



TUGAS AKHIR - SF 141501

STUDI PENGGUNAAN *DYE* ANTOSIANIN KULIT MANGGIS, *DYE* SINTETIS N749, DAN KUANTUM DOT CDSE TERHADAP KARAKTERISTIK OPTIK PROTOTIPE *DYE* SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)

Ichsanul Huda
Nrp 1112 100 008

Dosen Pembimbing
Endarko, Ph.D

Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - SF 141501

**STUDY OF THE USE OF MANGOSTEEN, N-749
BLACK DYES AND COLLOIDAL CDSE QUANTUM
DOTS FOR OPTICAL CHARACTERISTICS OF DYE-
SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)**

Ichsanul Huda
NRP 1112 100 008

Advisor
Endarko, Ph.D

Department of Physics
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

HALAMAN PENGESAHAN

STUDI PENGGUNAAN *DYE* ANTOSIANIN KULIT MANGGIS, *DYE* SINTETIS N749, DAN KUANTUM DOT CDSE TERHADAP KARAKTERISTIK OPTIK PROTOTYPE *DYE* SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Instrumentasi
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
ICHSANUL HUDA
NRP 1112100008

Disetujui oleh Tim Pembimbing Tugas Akhir

Endarko, Ph.D
19741117.199903.1.007



Juli, 2016

**STUDI PENGGUNAAN *DYE* ANTOSIANIN KULIT
MANGGIS, *DYE* SINTETIS N749, DAN KUANTUM
DOT CDSE TERHADAP KARAKTERISTIK OPTIK
PROTOTYPE *DYE* SENSITIZED SOLAR CELL
(DSSC)**

Nama : Ichsanul Huda
NRP : 1112100008
Jurusan : Fisika FMIPA-ITS
Pembimbing : Endarko, Ph.D

ABSTRAK

Dye-Sensitized Solar Cell berbasis *dye* anotosianin kulit manggis, *dye* sintetis N-749, kuantum dot koloid CdSe, dan *dye* antosianin kulit manggis dengan penambahan *dye* sintetis N-749 dan kuantum dot koloid CdSe sebagai pewarna sensitizer telah dibuat dan karakterisasi. Penambahan *dye* sintetis N-749 dan kuantum dot koloid CdSe bertujuan untuk meningkatkan kinerja fotosensitizer dalam penyerapan cahaya sehingga mampu meningkatkan efisiensi DSSC. Lima jenis *dye* sensitizer digunakan dalam studi disiapkan, yaitu 100% *dye* antosianin kulit manggis (tipe 1), 100% *dye* sintetis N-749 (tipe 2), 100% kuantum dot CdSe (tipe 3), 20% *dye* sintetis N-749 + 80% *dye* antosianin kulit manggis (tipe 4), dan 20% kuantum dot CdSe + 80% *dye* antosianin kulit manggis (tipe 5). Penambahan ini terbukti lebih meningkatkan penyerapan cahaya, mempersempit energi gap fotosensitizer, dan meningkatkan efisiensi DSSC daripada hanya menggunakan *dye* sensitizer berupa *dye* antosianin kulit manggis, *dye* sintetis N-749, dan kuantum dot CdSe saja sebagai pewarna sensitizer untuk DSSC. Selanjutnya, efisiensi dapat ditingkatkan sekitar 134.1% dan 106.3%, masing-masing, dibandingkan dengan hanya menggunakan *dye* antosianin kulit manggis saja sebagai *dye* sensitizer.

Kata kunci: *Dye-Sensitized Solar Cell*, *dye* antosianin kulit manggis, *dye* sintetis N-749 energi gap, kuantum dot CdSe

STUDY OF THE USE OF MANGOSTEEN, N-749 BLACK DYES AND COLLOIDAL CDSE QUANTUM DOTS FOR OPTICAL CHARACTERISTICS OF DYE- SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)

Name : Ichsanul Huda
Student Identity Number : 1112100008
Mayor : Fisika FMIPA-ITS
Advisor : Endarko, Ph.D

ABSTRACT

Dye-Sensitized Solar Cell based on mangosteen, N-749 dyes, colloidal CdSe quantum dots, and mangosteen with the addition of N-749 dyes and Colloidal CdSe Quantum Dots as dye sensitizer have been fabricated and characterized. The addition of N-749 dyes and Colloidal CdSe Quantum Dots aims to improve the performance of the photosensitizer in the absorption of light so that can improve the efficiency of DSSC. Five types dye sensitizers preapred in this study, namely 100% mangosteen (type 1), 100% N-749 dyes (type 2), 100% CdSe quantum dot(type 3), 20% N-749 dyes + 80% of mangosteen (type 4), and 20% of CdSe quantum dot + 80% of mangosteen (type 5). These additions are proven to enhance absorption of light, narrow the band gap of the photosensitizer, and improve the efficiency of DSSC compared to the only use of mangosteen, N-749 dyes, and CdSe quantum dot as dye sensitizer for the DSSC. Furthermore, the efficiency can be enhanced around 134.1 dan 106.3%, respectively, compared to the only use of mangosteen as dye sensitizer.

Keywords: *band gap energy, Colloidal CdSe Quantum Dot, Dye-Sensitized Solar Cell, Mangosteen, Synthesis Dye N-749*

KATA PENGANTAR

Segala puji penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala yang telah melimpahkan nikmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir di jurusan Fisika FMIPA ITS dengan judul

STUDI PENGGUNAAN *DYE* ANTOSIANIN KULIT MANGGIS, *DYE* SINTETIS N749, DAN KUANTUM DOT CDSE TERHADAP KARAKTERISTIK OPTIK PROTOTIPE *DYE* SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)

Penulis menyadari bahwa selesainya penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari pertolongan Allah kemudian dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis memuji Allah dan bersyukur kepada-Nya dan tidak lupa pula penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak di antaranya :

1. Keluarga tercinta, Ayah, Ibu, dan saudara-saudara yang telah memberikan semangat, nasehat, kasih sayang, dan do'a restunya bagi penulis.
2. Bapak Endarko Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir yang senantiasa memberikan bimbingan, wawasan, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Yono Hadi P., M. Eng selaku Ketua Jurusan Jurusan Fisika FMIPA ITS yang telah memberikan kemudahan sarana kepada penulis selama kuliah sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
4. Segenap teman-teman Fisika MESON 2012 yang telah memberikan *support* terbaik bagi penulis.
5. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dalam penyusunan laporan ini masih terdapat kesalahan. Mohon kritik dan saran yang membangun guna menyempurnakan laporan ini. Akhir kata semoga laporan tugas akhir ini bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

Surabaya, Mei 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sel Surya	5
2.2 <i>Dye</i> Sensitized Solar Cell (DSSC)	5
2.3 Komponen DSSC	6
2.4 Prinsip Kerja DSSC	9
2.5 <i>Dye</i> Antosianin Kulit Manggis	11
2.6 <i>Dye</i> N-749	14
2.7 Kuantum Dot CdSe	15
2.8 Energi Gap	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Peralatan dan Bahan	19
3.1.1 Peralatan	19
3.1.2 Bahan	19
3.2 Prosedur Penelitian	19
3.2.1 Persiapan	22
3.2.2 Sintesis Serbuk TiO ₂	22
3.2.3 Pembuatan Pasta TiO ₂	23
3.2.4 Pendeposisian Pasta TiO ₂ Pada Kaca ITO	24
3.2.5 Pembuatan Larutan <i>Dye</i>	24
3.2.7 Karakterisasi Absorbansi Larutan <i>Dye</i>	26
3.2.8 Perendaman Elektroda Kerja	27
3.2.9 Pembuatan Elektrolit Gel	27

