juga dikenal dengan *titanium (IV) oxide* atau titania adalah bentuk dari oksida alami titanium. Di alam umumnya TiO₂ mempunyai tiga fasa yaitu *rutile*, *anatase*, dan *brookite*.

Pada aplikasi DSSC umumnya digunakan TiO₂ fasa *anastase*. Hal ini dikarenakan pada fasa tersebut TiO₂ memiliki sifat fotoaktif yang tinggi, antara lain *photovoltaic* dan *photocatalytic*. Hal ini dikarenakan fasa *rutile* memiliki energi level lebih tinggi dibandingkan fasa TiO₂ lainnya. Fasa *rutile* memiliki pita valensi yang rendah dan band gap yang lebih lebar. Hal ini sebagaimana ditunjukkan Gambar II.3^[13]



Gambar II.3 Perbandingan pita energi berbagai fasa TiO₂

Untuk aplikasi DSSC digunakan struktur nanopori TiO₂, dikarenakan luas permukaan yang tinggi dapat meningkatkan daya serap TiO₂ terhadap molekul dye. Hal ini selanjutnya akan meningkatkan daya serap foton oleh DSSC. Hingga saat ini TiO₂ masih merupakan layer oksida yang paling sering digunakan dalam aplikasi DSSC karena efisiensinya yang belum tertandingi oleh layer oksida semikonduktor lainnya. Hal ini salah satunya disebabkan oleh nilai band gap dari TiO₂ (3.2 eV) berada pada rentang panjang gelombang dari sinar UV. Sehingga efektifitas penyerapan sinar matahari juga akan lebih baik. Selain itu kelebihan TiO₂ adalah harganya yang relatif lebih murah dibandingkan material semikonduktor lain^[13].

II.2.2.3.3 Dye

Dye yang teradsorpsi pada permukaan TiO₂ merupakan zat pewarna yang berfungsi sebagai penyerap (absorpsi) cahaya matahari untuk menghasilkan elektron. Dye yang banyak digunakan dan mencapai efisiensi tertinggi yaitu jenis ruthenium kompleks. Namun dye jenis ini cukup sulit untuk disintesa dan ruthenium kompleks komersil berharga sangat mahal. Alternatif lain dengan menggunakan dye dari tumbuhan. Proses fotosintesis pada tumbuhan telah membuktikan adanya senyawa pada tumbuhan yang dapat digunakan sebagai dye, antara lain : antosianin, klorofil, dan xantofil^[2].

II.2.2.3.4 Elektrolit

Elektrolit pada DSSC berfungsi sebagai penghasil reaksi redoks dalam sistem *photoelectrochemical*. Fungsi elektrolit dalam DSSC adalah untuk menggantikan kehilangan elektron pada pita HOMO dari *dye* akibat eksitasi

elektron dari pita HOMO ke pita LUMO karena penyerapan cahaya tampak oleh *dye*. Elektrolit juga dapat menerima elektron pada sisi *counter electrode*.

Elektrolit yang sering digunakan pada DSSC terdiri dari pasangan iodine (I) dan triiodide (I_3^-) sebagai redoks dalam pelarut. Pelarut lain yang dapat digunakan dalam larutan elektrolit yaitu *Polyethylene Glycol* (PEG). PEG dapat menembus ke dalam serapan *dye* TiO₂ baik untuk perbandingan ukuran partikel yang kecil maupun pada diameter pori skala nano dan dapat menjaga kestabilan kerja. PEG termasuk dalam golongan alkohol dengan dua buah gugus -OH yang berulang dan termasuk bahan yang dapat larut dalam air. PEG bisa berbentuk padatan maupun cairan kental (gel), tergantung pada komposisi dan berat molekulnya. Oleh karena itu, dalam penelitian ini menggabungkan I- dan I₃- dengan pelarut PEG sebagai pelarutnya^{[2] [12]}.

II.2.2.3.5 Counter Elektrode

Counter electrode digunakan sebagai katalis dalam DSSC^[2]. Penggunaan katalis dibutuhkan untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada TCO. Umumnya digunakan platina sebagai katalis dalam berbagai aplikasi dikarenakan efisiensi katalitiknya yang tinggi^[13]. Namun, platina merupakan material yang mahal. Sebagai alternatif, Kay & Grätzel mengembangkan desain DSSC menggunakan counter-elektroda karbon^[26]. Karbon digunakan karena memiliki luas permukaan yang tinggi, sehingga keaktifannya dalam reduksi triiodida dapat menyerupai platina^[13].

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Tempat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Material dan Energi jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

III.2 Alat dan Bahan

III.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. XRD
2. FTIR
3. UV-VIS
4. Kaca ITO
5. Gelas Kimia 250ml
6. *Magnetic Stirrer*
7. Multimeter Digital
8. *Scotch Tape*
9. Batang pengaduk
10. Lumpang alu
11. Aluminium foil
12. Kertas saring
13. Gelas ukur
14. Pipet tetes

15. Pipet takar 5ml dan 10ml
16. Oven
17. Furnace
18. Botol tetes
19. Paper Clip
20. Papan rangkaian
21. Resistor
22. Lampu Halogen

III.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ekstrak daun jarak
2. Ekstrak bunga krisan ungu
3. TiO_2
4. Etanol
5. Asam citrat
6. Aquades
7. *Pottasium Iodide (KI)*
8. *Polyethylene Glycol (PEG)*
9. *Iodine (I₂)*
10. Pensil 6B

III.3 Prosedur Kerja

Penelitian ini dilakukan melalui tahap berikut :

1. Persiapan

Persiapan ini meliputi persiapan dan pembersihan alat-alat untuk ekstraksi maupun dan pembuatan pasta TiO₂.