3.2.10 Pembuatan Elektroda Pembanding.....	27
3.2.11 Pembuatan Sandwich DSSC	27
3.2.13 Pengujian Performansi DSSC	28
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Karakterisasi Serbuk TiO ₂ Nanokristal Sebagai Semikonduktor Oksida Pada DSSC.....	29
4.1.1 Fase TiO ₂	30
4.1.2 Ukuran Kristal TiO ₂	31
4.1.3 Energi Gap TiO ₂	32
4.2 Karakterisasi Optis Fotosensitizer	33
4.2.1 Spektrum Absorbansi Fotosensitizer	35
4.2.2 Energi Gap Fotosensitizer	38
4.2.3 Pengaruh Penambahan <i>Dye</i> N-749 dan Kuantum Dot CdSe terhadap Energi gap <i>Dye</i> Antosianin Kulit Manggis.....	38
4.3 Performansi DSSC dengan Pengujian Arus dan Tegangan yang Dihasilkan	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran.....	49
Daftar Pustaka.....	51
Lampiran.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Susunan DSSC	6
Gambar 2.2 Penelitian tentang DSSC	9
Gambar 2.3 Prinsip Kerja DSSC.....	10
Gambar 2.4 Tanaman yang mengandung Anthocyanins.....	12
Gambar 2.5 Struktur Anthocyanins	13
Gambar 2.6 Struktur kimia <i>Dye</i> N-749	14
Gambar 2.7 Kuantum Dot	15
Gambar 2.8 Pita Energi Kuantum Dot	16
Gambar 2.9 Pita Energi Sambungan p-n Semikonduktor	18
Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian.....	20
Gambar 3.11 Diagram Alir pembuatan <i>Dye</i> Sensitizer	21
Gambar 3.12 Sintesis TiO ₂ dengan Metode Kopresipitasi.....	23
Gambar 3.13 Teknik Pendeposisian Pasta TiO ₂ dengan Doktor Blade	24
Gambar 3. 14 Variasi Penggunaan Sensitizer	25
Gambar 3.15 Pembuatan <i>dye</i> antosianin kulit manggis.....	26
Gambar 3.16 Pengujian Spektrometer UV-Vis.....	26
Gambar 3.17 Teknik Packaging Sandwich DSSC	28
Gambar 4.18 Hasil uji XRD TiO ₂ fase Anatase	31
Gambar 4.19 Energi gap TiO ₂ fase Anatase.....	33
Gambar 4.20 Spektrum Absorbansi Fotosensitizer (<i>Dye</i> Antosianin Kulit Manggis, <i>Dye</i> sintetis N-749, Kuantum Dot Koloid CdSe)	35
Gambar 4.21 Spektrum absorbansi fotosensitizer	37
Gambar 4.22 Perbandingan Performansi kinerja DSSC berbasis <i>Dye</i> antosianin, <i>Dye</i> Sintetis N-749 dan Kuantum Dot CdSe.....	41
Gambar 4.23 Karakteristik Arus dan Tegangan (I-V) sebuah sel surya	42
Gambar 4.24 Perbandingan Performansi kinerja DSSC berbasis <i>Dye</i> antosianin sebelum dan sesudah penambahan <i>dye</i> Sintetis N-749 dan Kuantum Dot CdSe	45
Gambar 4.25 Perbandingan Performansi kinerja DSSC berbasis <i>Dye</i> antosianin, Kuantum Dot CdSe dan campuran keduanya	46
Gambar 4.26 Perbandingan Performansi kinerja DSSC berbasis <i>Dye</i> antosianin, <i>dye</i> Sintetis N-749 dan Campuran keduanya.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Senyawa pengganti pada struktur antosianin dan tipe antosianin	13
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Energi Gap Fotosensitizer	38
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Energi Gap Campuran Fotosensitizer	39
Tabel 4.4 Hasil pengujian I-V Meter Keithley pada penggunaan <i>Dye</i> Antosianin kulit manggis, <i>dye</i> sintetis N-749 dan Kuantum Dot koloid CdSe.....	40
Tabel 4.5 Hasil pengujian I-V Meter Keithley pada penggunaan <i>Dye</i> Antosianin kulit manggis sebelum dan sesudah penambahan <i>dye</i> sintetis N-749 dan Kuantum Dot koloid CdSe	44
Tabel 4.6 Hasil pengujian I-V Meter Keithley pada penggunaan <i>Dye</i> Antosianin kulit manggis, Kuantum Dot koloid CdSe, dan pencampuran keduanya	46
Tabel 4.7 Hasil pengujian I-V Meter Keithley pada penggunaan <i>Dye</i> Antosianin kulit manggis, <i>Dye</i> N-749, dan pencampuran keduanya	47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dye sensitizer Solar Cell (DSSC) yang ditemukan oleh Michael Gratzel pada tahun 1991 merupakan motor pengembangan sel surya generasi ketiga. DSSC merupakan jawaban dari permasalahan yang dihadapi oleh sel surya generasi pertama dan kedua yaitu tingkat kesulitan dalam hal farbrikasi dan mahalnya biaya pembuatan (Shauddin, 2013). DSSC yang merupakan jenis sel surya berbasis material organik, memiliki potensi untuk diproduksi dengan biaya yang lebih murah dan proses pembuatan pembuatan yang lebih mudah (Bendall et al., 2011). DSSC terdiri dari beberapa komponen yaitu ; molekul pewarna, semikonduktor oksida yang memiliki pita celah lebar, transparent conducting oxide (TCO), dan elektrolit (Lee and Mengjin, 2011). Masing-masing komponen tersebut memiliki peran yang sangat besar dalam menentukan efisiensi DSSC. Akan tetapi Wongcharee, dkk. pada tahun 2007 menjelaskan bahwa komponen yang terpenting pada DSSC adalah molekul pewarna (*dye sensitizer*), karena penggunaan molekul pewarna sangat mempengaruhi spektrum cahaya yang dapat diserap oleh DSSC dan juga kemampuan untuk melekat pewarna di dalam permukaan semikonduktor sangat menentukan efisiensi dari DSSC.

Pewarna yang menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 11-12% adalah *ruthenium complex* (Chiba et al., 2006). Namun *ruthenium complex* mengandung logam berat yang dapat mencemari lingkungan, serta proses sintesisnya sangat rumit dan membutuhkan biaya yang mahal. Alternatif pewarna yang ramah lingkungan dan biayanya cukup murah adalah pewarna alami (Wongcharee et al., 2007). Beberapa tanaman yang digunakan sebagai pewarna alami adalah buah delima dengan efisiensi 1,5 %, buah naga dengan efisiensi 0,22 %, kulit manggis dengan efisiensi 1,17 %, bunga mawar cina dengan efisiensi 0,27 % , buah kopi dengan efisiensi 0,33%. Dari sekian banyak pewarna alami,

manggis menjadi jenis tanaman lokal yang menjanjikan untuk digunakan sebagai *fotosensitizer* pada DSSC, mengingat jumlah tanaman ini melimpah di Indonesia. Hasil panen buah manggis di Indonesia pada tahun 2015 mencapai 79.073 ton

Pewarna alami yang digunakan sebagai *sensitizer* pada DSSC sangat menjanjikan. Meskipun *lifetime* dan absorbansinya masih terbilang rendah (Hao et al., 2006). Sehingga dilakukan berbagai cara untuk meningkatkan *lifetime* dan absorbansi dari pewarna alami, seperti yang dilakukan oleh (Pratiwi, 2016) yaitu dengan cara penambahan *dye* sintesis N-719 kedalam *dye* klorofil, yang mampu meningkatkan efisiensi sebesar 95% dari sebelumnya. Dan saat ini Dunia nanopartikel dikejutkan dengan penelitian kuantum dot beragam ukuran. Hal ini dikarenakan, kuantum dot merupakan nanopartikel dari bahan semikonduktor yang dapat memancarkan cahaya. Kuantum dot yang memiliki sifat optik berkesesuaian dengan spektrum cahaya matahari adalah kuantum dot CdSe(Nguyen, 2010a). Berdasarkan uraian yang telah disebutkan, maka melalui penelitian ini akan dilakukan pengembangan penelitian tentang penambahan *dye* sintesis N-749 dan Kuantum dot koloid CdSe terhadap *dye* antosianin kulit manggis untuk meningkatkan *lifetime* dan rentang absorbansinya

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakterisasi sifat optik dari *dye* antosianin kulit manggis, *dye* sintesis N-749, dan kuantum dot koloid CdSe yang di uji dengan Spektrometer UV-Vis.
2. Bagaimana pengaruh penambahan *dye* N-749 dan kuantum dot karakteristik optik *dye* Antosianin kulit manggis yang diuji dengan Spektrometer UV-Vis.
3. Bagaimana cara membuat prototipe DSSC berbasis *dye* antosiain, *dye* sintesis N-749 dan kuantum dot CdSe yang dapat mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik.

4. Bagaimana pengaruh karakteristik optik fotosintizer yang digunakan terhadap performansi prototipe DSSC yang dihasilkan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu

1. Mengetahui karakterisasi sifat optik dari *dye* antosianin kulit manggis, *dye* sintetis N-749, dan kuantum dot koloid CdSe yang di uji dengan Spektrometer UV-Vis.
2. Mengetahui pengaruh penambahan *dye* sintetis N-749, dan kuantum dot CdSe terhadap karakteristik optik *dye* antosianin kulit manggis.
3. Membuat prototipe DSSC berbasis *dye* antosianin kulit manggis, *dye* sintetis N-749 dan kuantum dot koloid CdSe yang dapat mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik.
4. Mengetahui pengaruh karakteristik optik fotosintizer yang digunakan terhadap performansi prototipe DSSC yang dihasilkan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu

1. Bahan semikonduktor yang digunakan sebagai elektroda kerja adalah nanopartikel TiO₂ dengan fase anatase, dan tidak dibahas secara rinci mengenai pengaruh zat-zat yang dipakai dalam proses pembuatan.
2. Teknik pendeposisian pasta TiO₂ pada kaca konduktif dilakukan menggunakan teknik doctor blade dengan ketebalan 10 μm dan luas 2 cm². Tidak dilakukan variasi teknik, ketebalan, dan luas permukaan TiO₂ terdepresiasi.
3. *Dye* yang digunakan adalah *dye* antosianin ekstrak kulit manggis (Garcia), *dye* N-749 yang merupakan produk dari Sigma Aldrich, dan kuantum dot koloid CdSe. Karakterisasi yang akan dilakukan terkait dengan *dye* ini adalah mengetahui karakteristik absorpsi *dye* terhadap panjang gelombang

cahaya, dan tidak diteliti secara rinci karakteristik mengenai interaksi *dye* terhadap lapisan TiO₂ dan elektrolit.

4. Proses dan karakterisasi arus dan tegangan (I-V) dilakukan di Laboratorium Fisika ITB, dengan pengujian menggunakan Alat Keithley I-V meter dibawah penyinaran sebuah lampu halogen dengan intensitas 100mW/cm², dan tidak dilakukan variasi sumber sinar lainnya.

1.5 Manfaat Penelitian

Sistematika penulisan tugas akhir ini, tersusun dalam lima bab yaitu: Bab 1: Pendahuluan berisi latar belakang masalah, maksud dan tujuan, perumusan masalah dan manfaat tugas akhir. Bab 2: Tinjauan Pustaka berisi mengenai kajian pustaka yang digunakan pada tugas akhir. Bab 3: Metodologi Penelitian berisi tentang metode dan tahap pengambilan data. Bab 4: Analisa Data dan Pembahasan berupa hasil data yang diperoleh, serta analisa yang dilakukan. Bab 5: Kesimpulan berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Manfaat utama dari penelitian ini adalah sebagai memberi gagasan dan pengembangan dalam bidang riset fotovoltaik sebagai energi terbarukan yang mudah dalam pembuatannya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sel Surya

Sel surya merupakan suatu perangkat yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik secara langsung berdasarkan efek photovoltaik. Energi surya dengan sifatnya berupa partikel sampai ke bumi dalam bentuk paket-paket energi (foton) dengan radiasi yang tidak konstan, sehingga memiliki perbedaan tingkat energi (Puspitasari, 2012). Perbedaan tingkat energi inilah yang menentukan panjang gelombang penyusun spektrum cahaya. Dan hanya panjang gelombang yang berkesuaian saja yang dapat diserap oleh sel surya dan kemudian menghasilkan energi listrik (Green, 1982).

Saat ini sel fotovoltaik sudah mengalami banyak perkembangan, sel fotovoltaik terbagi menjadi 3 generasi. Sel fotovoltaik generasi ke-I yang terdiri semikonduktor monogap dari kristal tunggal silisium (Si) atau poly-grain Si. Sel fotovoltaik generasi ke-II yang terdiri dari bahan lapisan film tipis: silisium amorf, polikristalin silisium, CuInSe₂, CuInGaS, CdTe, *Dye sensitizer* Solar Cells (DSSC) dan sel fotovoltaik alami. Sel fotovoltaik generasi ke-III yang terdiri dari: sel tandem multi celah, sel surya pembawa elektron panas, sel surya pembentukan multi eksitasi, sel fotovoltaik pita intermediat, sel surya kuantum dot dan sel termofotovoltaik (Green, 2003).

2.2 Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Michael Gratzel dan Brian O'Regan berhasil menemukan sel surya generasi baru pada tahun 1991 yaitu *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Saat ini DSSC telah menjadi salah satu motor pengembangan solar cell alternatif pengganti solar cell konvensional. DSSC merupakan terobosan awal dalam teknologi sel surya sejak sel surya silikon. Berbeda dengan sel surya konvensional, DSSC adalah sel surya fotoelektrokimia menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan. DSSC

didasarkan pada persambungan antara bahan semikonduktor dengan cairan elektrolit yang mengandung pasangan reduksi dan oksidasi. Pada DSSC terdapat *dye sensitizer* yang berperan untuk membuat sel surya menjadi peka terhadap cahaya, dan menginjeksikan elektron menuju bahan semikonduktor (Smestad and Gratzel, 1998)

2.3 Komponen DSSC

Struktur DSSC terdiri dari dua elektroda yaitu elektroda kerja berbasis TiO_2 tersensitisasi *dye* dan elektroda pembanding terkatalis, yang mengapit elektrolit membentuk sistem sel fotovoltaik yang biasa disebut sebagai sandwich DSSC (Maddu et al., 2009). Sandwich DSSC dapat diamati pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Susunan DSSC

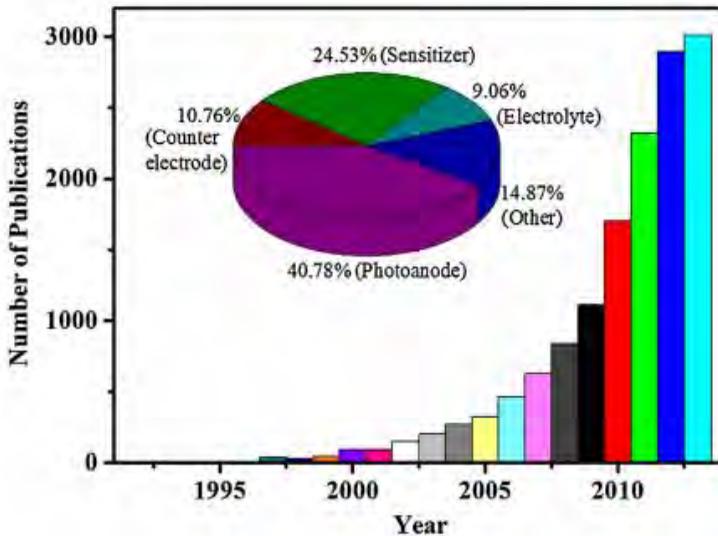
Susunan DSSC seperti terlihat Gamabr 2.1 dapat dibagi menjadi:

1. Kaca konduktif: Kaca konduktif merupakan tempat melekatnya material DSSC. Keunggulan dari kaca konduktif adalah sifatnya dapat ditembus cahaya meskipun konduktif secara elektrik (Puspitasari, 2012). Pada penelitian ini digunakan kaca Indium-doped Tin Oxide (ITO). Hal ini dikarenakan ITO memiliki nilai resistansi terkecil diantara kaca konduktif lainnya

2. Lapisan Semikonduktor: Penggunaan layer oksida semikonduktor dalam elektrokimia dikarenakan kestabilannya menghadapi fotokorosi. Selain itu semikonduktor oksida yang digunakan harus memiliki struktur nanopori yang dapat membuat *dye* yang teradsorpsi semakin banyak sehingga kinerja sistem lebih stabil (Handini, 2008). Penggunaan Titanium Dioksida (TiO_2) fase anatase karena memiliki sifat fotoaktif yang tinggi sehingga efektifitas penyerapan sinar matahari juga akan lebih baik (Maddu et al., 2009). Dilakukan Penambahan PEG 4000 pada pembuatan pasta TiO_2 fasa anatase untuk meningkatkan efisiensi yang dihasilkan (Sugiono, 2015)
3. *Dye*: suatu material yang berfungsi untuk menangkap foton cahaya. Dapat dikatakan bahwa *dye* berperan sebagai donor elektron ketika proses menyerap cahaya (Halme, 2002). *Dye* yang efisien harus memiliki sifat optik dan karakteristik penyerapan yang intens pada daerah cahaya tampak dan memiliki sifat absorpsi kimia yang kuat ke permukaan TiO_2 (Bang et al., 2012). Sejauh ini ada tiga jenis *dye* sensitizer yang digunakan pada DSSC yaitu *dye* alami, *dye* sintetis dan kuantum dot. Pada penelitian ini digunakan variasi tiga jenis *dye* yaitu *dye* antosianin kulit manggis, *dye* sintetis N-749, dan kuantum dot CdSe.
4. Elektrolit: DSSC menggunakan elektrolit yang terdiri dari pasangan iodine (I^-) dan triiodide (I_3^-) sebagai pasangan reaksi reduksi-oksidasi (redoks) dalam pelarut. Kekurangan dari elektrolit cair adalah adanya ketidakstabilan yang disebabkan oleh jenis pelarut yang digunakan yaitu pelarut organik (Smestad and Gratzel, 1998). Elektrolit berfasa gel menjadi alternatif terbaru untuk mengatasi permasalahan pada Elektrolit cair. Terdapat beberapa bahan polimer yang dapat digunakan untuk elektrolit gel. Bahan polimer yang menghasilkan efisiensi tertinggi adalah polyethylene glycol (PEG) (Tu et al., 2008).

5. Katalis: katalis pada DSSC berfungsi untuk mempercepat proses reduksi ion triiodide pada kaca substrat. Kemampuan karbon untuk menjadi katalis tidak sebaik platinum dan emas (Nath et al., 2013). Namun mahalnnya harga platina dan emas menyebabkan penggunaan karbon dapat menjadi alternatif yang menjanjikan dengan keunggulannya mengatasi mahalnnya biao yang harus dikeluarkan (*low-cost*) (Silviyanti, 2013). Pada penelitian ini digunakan black carbon untuk meningkatkan efisiensi yang dihasilkan (Candra, 2015).

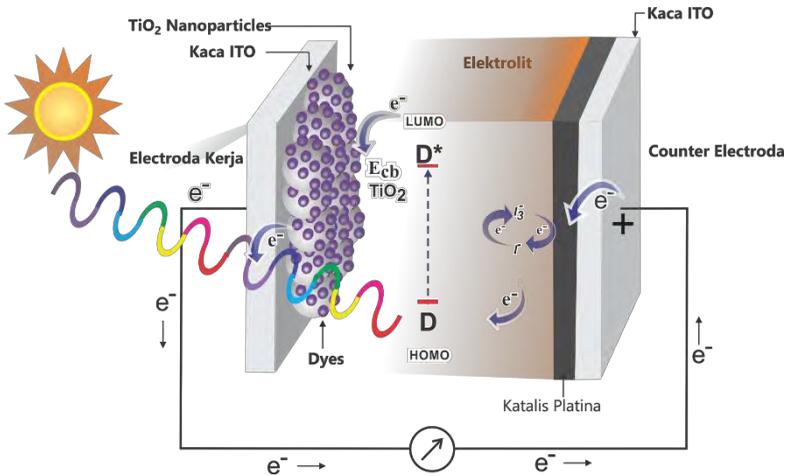
Saat ini telah banyak dilakukan penelitian untuk meningkatkan performa DSSC. Terhitung sampai tahun 2013 lebih dari 3000 jurnal telah diterbitkan tentang penelitian DSSC ini (Gambar 2.2). Jumlah ini semakin bertambah semakin seiring dengan bertambahnya tahun. Pengembangan dengan jumlah terbesar adalah pada fotoanoda. Pada penelitian ini di pengembangan DSSC difokuskan pada penggunaan sensitizer. Sensitizer yang digunakan adalah *dye* alami, *dye* sintetis, kuantum dot, dan penggabungan antara *dye* alami dengan *dye* sintetis serta penggabungan antara *dye* alami dengan kuantum dot.