2. Pembuatan Pasta TiO₂

Sebelum pembuatan pasta TiO₂, mengkarakterisasi bubuk TiO₂ menggunakan XRD dan FTIR. Setelah itu, menggggerus 1 gram TiO₂ dan memasukkan ke dalam gelas kimia. Selanjutnya, menambahkan 8 ml ethanol dan mengaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit.

3. Deposisi pasta TiO₂ dengan metode *spin coating*

Mententukan bagian yang bersifat konduktif kaca ITO menggunakan multimeter, kemudian memberi masing-masing pembatas dengan *scotch tape*, panjang sisi $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ membentuk persegi. Selanjutnya, mentetesi kaca konduktif tersebut dengan TiO₂ sampai merata di seluruh permukaan kaca. Setelah merata, meletakkan kaca pada alat *spin coating* dan putar dengan kecepatan 3000 rpm. Pembuatan lapisan tipis dilakukan dengan 3 kali setiap 30 detik pelapisan agar hasilnya merata pada kaca konduktif.

4. Ekstraksi Larutan Dye

Bahan *dye* yang digunakan adalah daun jarak dan bunga krisan ungu. Membersihkan kedua bahan dye dengan aquades dan memotong kecil sekitar 2 cm lalu dikeringkan di udara terbuka selama 3 hari kemudian di

oven pada suhu 40°C selama 1 jam. Setelah kering bahan *dye* di blender hingga menjadi bubuk. Bubuk *dye* dikarakterisasi menggunakan XRD dan FTIR. Masing-masing 5 gram bubuk daun jarak / bunga krisan ungu dimasukkan ke dalam gelas kimia dan direndam pada larutan organik dengan perbandingan 5 : 1 : 4 (15ml ethanol, 3ml asam citrat, dan 12ml aquades) menggunakan *Magnetic Stirrer* dengan suhu 40°C selama 30 menit. Selanjutnya larutan ditutup dengan aluminium foil dan di simpan di tempat yang gelap selama 24 jam. Kemudian menyaring larutan menggunakan kertas saring untuk memisahkan ampas dari bubuk sehingga menghasilkan larutan *dye*. Mengkarakterisasi larutan dye menggunakan UV-Vis.

5. Absorpsi Dye Pada Lapisan TiO₂

Merendam hasil deposisi TiO₂ yang telah di buat dalam *dye* selama 24 jam. Setelah perendaman, kaca dikeringkan selanjutnya mengkarakterisasi menggunakan XRD.

6. Pembuatan Elektrolit

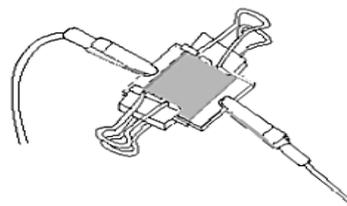
Mencampur 0.8 gram *Pottasium Iodide (KI)* ke dalam 10 ml *Polyethylene Glycol (PEG)* dan diaduk. Kemudian, menambahkan 0.127 gr *Iodine (I₂)* yang telah digerus dengan mortar hingga menjadi bubuk. Selanjutnya di stirer selama 10 menit.

7. Pembuatan Counter Elektroda Karbon

Menentukan sisi konduktif kaca ITO dengan menggunakan multimeter. Kemudian, melapisi sisi konduktif kaca ITO dengan cara diarsir dengan grafit pensil 6B.

8. Pembuatan Sandwich

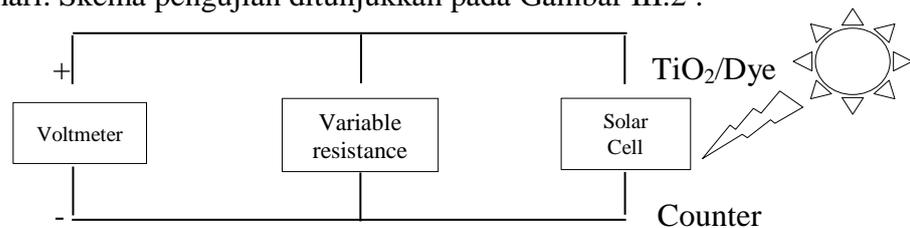
Merendam *Working electroda* yaitu kaca ITO yang telah dilapisi TiO₂ dan pada *dye*. Selanjutnya, meneteskan kaca dengan larutan elektrolit sampai menutupi TiO₂. Kemudian menutup *counter electroda* yaitu kaca ITO yang dilapisi grafit dan kedua sisinya dijepit dengan *paper clip* untuk menyatukan dua elektroda. Membuat kontak pada sel dengan menggunakan penjepit buaya pada tepi elektroda lawan dan elektroda kerja. Dengan ilustrasi gambar seperti Gambar III. 1^[2].