Gambar 2.2 Penelitian tentang DSSC

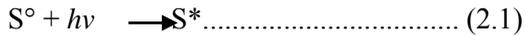
2.4 Prinsip Kerja DSSC

DSSC yang terdiri dari elektroda kerja, elektroda pembanding dan elektrolit memiliki fungsinya masing-masing. Elektroda kerja terdiri dari ITO (Indium Tin Oxide) sebagai substrat, TiO_2 sebagai kolektor elektron, *dye* sebagai penyerap cahaya dan donor elektron. Elektroda pembanding berupa kaca ITO yang dilapisi dengan karbon sebagai katalis. Sedangkan elektrolit yang digunakan sebagai media transfer elektron (Smestad and Gratzel, 1998). Berbeda dengan sel surya konvensional, DSSC merupakan sel surya berbasis fotoelektrokimia sehingga menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan. Pada dasarnya prinsip kerja DSSC mengkonversi energi cahaya ke listrik dalam skala molekular dalam bentuk reaksi dari transfer elektron (Halme, 2002). Prinsip kerja DSSC dapat kita lihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Prinsip Kerja DSSC (Nugroho, 2015)

Ketika foton mengenai elektroda kerja pada DSSC, energi foton tersebut diserap oleh *dye* sensitizer sehingga elektron tereksitasi dari *ground state* (S°) ke *excited state* (S^*) (Sugiono, 2015).



Pada keadaan ini timbul medan listrik antara grup COOH *dye* dengan lapisan TiO_2 . COOH melepaskan ion H^+ dan teradsorpsi ke lapisan TiO_2 sehingga *dye* bermuatan lebih negatif. Kemudian akan terjadi aliran elektron dari *dye* menuju TiO_2 meninggalkan hole dan menyebabkan *dye* teroksidasi (S^+) (Sugiono, 2015).



Elektron pada TiO_2 bergerak ke daerah konduktif menuju rangkaian luar dan kemudian mencapai elektroda pembanding dan setelah itu bergerak menuju elektrolit. Pergerakan elektron dari elektroda pembanding menuju elektrolit dapat dipercepat dengan memanfaatkan karbon sebagai katalis (Sugiono, 2015).

Elektrolit mempunyai peran pada DSSC dengan kemampuannya mengalami reaksi reduksi sekaligus reaksi oksidasi. Elektrolit redoks yang sering digunakan berupa elektrolit cair berbasis iodine yang merupakan pasangan iodide dan triiodide (I^-/I_3^-) (Sugiono, 2015).

Penggunaan elektrolit cair ini memiliki kekurangan karena masih mengalami kebocoran dan cepat menguap. Oleh karena itu, elektrolit cair diubah menjadi elektrolit gel dengan penambahan polimer. Polimer yang sering digunakan adalah PEG (*polyethylene glycole*). Pasangan iodide dan triiodide (I^-/I_3^-) sangat berperan dalam siklus yang dialami oleh sel DSSC. Triiodida dari elektrolit yang terbentuk berperan untuk menangkap elektron yang berasal dari rangkaian luar dengan bantuan molekul karbon sebagai katalis. Sementara iodide berperan untuk mereduksi *dye* yang telah mengalami oksidasi (Sugiono, 2015).



Proses reduksi *dye* yang dilakukan oleh iodide dari elektrolit menyebabkan terjadinya pergerakan hole dari molekul *dye* ke elektrolit dan pergerakan elektron dengan arah yang sebaliknya pada persambungan elektrolit dengan molekul *dye*, sehingga *dye* kembali ke keadaan awal dengan persamaan reaksi reduksi (Halme, 2002).



2.5 Dye Antosianin Kulit Manggis

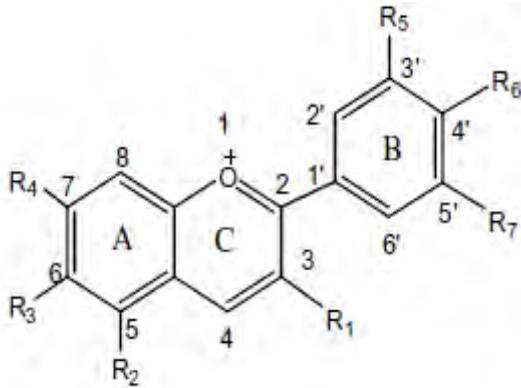
Dye alami merupakan alternatif yang sangat menjanjikan jika ditinjau dari segi biaya, kelimpahannya di alam dan ramahnya terhadap lingkungan. *Dye* alami berasal dari pigmen tanaman yang diantaranya adalah *Betacyanins*, *Carotenes*, *Xanthophylls*, *Chlorophyll* dan *Anthocyanins* (Narayan, 2011). Dari berbagai jenis pigmen tanaman yang sering digunakan sebagai fotosensitizer adalah *Anthocyanins*. *Anthocyanins* adalah zat yang memberikan warna merah, biru dan ungu pada buah, bunga, sayur dan daun (Ngo, dkk., 2009). *Anthocyanins* dari berbagai jenis tanaman

memberikan performansi penyerapan yang berbeda-beda (Narayan, 2011). Gambar 2.4 merupakan contoh tanaman Indonesia yang mengandung *Anthocyanins* yaitu buah manggis pada kulitnya (Agustini, 2013). *Dye sensitized solar cell* dengan pewarna kulit manggis menghasilkan efisiensi sebesar 1.17 % (Narayan, 2011).



Gambar 2.4 Tanaman yang mengandung Anthocyanins (Lestari, 2014)

Kulit manggis menjadi *dye* alami yang memiliki potensi yang sangat besar. Karena jumlah panen manggis begitu melimpah setiap tahunnya. Tercatat dari dinas pertanian hasil panen manggis di Indonesia telah mencapai 100.000 ton pertahun. Dan jumlah ini masih terus ingin dikembangkan oleh pemerintah. Dari sekian banyak hasil panen, kita ketahui bahwa jumlah kulit manggis adalah 80% dari keseluruhannya. Selain itu rentang absorpsi terhadap cahaya matahari dari *dye* alami antosianin sangat berkesesuaian dengan TiO_2 yaitu pada rentang 387nm sampai 413nm (Lestari, 2014).



Gambar 2.5 Struktur Anthocyanins (Ovando, dkk., 2008)

Gambar 2.5 merupakan struktur antosianin secara umum. R1, R2, R3, R4, R5, R6 dan R7 pada gambar 2.5 merupakan sebuah simbol. Simbol-simbol tersebut akan diganti dengan senyawa (-H) dan (-OH). Peletakan senyawa-senyawa tersebut pada setiap simbol akan menghasilkan tipe antosianin tertentu (Tabel 2.1).

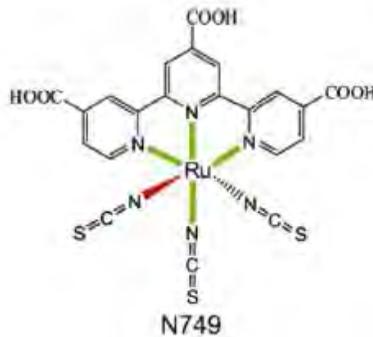
Tabel 2.1 Senyawa pengganti pada struktur antosianin dan tipe antosianin (Ovando, dkk., 2008)

Senyawa Penganti							Nama
R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	
H	OH	H	OH	H	OH	H	<i>Apigeninidin</i>
OH	OH	OH	OH	H	OH	H	<i>Aurantininidin</i>
OH	OH	H	OH	OH	OH	H	<i>Cyanidin</i>
OH	OH	H	OH	OH	OH	OH	<i>Delphinidin</i>
H	OH	H	OH	OH	OH	H	<i>Luteolin</i>
OH	OH	H	OH	H	OH	H	<i>Pelargonidin</i>
OH	H	OH	OH	H	OH	H	<i>Riccionidin A</i>
H	OH	H	OH	OH	OH	OH	<i>Tricetinidin</i>

Antosianin sendiri terdiri dari banyak jenis, kandungan antosianin dari buah yang berbeda memiliki jenis yang berbeda pula. Antosianin kulit manggis merupakan jenis cyanidin.

2.6 Dye N-749

Dye sintesis sebenarnya telah memiliki kemampuan yang menjanjikan dalam penyerapan cahaya matahari, akan tetapi *dye* sintesis yang merupakan turunan dari *Ruthenium complex* sangat sulit untuk disintesa sehingga membutuhkan biaya yang cukup mahal. Selain *ruthenium complex* juga merupakan logam berat yang dapat mencemari lingkungan. *Dye* sintesa yang memiliki efisiensi tertinggi adalah *Dye N-749 (Black dye)* (Bang dkk., 2012). *Dye N-749* merupakan nama produk dari Sigma Aldrich dengan rumus empirisnya adalah $C_{69}H_{116}N_9O_6RuS_3$. Struktur kimia *dye* ini ditunjukkan pada Gambar 2.6

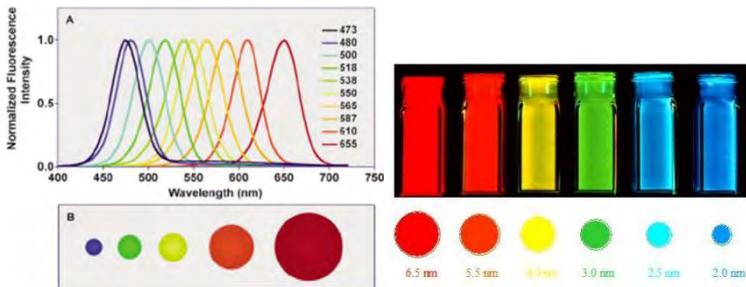


Gambar 2.6 Struktur kimia *Dye N-749* (Bang S.Y, 2012)

Dye ini berwarna hijau kehitaman dan memiliki terpyridyl ligan sekitar logam ruthenium. Penyerapan untuk *dye N749* adalah sekitar 860 nm (Bang dkk., 2012). Unsur ruthenium (Ru) dalam Ruthenium kompleks mengikat unsur-unsur lainnya yang saling berkaitan dan memiliki gugus karboksil yang berfungsi untuk menempelkan diri pada permukaan semikonduktor oksida hingga sebagai pendonor elektron (Green, 2003).

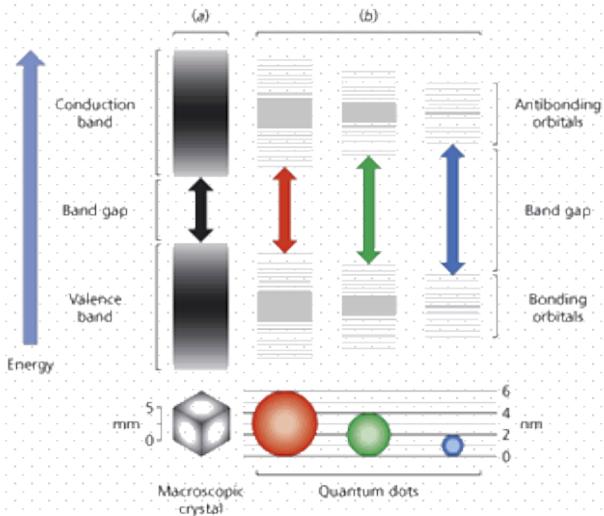
2.7 Kuantum Dot CdSe

Kuantum dot semikonduktor adalah kumpulan molekul-molekul semikonduktor dengan ukuran dalam orde nanometer. Kuantum dot disebut juga atom artificial (artificial atom) karena sebagaimana halnya atom, elektron dan hole di dalam kuantum dot terkurung dan terbatas gerakannya dalam arah tiga dimensi sehingga tingkat-tingkat energinya bernilai diskrit dengan rapat keadaan berupa fungsi delta. Elektron-hole yang terkurung di dalam kuantum dot akan terbebas dari perangkap cacat-cacat non-radiatif material sehingga efisiensi energinya meningkat dan berpotensi untuk diaplikasikan pada piranti laser dan sel surya. (Arsyad et al., 2009). Material yang digunakan untuk membuat QDs adalah material semikonduktor, seperti GaN (Gallium Nitride), CdSe (Cadmium Selenide), CdTe, GaAs (Gallium Arsenide) dan lain-lainnya (Isnaeni,dkk., 2014).



Gambar 2.7 Kuantum Dot CdSe (Smith et al., 2004)

Kuantum dot dari material yang sama dapat memiliki rentang absorpsi dan emisi yang berbeda-beda bergantung pada ukuran partikel dari kuantum dot (Gamabr 2.7). Sehingga kuantum dot dari jenis material yang sama juga memiliki energi gap yang berbeda-beda. Semakin kecil ukuran kuantum dot maka energi gapnya semakin besar. Seperti yang kita lihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Pita Energi Kuantum Dot (Reimann dan Manninen, 2002)

Pada penelitian ini kuantum dot yang digunakan adalah kuantum dot CdSe, hal ini dikarenakan kuantum dot CdSe merupakan kuantum dot yang memiliki sifat optik paling bersesuaian dengan spektrum cahaya matahari (Nguyen, 2010).

2.8 Energi Gap

Suatu bahan jika ditinjau berdasarkan struktur pita energi dibedakan menjadi tiga macam, yakni konduktor, isolator, dan semikonduktor. Diantara ketiga jenis bahan tersebut memiliki besar celah pita energi yang berbeda-beda. Celah pita energi seperti itu disebut pita terlarang (*band gap*) yang menunjukkan besarnya energi gap yang dimiliki bahan tersebut (Nashrullah, 2014).

Pada daerah tersebut elektron tidak bisa berada didalamnya. Konduktor memiliki energi gap yang sangat kecil atau bahkan dapat diabaikan karena terjadinya tumpang tindih (*overlap*) antara pita valensi dan pita konduksi. Konduktor memiliki struktur pita

energi yang diisi elektron hanya sebagian saja. Pita energi yang terisi elektron sebagian merupakan pita konduksi. Isolator memiliki pita valensi yang penuh berisi elektron, sedangkan pita konduksinya kosong (Nashrullah, 2014).

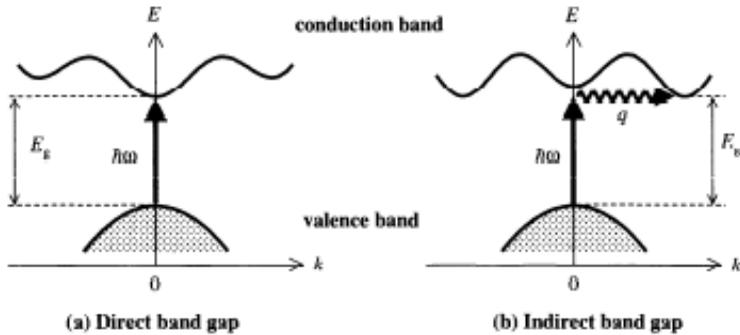
Energi gap isolator sangat besar sekitar 6 eV, sehingga energi yang diperoleh dari medan eksternal terlalu kecil untuk memindahkan elektron melewati energi gap tersebut, sehingga penghantaran listrik tidak dapat berlangsung. Umumnya isolator memiliki dua sifat yaitu mempunyai celah energi yang cukup besar antara pita valensi dan pita konduksi, serta tingkat energi fermi terletak pada celah energinya (Nashrullah, 2014).

Semikonduktor memiliki struktur pita energi yang hampir sama dengan isolator, akan tetapi besar celah energi terlarang atau energi gap (E_g) pada semikonduktor jauh lebih kecil daripada isolator. Celah energi yang tidak terlalu besar ini menyebabkan semikonduktor memiliki perilaku yang berbeda dari bahan isolator. Selain itu semikonduktor merupakan bahan yang pita valensinya hampir penuh dan pita konduksinya hampir kosong dengan lebar pita terlarang (E_g) sangat kecil (± 1 eV hingga 2 eV) (Nashrullah, 2014).

Bahan semikonduktor akan mempunyai sifat konduktor. Energi termal diterima oleh elektron-elektron pada pita valensi. Jika energi termal lebih besar atau sama dengan E_g -nya maka elektron-elektron tersebut mampu melewati celah energi terlarang dan berpindah ke pita konduksi sebagai elektron hampir bebas. Elektron-elektron tersebut meninggalkan kekosongan pada pita valensi yang disebut dengan lubang (*hole*). *Hole* pada pita valensi dan elektron hampir bebas pada pita konduksi itulah yang berperan sebagai penghantar arus pada semikonduktor, dimana elektron pembawa muatan negatif dan *hole* merupakan pembawa muatan positif (Nashrullah, 2014).

Pada dasarnya energi gap suatu material semikonduktor dibagi menjadi dua jenis yaitu *direct band gap* dan *indirect band gap*. Hal ini berdasarkan nilai momentum dari ujung pita konduksi dan pita valensi. Pada *direct band gap* memungkinkan terjadinya

elektron secara langsung dengan begitu mudah karena nilai momentum pada ujung pita valensi dan ujung pita konduksi memiliki besar yang sama. Sedangkan pada indirect band gap energi maksimum dari pita valensi terjadi pada nilai momentum yang berbeda dengan energi minimum pita konduksi (Fox, 2001).