Gambar III. 1 Ilustrasi sandwich DSSC

9. Pengujian arus dan tegangan DSSC

Performansi sel surya dapat dilihat melalui pengukuran arus dan variasi tegangan. Rangkaian pengukuran tegangan pada konstruksi sel surya dilakukan menggunakan rangkaian tanpa hambatan dan dengan hambatan (100 k Ω , 200 k Ω , 300 k Ω , 390 k Ω , 470 k Ω , 680 k Ω , dan 820 k Ω) dan multimeter digital. Pengukuran dilakukan dengan penyinaran cahaya matahari. Skema pengujian ditunjukkan pada Gambar III.2 :



Gambar III.2. Skema pengujian tegangan pada DSSC

Sedangkan untuk arus yang dihasilkan dihitung menggunakan pendekatan hukum Ohm, yaitu:

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

Ket : I = Kuat arus (A)

V = Tegangan (V)

R = Hambatan (Ω)

10. Menghitung Efisiensi DSSC

Menghitung efisiensi DSSC dari hasil data yang di peroleh menggunakan persamaan :

$$\eta = \frac{P}{i} \times 100\% \quad (3)$$

Ket : η = Efisiensi (%)

P = Daya (Watt/m^2)

i = Intensitas cahaya

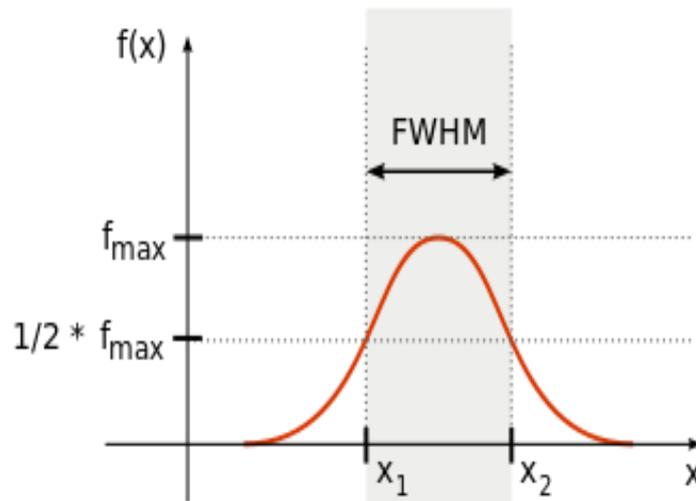
A = Luas permukaan

11. Karakterisasi dan pengujian dan pengukuran dye dan TiO_2

Dalam penelitian ini, menggunakan karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD), FTIR (*Fourier Transform Infra Red*), dan *Uv-Vis Spectrophotometer*. Karakterisasi XRD digunakan untuk menentukan struktur kristal dan fase TiO_2 . Pengujian XRD menghasilkan grafik yang akan digunakan untuk menghitung Kristal TiO_2 menggunakan persamaan *Debye scherrer* berikut:

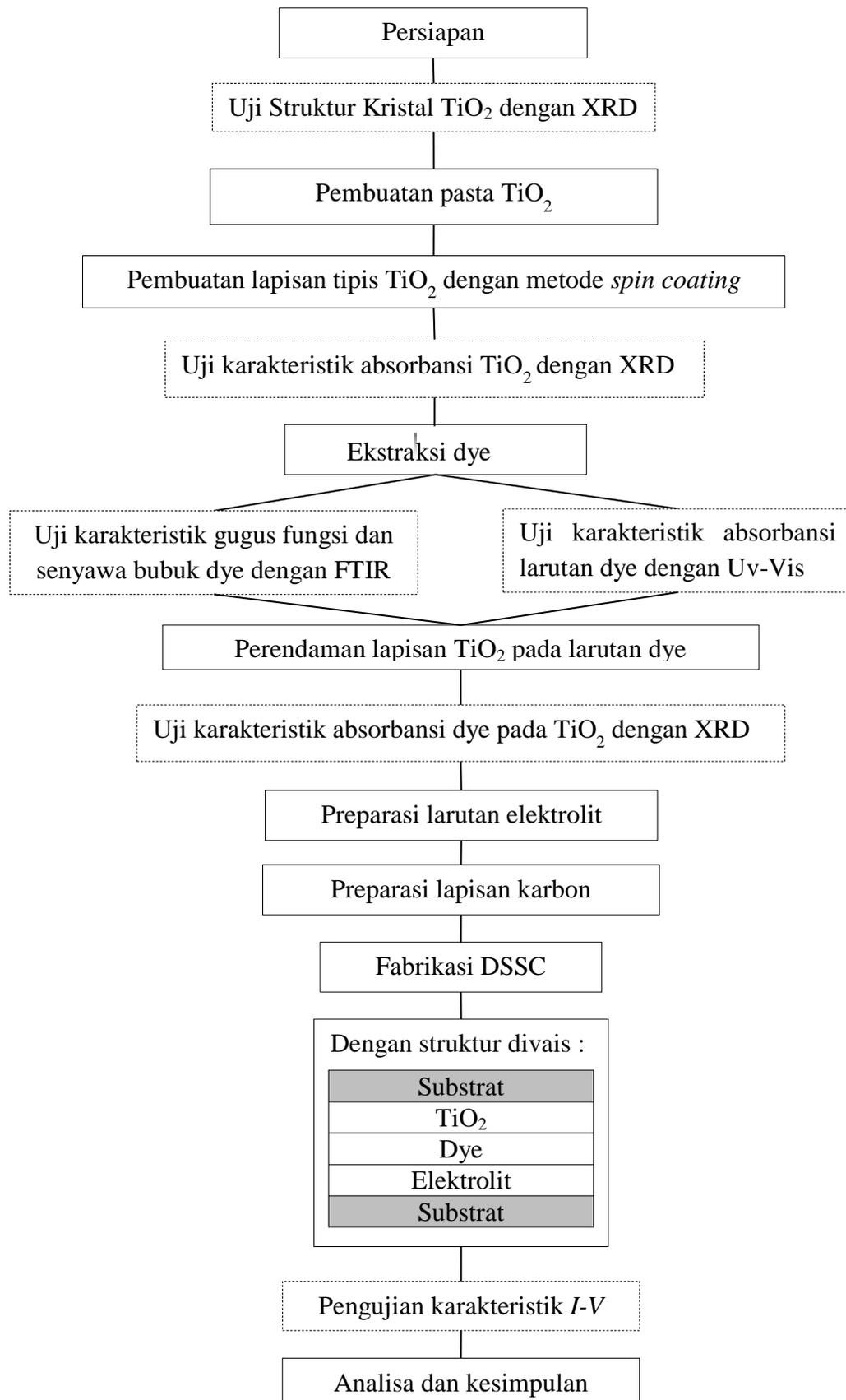
$$D = \frac{k\lambda}{\cos(\theta)*FWHM} \quad (4)$$

- Ket : D = Ukuran kristal bahan (nm)
- k = Konstanta (0,94)
- λ = Panjang gelombang sinar X (0,154 nm)
- FWHM = (*Full Width at Half Maximum*) (radian)
- θ = Sudut difraksi



Gambar III.3 Cara menentukan FWHM^[16]

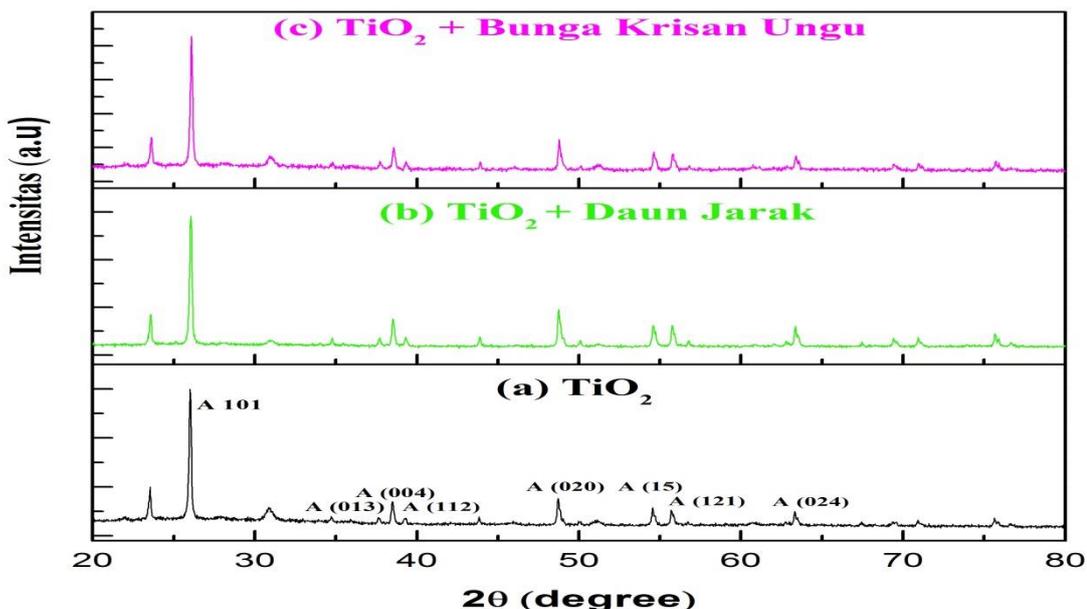
Gambar III.3 menunjukkan cara menentukan FWHM (*Full Width at Half Maximum*). FWHM merupakan parameter yang biasa digunakan untuk menghitung lebar bukit dari sebuah kurva dengan cara menentukan jarak antar 2 titik yang telah memiliki nilai setengah dari nilai maksimal kurva^[17]. FTIR digunakan untuk menentukan gugus fungsi TiO₂ dan dye dan Uv-Vis *Spectrophotometer* digunakan untuk menentukan spektrum absorbansi dye.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Hasil pengujian XRD TiO₂



Gambar IV.1 Hasil XRD (a) TiO₂ (b) TiO₂–Daun Jarak (c) TiO₂–Bunga Krisan^{Ungu}^[18].

Gambar IV.1 (a) merupakan hasil pengujian XRD TiO₂ fase anatase. Gambar tersebut menunjukkan puncak-puncak karakteristik TiO₂ yang membentuk fase anatase yaitu pada sudut 25,9948°; 37.6237°; 38.4764°; 39.2470°; 48.7037°; 54.5413°; 55.7067°; 63.3199° dengan intensitas tertinggi yaitu pada sudut 2θ = 25,9948° yang merupakan puncak anatase. Dimana puncak yang di beri tanda dengan huruf “A” menandakan fase anatase.