Gambar 2.9 Skema Pita Energi Semikonduktor (a) Celah pita langsung (*direct band gap*) (b) Celah pita tak langsung (*indirect band gap*) (Fox, 2001)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Peralatan dan Bahan

3.1.1 Peralatan

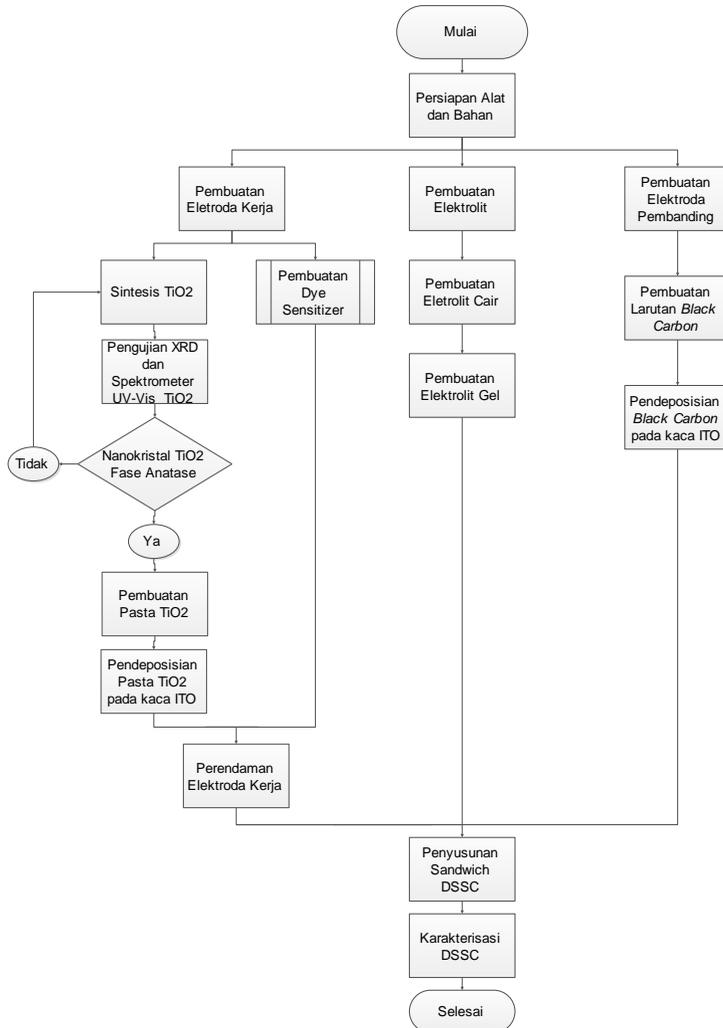
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu magnetik stirrer, furnace, spektrometer UV-Vis, pH meter digital, solder, hot-plate, neraca digital, ultrasonic-cleaner, mikroskop, mortar, krusible, gelas kimia, gasket, gelas ukur, cuvet, pipet, pinset, kabel listrik, dan penggaris.. Selain itu, peralatan uji sampel yang digunakan pada penelitian ini yaitu X-Ray Diffractometer (XRD) yang digunakan untuk mengetahui fasa TiO₂, Spektrometer UV-Vis yang digunakan untuk mengetahui karakteristik absorbansi dari TiO₂ dan *Dye sensitizer*, serta Keithley I-V meter yang digunakan untuk mengetahui arus dan tegangan keluaran dari prototipe DSSC.

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu TiCl₃, NH₄OH, Serbuk *dye* antosianin kulit manggis, Serbuk *dye* sintesis N-749, kuantum dot koloid CdSe, Aquades, PEG 4000 (Polyethylene Glycol), KI, Acetonitril, Iodine, HCL, Ethanol, Triton X-100, Asam Asetat, dan *Black carbon*.

3.2 Prosedur Penelitian

Secara umum, langkah – langkah dalam penelitian ini adalah seperti terlihat pada Gambar 3.1.

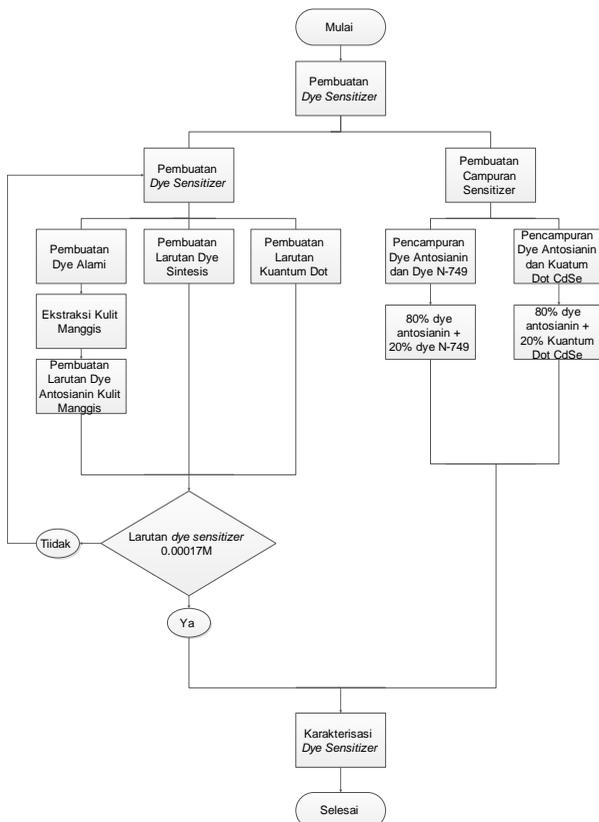


Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ini singkatnya hanya terbagi menjadi beberapa tahapan yaitu pembuatan elektroda kerja,

pembuatan elektroda pembanding, pembuatan elektrolit, penyusunan Sandwich DSSC, dan karakterisasi DSSC.

Untuk pembuatan elektrodan kerja sendiri terbagi menjadi dua yaitu dimulai dengan sintesis dan karakterisasi TiO_2 , dan pembuatan serta karakterisasi *dye sensitizer*. Untuk pembuatan dan karakterisasi *dye sensitizer* dilakukan seperti Gambar 3.2.



Gambar 3.11 Diagram Alir pembuatan *Dye Sensitizer*

3.2.1 Persiapan

Tahap persiapan ini meliputi persiapan dan pembersihan kaca ITO dengan menggunakan ultrasonic cleaner. Dilakukan dengan cara alkohol 96% dituangkan pada gelas kimia sebanyak 200 mL kemudian kaca ITO berukuran $2 \times 2 \text{ cm}^2$ yang akan digunakan pada penelitian ini dimasukkan pada gelas kimia yang telah berisi alkohol 96%. Setelah itu gelas kimia yang berisi alkohol 96% dan kaca ITO dimasukkan ke ultrasonic cleaner yang telah diisi aquades, kemudian diatur waktu 60 menit. Setelah 60 menit kaca di keringkan menggunakan hot plate dengan suhu 80°C . Kemudian kaca ITO disimpan dalam aluminium foil agar tidak terkontaminasi dengan material lain. Bersih tidaknya kaca ITO mempengaruhi hasil pengujian dari sampel yang akan dilapiskan pada kaca substrat. Selain dilakukan persiapan dan pembersihan kaca ITO, dilakukan juga proses persiapan dan pembersihan mortar, gelas kimia, gelas ukur, krusible, pipa tetes, dan pengaduk.

3.2.2 Sintesis Serbuk TiO_2

Serbuk TiO_2 yang digunakan pada penelitian ini adalah nanopartikel TiO_2 dengan fase anatase. Sintesis nanopartikel TiO_2 fase anatase dilakukan dengan metode kopresipitasi. Kopresipitasi merupakan metode yang prosesnya dilakukan pada suhu rendah sehingga waktu yang dibutuhkan relatif lebih singkat, yaitu dengan mencampurkan asam dan basa sehingga memperoleh endapan bahan yang diinginkan. Pertama dituangkan aquades 100 mL ke dalam gelas kimia yang kemudian ditambahkan 20 mL TiCl_3 dan diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 1 jam. Kemudian tetap dalam keadaan diaduk, larutan tersebut ditetesi NH_4OH hingga larutan mencapai pH 9. Setelah mencapai pH 9 penetesan dihentikan dan dibiarkan dalam keadaan diaduk dengan waktu 3 jam hingga larutan menjadi warna putih pekat. Seperti Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Sintesis TiO_2 dengan Metode Kopresipitasi

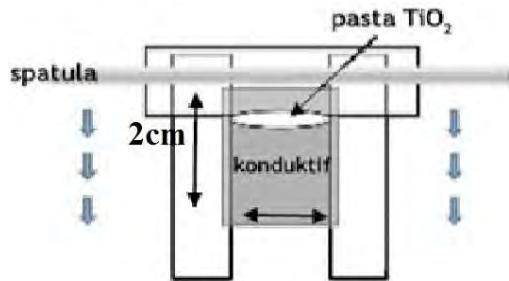
Selanjutnya larutan tersebut di endapkan pada suhu kamar dan tertutup rapat selama 24 jam. Setelah mengendap, dilakukan pencucian dengan cara membuang cairan yang ada dan menggantinya dengan aquades sebanyak 200 mL. Setelah itu larutan kembali diaduk dan di endapkan. Proses ini dilakukan secara berulang hingga didapatkan endapan dengan pH 7. Setelah mendapatkan pH 7, endapan tersebut dikalsinasi pada suhu 400°C dengan waktu holding selama 3 jam hingga terbentuk serbuk TiO_2 dengan fase anatase. Untuk mengetahui fase dan ukuran kristal dari TiO_2 yang disintesis maka dilakukan uji XRD hingga diperoleh data difraksi untuk kemudian diolah kedalam software Match! Dan software MAUD.

3.2.3 Pembuatan Pasta TiO_2

Serbuk nanopartikel TiO_2 fase anatase yang telah disintesis kemudian diubah menjadi pasta TiO_2 . Proses pembuatan pasta dilakukan dengan cara sebagai berikut: pertama serbuk TiO_2 sebanyak 1 g digerus dan dihaluskan dalam mortar, kemudian ditambahkan 0,7 mL aquades dalam keadaan tetap digerus selama 10 menit. Selanjutnya ditambahkan 0,3 g PEG-4000, 0,7 mL asam asetat, dan 0,7 mL triton X-100. Pasta TiO_2 yang sudah terbentuk dimasukkan ke dalam botol kemudian ditutup rapat.