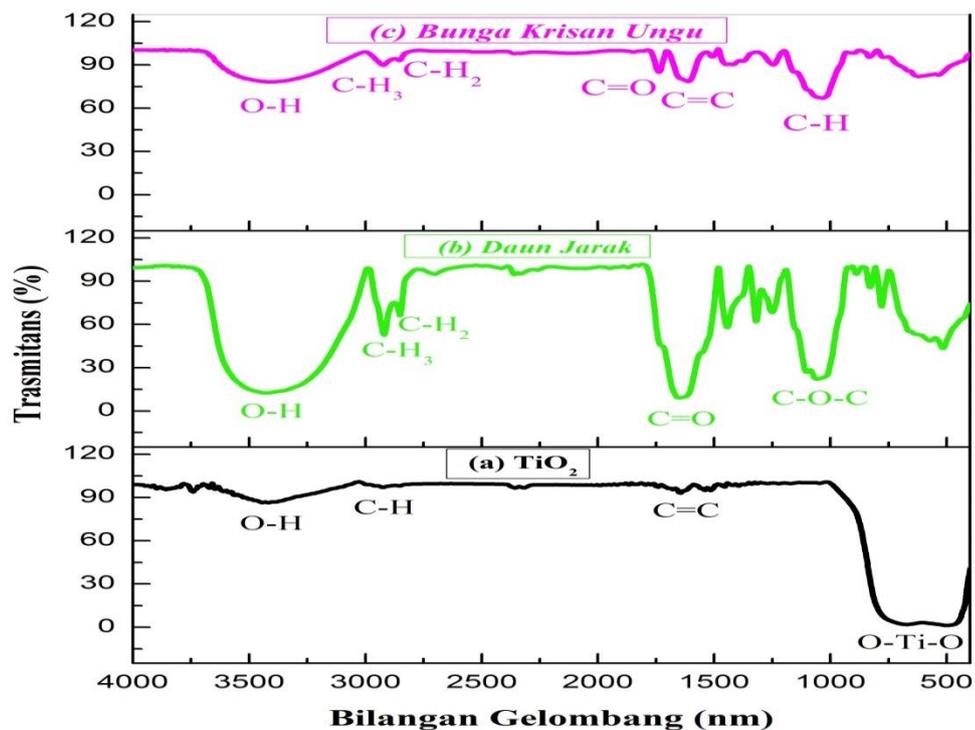
Hasil XRD juga dapat digunakan untuk menghitung komposisi masing-masing fase serta ukuran kristalnya dengan menggunakan persamaan (4). Dari persamaan tersebut diperoleh ukuran Kristal TiO₂ yang digunakan pada pembuatan prototipe DSSC sebesar 57,90 nm.

Gambar IV.1 (a) dan (b) menunjukkan bahwa adanya serapan dye pada molekul TiO₂. Intensitas puncak pada TiO₂ mengalami peningkatan setelah adanya serapan dye pada lapisan TiO₂. Dapat dilihat pada tabel IV.1.

Tabel IV.1. Intensitas puncak TiO₂ dan dye^[18].

Peak no. by 2θ	Intensity		
	TiO ₂	TiO ₂ + Daun Jarak	TiO ₂ + Bunga Krisan Ungu
25,99	1812 (011)	3710	1824
37,62	95 (013)	212	3185
38,48	338 (004)	759	293
39,25	81 (112)	220	1021
48,70	433 (020)	628	303
54,54	283 (015)	658	1004
55,71	262 (121)	642	882
63,32	239 (024)	591	854

IV. 3. Hasil pengujian FTIR



Gambar IV.2 Hasil FTIR (a) TiO₂ (b) TiO₂+Daun Jarak (c) TiO₂+Bunga Krisan Ungu^[18].

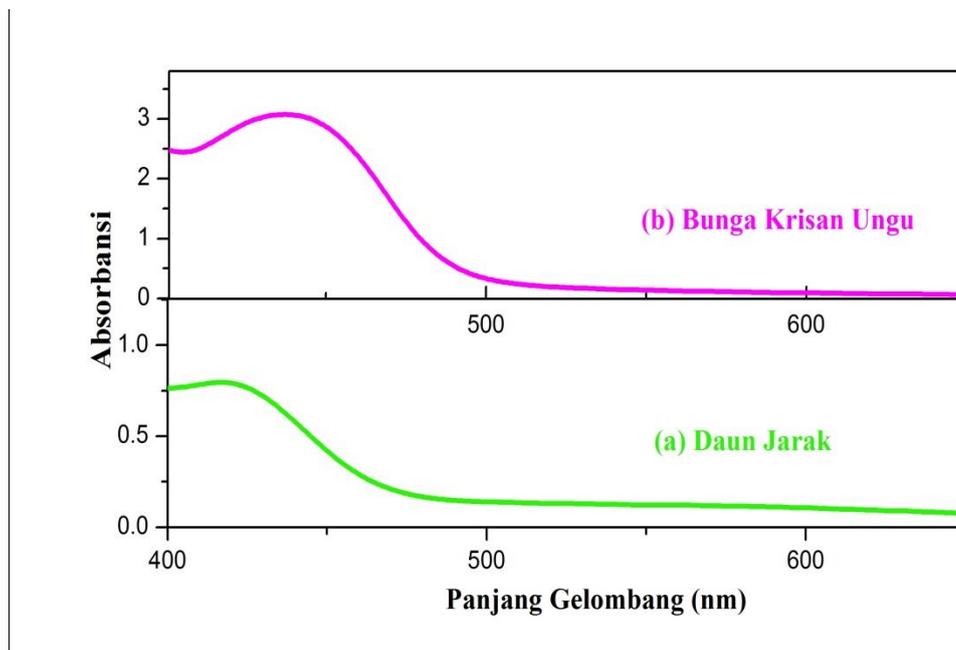
Hasil pengujiannya FTIR TiO₂ ditunjukkan pada Gambar IV.2 (a) . Dari hasil pengujian tersebut, terdapat spektrum dengan rentang 500 - 4000 cm⁻¹. Puncak absorbansi pada 3419,9 cm⁻¹ menunjukkan adanya serapan O–H. Adapun pada 2926,01 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi C – H cincin aromatik. Pada 1645,28 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi C=C senyawa alkena dan pada 1514,12 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi C = C senyawa cincin aromatik. Pada spektrum TiO₂ juga terdapat ikatan O – Ti – O pada panjang gelombang 501,49 cm⁻¹-671,23 cm⁻¹.

Hasil pengujiannya FTIR daun jarak ditunjukkan pada Gambar IV.2 (b). Pada daun jarak menunjukkan bahwa klorofil yang diekstrak mengandung gugus fungsi seperti –OH di tunjukkan oleh serapan tajam pada daerah 3421,72 cm⁻¹ yang didukung juga oleh munculnya serapan tajam pada 1737.86 cm⁻¹ untuk ikatan C=O. Puncak absorbansi pada 2920,23 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi N-H₃ dan pada 2852,72 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi C-H₂. Serapan ikatan rangkap C=C aromatik ditunjukkan pada 1651,07 cm⁻¹ yang didukung juga oleh munculnya serapan pada 779,24 cm⁻¹ untuk ikatan C-O-C. Berdasarkan hasil spektrum FTIR tersebut dapat disimpulkan bahwa senyawa yang telah diekstrak mengandung klorofil.

Hasil pengujiannya FTIR bunga krisan ungu ditunjukkan pada Gambar IV.2 (c). Pada bunga krisan ungu menunjukkan bahwa antosianin yang di ekstrak mengandung gugus fungsi seperti –OH di tunjukkan oleh serapan pada 3412,08 cm⁻¹ yang didukung juga oleh munculnya serapan pada 2924,09 menunjukkan ikatan C-H₃, pada 2854,65 menunjukkan adanya ikatan C-H₂ dan pada 1737.86

cm^{-1} untuk ikatan C=O alkohol. Serapan ikatan C-N ditunjukkan pada 1419,61-1441,61. Pada puncak absorbansi 1033.85 cm^{-1} menunjukkan serapan untuk ikatan C-H. Berdasarkan hasil spektrum FTIR tersebut dapat disimpulkan bahwa senyawa yang telah diekstrak mengandung antosianin.

IV. 3. Hasil pengujian UV-Vis dye



Gambar IV.3 Hasil UV-Vis (a) Daun Jarak (b) Bunga Krisan Ungu^[18].

Daun jarak dan bunga krisan ungu yang telah diekstraksi menjadi larutan dye, diuji absorbansinya menggunakan Spektrofotometer UV-Visible 300-800 nm. Dari Gambar IV.3. dapat dilihat bahwa spektrum serapan ekstrak ubi jalar ungu cukup lebar. Serapan ekstrak daun jarak dan bunga krisan ungu yang cukup lebar ini akan meningkatkan performansi dari sel surya. Hasil absorbansi dari Daun jarak dan bunga krisan ungu ini bisa digunakan sebagai sumber zat warna pada DSSC.

IV. 4. Pengujian performansi DSSC

Prototipe DSSC yang telah dibuat dilakukan pengujian menggunakan multimeter digital dengan menempatkan kutub positif pada elektroda kerja dan kutub negatif pada elektroda lawan untuk mengetahui tegangan yang dihasilkan. Sedangkan untuk arus yang dihasilkan dihitung menggunakan pendekatan hukum Ohm pada persamaan (2). Dengan memvariasikan nilai hambatan maka akan diperoleh nilai arus dan tegangan yang dihasilkan dari sel surya tersebut. Hasil pengukuran ditampilkan pada tabel IV.2.

Tabel IV.2 Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus^[18].

R (Ω)	Daun Jarak				Bunga Krisan ungu			
	i (mW/cm ²)	V (mV)	I (mA)	P (mW/cm ²)	i (mW/cm ²)	V (mV)	I (mA)	P (mW/cm ²)
0	55.30	3.4	∞	-	55.30	1	∞	-
100k	55.30	3.5	3,5×10 ⁻⁶	3,06×10 ⁻⁶	55.30	1.1	1,10×10 ⁻⁶	3,02×10 ⁻⁷
200k	53.72	3.6	1,80×10 ⁻⁶	1,62×10 ⁻⁶	53.72	1.2	6,00 ×10 ⁻⁶	1,80×10 ⁻⁷
300k	52.93	3.7	1,23×10 ⁻⁶	1,14×10 ⁻⁶	52.93	1.3	4,33×10 ⁻⁷	1,40×10 ⁻⁷
390k	53.72	3.9	1,00×10 ⁻⁶	9,75×10 ⁻⁷	53.72	1.5	3,84×10 ⁻⁶	1,44×10 ⁻⁷
470k	50.56	4.1	8,72×10 ⁻⁷	8,94×10 ⁻⁷	50.56	1.8	3,82×10 ⁻⁶	1,72×10 ⁻⁷
680k	51.35	4.3	6,32×10 ⁻⁷	6,79×10 ⁻⁷	51.35	2.4	3,52×10 ⁻⁶	2,11×10 ⁻⁷
820k	51.35	4.8	5,85×10 ⁻⁷	7,02×10 ⁻⁷	51.35	3.3	4,02×10 ⁻⁶	3,32×10 ⁻⁷