3.2.4 Pendeposisian Pasta TiO₂ Pada Kaca ITO

Pasta TiO₂ yang telah dibuat selanjutnya dideposisikan pada kaca ITO. Pendeposisian pasta TiO₂ pada kaca ITO adalah proses pelapisan pasta TiO₂ pada permukaan konduktif dari kaca ITO. Banyak teknik pendeposisian pasta TiO₂ pada kaca ITO. Namun pada penelitian ini digunakan metode dokter blade hal ini disebabkan karena metode dokter blade memiliki keunggulan yakni mudah dalam mengontrol ketebalan yang diinginkan. Pada kedua sisi kaca ITO berukuran 2 × 2 cm² dibentuk area pembatas dari plastik setebal 10 μm untuk mendapatkan area pendeposisian pasta TiO₂ dengan ukuran luasan 2 × 2 cm² juga sebagai kontrol ketebalan lapisan TiO₂ (Gambar 3.4). Pada penelitian ini dibuat ketebalan 10 μm pada lapisan TiO₂ yakni terdepresiasi.



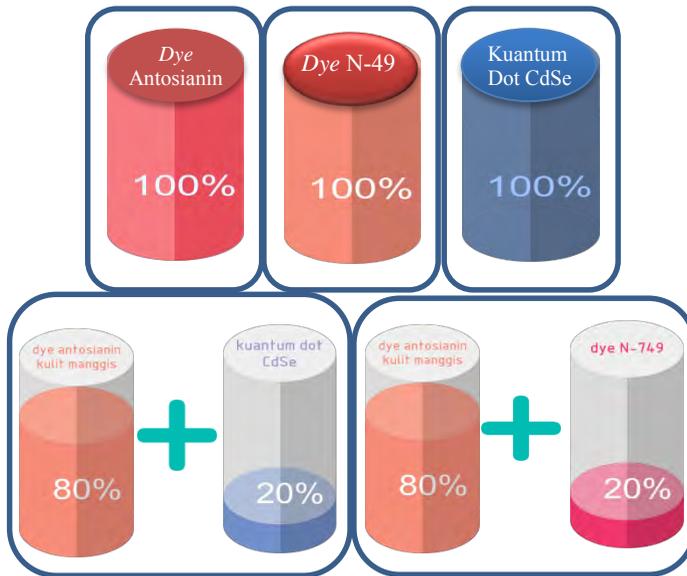
Gambar 3.13 Teknik Pendeposisian Pasta TiO₂ dengan Doktor Blade (Santoso, 2015)

Setelah pasta TiO₂ terdepresiasi kemudian dipanaskan pada suhu 450° C selama 15 menit dengan tujuan untuk menghilangkan bahan-bahan campuran yang digunakan sebagai pelarut. Setelah itu, didinginkan pada suhu ruangan.

3.2.5 Pembuatan Larutan Dye

Pada penelitian ini variasi yang digunakan (Gambar 3.14) adalah pada sensitizer dari elektroda kerja DSSC, yaitu 100% dye antosianin kulit manggis (tipe 1), 100% dye sintesis N-49 (tipe

2), 20% Kuantum Dot CdSe (tipe 3), 80% *dye* antosianin kulit manggis + 20% *dye* sintetis N-49 (tipe 4), dan 80% *dye* antosianin kulit manggis + 20% Kuantum Dot CdSe (tipe 5).



Gambar 3. 14 Variasi Penggunaan Sensitizer

Dye antosianin berasal dari ekstrak manggis, dimana kulit manggis dikeringkan pada temperatur 100°C dengan menggunakan furnace selama 10 jam. Kemudian kulit manggis yang sudah kering diblender hingga menjadi bubuk. Setelah itu 1 mg bubuk kulit manggis dilarutkan dalam 20 mL ethanol 96%. Selanjutnya sensitizer diaduk menggunakan magnetic stirrer pada temperatur 60°C selama 30 menit, seperti Gambar 3.15

Kemudian larutan yang telah diaduk didinginkan selama 20 menit. Larutan tersebut disimpan di dalam botol gelap selama 7 hari kemudian disaring. Dan *dye* sintetis yang digunakan yakni *dye* N-749, dimana 3 mg serbuk *dye* dilarutkan kedalam 12.6 mL ethanol dan di aduk menggunakan stirrer selama 10 menit.

Sedangkan kuantum dot yang digunakan adalah kuantum dot CdSe yaitu 1 ml kuantum dot dilarutkan kedalam 30 mL toluena



Gambar 3.15 Pembuatan *dye* antosianin kulit manggis.

3.2.7 Karakterisasi Absorbansi Larutan *Dye*

Untuk mengetahui daya absorbansi larutan *dye* dan kuantum dot yang digunakan maka dilakukan karakterisasi absorbansi dengan menggunakan spektrometer UV-Vis di laboratorium Zat Padat Jurusan Fisika FMIPA ITS (Gambar 3.16). Disiapkan tujuh buah kuvet, dimana kelima buah kuvet masing-masing diisi dengan 100% *dye* antosianin kulit manggis, 100% *dye* sintetis N-49, 20% Kuantum Dot CdSe, 80% *dye* antosianin kulit manggis + 20% *dye* sintetis N-49, dan 80% *dye* antosianin kulit manggis + 20% Kuantum Dot CdSe. Sedangkan dua buah kuvet masing-masing diisi ethanol dan toluena untuk mengkalibrasi spektrometer Uv-Vis. Pengujian dilakukan adalah seperti gambar berikut ini



Gambar 3.16 Pengujian Spektrometer UV-Vis

Kemudian setelah didapatkan data hasil pengujian spektrometer UV-Vis dilakukan pengolahan data menggunakan software Origin 8 untuk mengetahui grafik absorbansi terhadap panjang gelombang. Dan dilakukan perhitungan energi gap fotosensitizer

3.2.8 Perendaman Elektroda Kerja

Pada penelitian ini dibuat 5 buah elektroda kerja kemudian masing di rendam pada 100% *dye* antosianin kulit manggis , 100% *dye* sintesis N-49, 20% Kuantum Dot CdSe, 80% *dye* antosianin kulit manggis + 20% *dye* sintesis N-49, dan 80% *dye* antosianin kulit manggis + 20% Kuantum Dot CdSe selama 24 jam.

3.2.9 Pembuatan Elektrolit Gel

Elektrolit yang digunakan adalah berupa elektrolit gel berbasis polimer PEG (polyethylene glycole) dengan berat molekul (BM) 1000. 7 g PEG 1000, 25 ml kloroform dan elektrolit cair dicampurkan dan diaduk secara homogen dengan magnetik stirrer sambil dipanasi 80°C hingga diperoleh elektrolit bersifat gel. Elektrolit cair sendiri dibuat dari 3 gram KI yang dilarutkan kedalam 10 mL acetonitril.

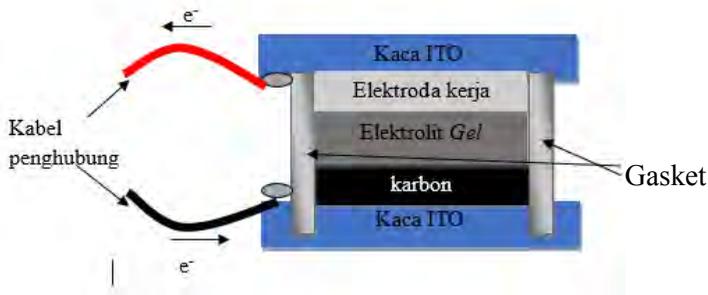
3.2.10 Pembuatan Elektroda Pembanding

Elektroda karbon pada DSSC berupa kaca dengan permukaan konduktif yang dilapisi oleh karbon. Fungsi karbon sebagai katalis untuk mempercepat reaksi pada DSSC. Karbon yang digunakan adalah *black carbon*.

3.2.11 Pembuatan Sandwich DSSC

Lapisan sandwich secara berurutan terdiri dari elektoda kerja, elektrolit dan elektroda karbon seperti terlihat pada Gambar 3.17 Sisi-sisi elektroda kerja dilapisi dengan gasket yang memiliki ketebalan 500 μm , 10 μm telah ditempati oleh elektroda kerja, sehingga akan ada ruang 490 μm yang dapat diisi dengan elektrolit gel. Setelah elektrolit diisi, kemudian ditutup dengan elektroda karbon dengan rapat. Agar gel elektrolit tidak mengalir

ataupun menguap keluar yang menyebabkan berkurangnya jumlah elektrolit yang digunakan, maka packaging dibuat sedemikian rupa sehingga susunan sandwich terutama elektrolit tetap dalam keadaan dan jumlah yang konstan. Dipermukaan gasket direkatkan dengan *double tape* untuk merekatkan elektroda kerja-elektrolit dengan elektroda karbon.