Setelah diperoleh nilai arusnya maka akan diperoleh nilai P_m (Daya maksimum yang dihasilkan oleh tegangan dan arus) untuk menghitung tingkat efisiensinya. Berdasarkan tabel IV.2 dapat diketahui bahwa P_m yang dihasilkan daun jarak yaitu $3,06 \times 10^{-6}$ mW/cm⁻² dan bunga krisan ungu 3.32×10^{-7} mW/cm⁻².

Untuk mendapatkan efisiensi konversi DSSC menggunakan persamaan (3). Maka didapatkan efisiensi tertinggi menggunakan ekstrak daun jarak sebesar $5,53 \times 10^{-6}$ %, sedangkan yang menggunakan ekstrak bunga krisan ungu sebesar

$6,46 \times 10^{-7}$ %. Dari hasil pengujian tersebut diketahui bahwa tingkat efisiensi ekstrak daun jarak lebih tinggi dari ekstrak bunga krisan ungu sebagai dye *sensitizer*.

Pengujian DSSC dilakukan di luar ruangan menggunakan cahaya matahari sebagai sumber cahaya. DSSC berhasil mengkonversi energi surya menjadi energi listrik berdasarkan nilai arus dan tegangan yang dihasilkan. Hasil pengujian didapatkan efisiensi tertinggi dari ekstrak daun jarak daripada ekstrak bunga krisan ungu.

Efisiensi DSSC dipengaruhi oleh absorbansi dye dan bahan semikonduktor yang digunakan. Absorbansi dye berbanding lurus dengan koefisien absorpsi. Semakin tinggi koefisien absorpsi maka laju terciptanya *electron-hole* semakin tinggi. Selain itu, efisiensi DSSC juga dipengaruhi oleh jenis semikonduktor, sumber cahaya, konduktivitas, fasa dan struktur semikonduktor.

BAB V

PENUTUP

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Telah berhasil prototipe sel surya *dye sensitized solar cell* (DSSC) dengan dye alami berbasis klorofil ekstrak daun jarak dan antosianin ekstrak bunga krisan ungu dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik berdasarkan arus dan tegangan yang dihasilkan.
2. Telah dilakukan karakterisasi sifat fisis elektroda kerja menggunakan XRD menunjukkan adanya kristanilitas yang baik, terbukti dengan adanya fase anatase pada lapisan TiO₂. Sifat kimia bahan dasar TiO₂ dan dye menggunakan FTIR menunjukkan adanya senyawa klorofil pada daun jarak dan antosianin pada bunga krisan ungu. Serta karakterisasi menggunakan UV-Vis menunjukkan adanya tingkat absorbansi pada dye yang digunakan.
3. Efisiensi berdasarkan pengujian tegangan dan arus dari klorofil ekstrak daun jarak sebesar $5,53 \times 10^{-6}$ % dan antosianin ekstrak bunga krisan ungu sebesar $6,46 \times 10^{-7}$ %.

V.2 Saran - saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, hal - hal yang disarankan untuk penelitian selanjutnya :

1. Perlunya kelengkapan alat-alat laboratorium untuk menunjang kelancaran penelitian.
2. Pada pembuatan prototipe DSSC sebaiknya digunakan dye dengan tingkat absorbansi tinggi agar arus yang dihasilkan dapat terbaca oleh multimeter.
3. Untuk menguji perfomansi sel surya sebaiknya juga digunakan lampu halogen sebagai sumber cahaya pembanding.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.T, Alfonsina, Abat., Rakhmania, Citra D., & Basudewi, Fiindah M. 2013, *Dssc (Dye-Sensitized Solar Cell) Sebagai Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan*, Makalah Energi, Teknik Kimia, Universitas Brawijaya, Malang.
- [2] Nugrahawati, D. 2012, *Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Mawar Merah (Rosa Damascena Mill) Sebagai Pewarna Alami Berbasis antosianin*, Skripsi, Jurusan Fisika, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [3] Rahayu, D., Bagitaningtyas, A., Hidayat, A., & Suci, A. 2011, *Pengembangan Sel Surya Berpewarna Tersensitisasi (Dye Sensitized Solar Cell) Dengan Senyawa Morin Darikayu Nangka (Artocarpus Heterophyllus L.)*, *Pelita-Jurnal Penelitian Mahasiswa*, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- [4] Rohmat, S., & Ari, H. R. 2012, *Sintesa Titanium Dioxide (Tio₂) Untuk Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*, *Majalah Online Politeknosains, Teknik Mesin*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [5] Hao, S., Wu, J., Huang, Y., & Lin, J. 2006, *Natural dyes as photosensitizers for dye-sensitized solar cell*, *Solar Energy*, vol. 80, no. 2, pp. 209–216.

- [6] Dahlan, D., Leng, T. S., & Aziz, H. 2016, *Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) dengan Sensitiser Dye Alami Daun Pandan, Akar Kunyit dan Biji Beras Merah (Black Rice)*. Jurnal Ilmu Fisika, vol. 8, no. 1, hal. 1-8.
- [7] Subodro, R. 2013, *Ekstraksi Pewarna Bahan Antosianin Kulit Terong Ungu Sebagai Pewarna Alami pada Sel Surya Dye Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*, Majalah Online Politeknosains, vol. 11, no. 2, Hal. 74-83.
- [8] Abdel-Latif, M. S., Abuiriban, M. B., El-Agez, T. M., & Taya, S. A. 2015, *Dye-sensitized solar cells using dyes extracted from flowers, leaves, parks, and roots of three trees*, International Journal of Renewable Energy Research, vol. 5, no. 1, pp. 294–298.
- [9] Al-alwani, M. A. M., Mohamad, A. B., Kadhum, A. A. H., & Ludin, N. A. 2017, *Natural dye extracted from Pandanus amaryllifolius leaves as sensitizer in fabrication of dye-sensitized solar cells*, International Journal of Electrochemical Science, vol. 12, pp. 747–761.
- [10] Ramanarayanan, R., Nijisha, P., Niveditha, C. V., & Sindhu, S. 2017, *Natural dyes from red amaranth leaves as light-harvesting pigments for dye-sensitized solar cells*, Materials Research Bulletin.
- [11] Handini, W. 2008, *Performa Sel Surya Tersensitasi Zat Pewarna (DSSC) Berbasis ZnO dengan Variasi Tingkat Pengisian dan Besar Kristalit TiO₂*, Skripsi Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.

- [12] Wijayanti, S. 2010, *Fabrikasi Prototype Dssc (Dye-Sensitized Solar Cell) Menggunakan Klorofil Bayam*, Skripsi, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [13] Simanjuntak, M. G., & Batubara, F. R. 2013, *Perancangan Prototipe Smart Building Berbasis Arduino UNO*, Singuda Ensikom, vol. 2, no. 2, hal. 78-83.
- [14] Zahrok, Z. L., & Prajitno, G. 2015, *Ekstrak Buah Murbei (Morus) Sebagai Sensitizer Alami Pada Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Substrat Kaca ITO Dengan Teknik Pelapisan Spin Coating*, Jurnal Sains dan Seni ITS, vol. 4, no. 1, hal. B26-B31.
- [15] Hikmah, I., & Prajitno, G. 2015, *Pengaruh Penggunaan Gel-Electrolyte pada Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) berbasis TiO₂ Nanopartikel dengan Ekstrak Murbei (Morus) sebagai Dye Sensitizer pada Substrat Kaca ITO*, Jurnal Sains dan Seni ITS, vol. 4, no.1, hal. B5-B10.
- [16] Wikipedia contributors. Full width at half maximum. Wikipedia, The Free Encyclopedia. July 28, 2017, 17:39 UTC. Dilihat 14 Agustus 2017, https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Full_width_at_half_maximum&oldid=792786790.
- [17] Weisstein, Eric W. "Full Width at Half Maximum." From *MathWorld*—A Wolfram Web Resource, dilihat 14 Agustus 2017,

<http://mathworld.wolfram.com/FullWidthatHalfMaximum.html>

- [18] W., Wilda Satriani, Abdullah, Bualkar, Gareso, Paulus L. & Tahir, Dahlang
*“Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) with Natural Dyes Extracted
from Jatropha Leaves and Purple Chrysanthemum as Sensitizer”*
(Akan dipublikasikan di Jurnal Internasional)

LAMPIRAN

Lampiran

Lampiran 1 nanopartikel TiO₂



Lampiran 2 Bahan dasar dye

Daun jarak



Bunga krisan ungu



Lampiran 3 alat yang digunakan dalam penelitian

Magnetic Stirrer



Furnace



Neraca Ohaus



Lampiran 4 alat karakterisasi

XRD



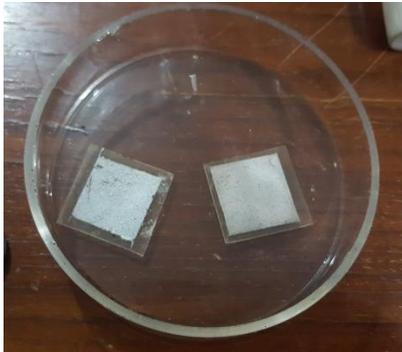
FTIR



UV-Vis



Lampiran 5 gambar working elektroda



Lampiran 6 counter elektroda



Lampiran 7 perendaman lapisan TiO₂ pada dye

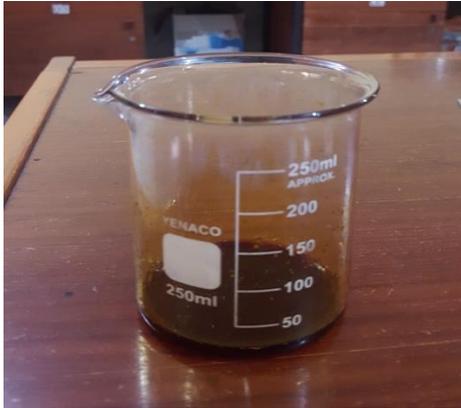
Daun Jarak



Bunga krisan ungu



Lampiran 8 larutan elektrolit



Lampiran 9 sandwich DSSC



Lampiran 10 Rangkaian pengujian performansi DSSC