Gambar 3.17 Teknik Packaging Sandwich DSSC (Santoso, 2015)

3.2.13 Pengujian Performansi DSSC

Karakterisasi arus dan tegangan (I-V) akan dilakukan di Lab.Fisika ITB- Bandung menggunakan alat Keithley I-V meter. Data keluaran dan alat I-V meter merupakan nilai arus dan tegangan. Perlakuan yang diberikan adalah disinari lampu halogen 100 mW/cm^2 . Data output dari alat tersebut adalah nilai arus dan tegangan output. Kemudian dapat dibuat grafik hubungan antara tegangan dan arus menggunakan Origin 8. Dari grafik hubungan tersebut dapat diketahui karakteristik Sel DSSC yang dibuat dengan menganalisa parameter sel-surya seperti ; tegangan open-circuit (V_{oc}), Arus short circuit (I_{sc}), Maximum Power Point (MPP), tegangan dan arus pada MPP (VMPP dan IMPP), Fill factor (FF) dan Efisiensi

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Serbuk TiO₂ Nanokristal Sebagai Semikonduktor Oksida Pada DSSC

Lapisan tipis semikonduktor oksida memiliki peranan yang cukup sentral dalam menentukan kinerja fotovolatik pada DSSC yaitu, sebagai tempat penyerapan fotosensitizer secara kimiawi, mengumpulkan elektron *photogenerated* yang berasal dari tingkat LUMO molekul fotosensitizer, dan melakukan pengangkutan elektron menuju Transparent Conducting Oxide. Penggunaan semikonduktor oksida yang tepat sangat mempengaruhi performa dari DSSC. Ada banyak jenis semikonduktor oksida yang dapat digunakan pada DSSC diantaranya TiO₂, ZnO, SnO₂, In₂O₃, Nb₂O₃ (Lee and Yang, 2011). Diantara sekian banyak semikonduktor oksida, TiO₂ merupakan semikonduktor oksida yang paling banyak digunakan dalam pembuatan DSSC. TiO₂ sebagai semikonduktor oksida memiliki beberapa keunggulan jika dibandingkan semikonduktor oksida lainnya, diantaranya ; tingkat kestabilan tinggi, bahan tidak beracun, biaya pembuatan lebih murah, dan lebar pita energi tinggi.

TiO₂ memiliki tiga jenis fase yaitu anatase, rutile dan brookite. Dari ketiga fase tersebut fase anatase merupakan fase yang paling cocok digunakan untuk aplikasi DSSC, karena fase anatase memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan kedua fase lainnya, yaitu kemampuan penyerapan cahaya tinggi, kemampuan dalam proses reaksi reduksi-oksidasi (transformasi kimia) yang lebih baik, sehingga dapat mempercepat laju penyerapan foton dan reaksi antar muka terhadap *dye* dan elektrolit pada DSSC. Selain itu fase anatase mampu untuk mengadsorpsi molekul *dye* yang lebih banyak dan koefisien difusi elektronnya tinggi, Serta memiliki energi gap yang paling tinggi dan merupakan fase yang paling stabil. (Zhang and Banfield, 2000). Pada penelitian ini TiO₂ yang digunakan adalah TiO₂ hasil sintesis yang dilakukan oleh penulis oleh karena itu perlu dilakukan karakterisasi terhadap TiO₂ yang

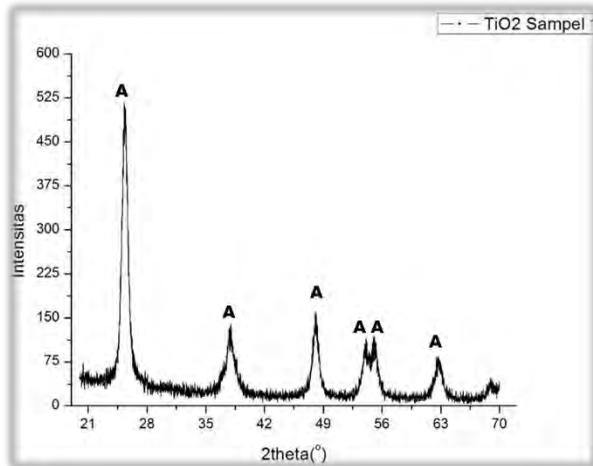
telah disintesis. TiO_2 dengan precucur TiCl_3 disintesis dengan metode kopsitpitasi.

Karakterisasi yang dilakukan diantaranya bertujuan untuk mengetahui fase TiO_2 , ukuran TiO_2 dan energi gap TiO_2 yang telah disintesis. Untuk mengetahui fase TiO_2 dan ukuran kristal TiO_2 dilakukan pengujian XRD (X-Ray Diffractometer) terhadap serbuk TiO_2 , sehingga diketahui hasil pola difraksi kristal yang ditimbulkan oleh interaksi partikel TiO_2 dengan sinar-X. Sedangkan untuk mengetahui energi gap TiO_2 dilakukan uji Spektrometer UV-Vis.

4.1.1 Fase TiO_2

TiO_2 yang diharapkan pada penelitian ini adalah TiO_2 fase anatase. Sejauh ini TiO_2 fase anatase merupakan semikonduktor oksida yang paling banyak digunakan dalam pembuatan DSSC. Hal ini dikarenakan TiO_2 fase anatase memiliki banyak keunggulan dibandingkan fase brokite dan fase rutil. Pada tahun 2002 Halme dapat menjelaskan bahwa TiO_2 fase Anatase sangat dibutuhkan dalam pembuatan DSSC karena TiO_2 dalam fase ini memiliki kemampuan fotoaktif yang tinggi, sehingga dapat memberikan arus foton yang lebih besar dibandingkan dengan fase Rutil dan fase brokite.

Hasil pengujian XRD yang telah dilakukan kemudian diolah dengan menggunakan software *Match!* untuk di cocokkan dengan database referensi yang telah ada sebelumnya sehingga dapat diketahui puncak-puncak pada tiap sudut 2θ dari TiO_2 yang telah disintesis sesuai dengan database referensi dari TiO_2 . Penggolongan fase anatase, brokite dan rutil dari serbuk TiO_2 adalah berdasarkan puncak-puncak yang terbentuk pada nilai 2θ . Telah kita ketahui bahwa TiO_2 yang diharapkan pada penelitian ini adalah TiO_2 fase anatase. Oleh karena itu nilai 2θ yang didapatkan dari data hasil pengujian XRD dicocokkan dengan JCPDS 21-1272 yang merupakan data referensi untuk TiO_2 fase anatase.



Gambar 4.18 Hasil uji XRD TiO₂ fase Anatase

Dari hasil pengolahan data menggunakan software *Match!* (Gambar 4.18) didapatkan TiO₂ yang telah disintesis merupakan TiO₂ fase anatase, karena puncak-puncak dari TiO₂ yang disintesis berkesesuaian dengan puncak TiO₂ fase anatase dalam database referensi yang telah ada yaitu pada 2θ :25,324°, 37,862°, 48,033°, 54,991° dan 62,689°. Dengan dihasilkannya TiO₂ dengan fase anatase ini diharapkan dapat memberikan performa terbaiknya dalam aplikasinya sebagai semikonduktor oksida yang digunakan pada DSSC dengan kelebihan-kelebihan yang dimilikinya.

4.1.2 Ukuran Kristal TiO₂

Karakterisasi TiO₂ hasil sintesis tidak cukup jika hanya dilakukan untuk mengetahui fasenya saja. Akan tetapi juga perlu dilakukan karakterisasi untuk mengetahui ukuran kristal dari TiO₂, karena ukuran dari TiO₂ yang digunakan sebagai semikonduktor oksida pada DSSC sangat mempengaruhi kemampuannya untuk megabsorpsi molekul-molekul *dye*. Karakterisasi ukuran TiO₂ ini juga dilakukan dengan uji XRD. Akan tetapi, berbeda dengan cara untuk mengetahui fasenya, cara untuk mengetahui ukuran kristal

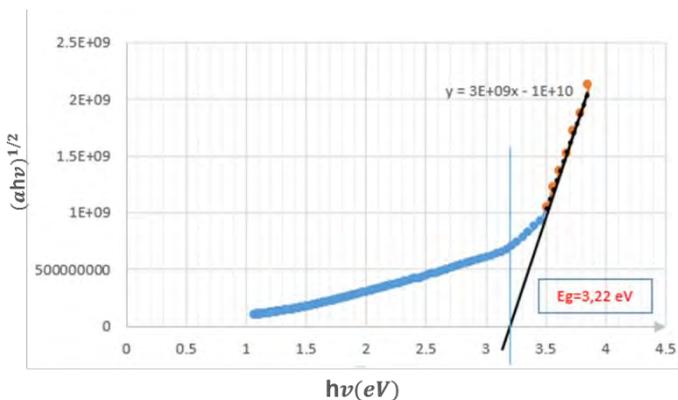
TiO₂ dilakukan dengan cara mengolah data hasil uji XRD dengan menggunakan software MAUD (*Materials Analysis Using Diffraction*). Pada tahun 2014 dengan penelitiannya Kethini dapat menjelaskan bahwa ukuran TiO₂ yang baik digunakan pada pembuatan DSSC adalah dengan ukuran kristal kurang dari 30 nm (< 30nm). Hasil pengolahan data XRD dari serbuk TiO₂ pada penelitian ini dengan MAUD diperoleh ukuran kristal sebesar 11,1 nm. Hasil ini menunjukkan bahwa ukuran kristal TiO₂ yang digunakan pada penelitian ini masuk pada ukuran kristal TiO₂ yang baik untuk digunakan pada pembuatan DSSC. Ukuran kristal TiO₂ juga sangat berpengaruh pada kinerja DSSC. Penggunaan nanokristal TiO₂ pada pembuatan DSSC akan membentuk struktur nanopori pada luasan substrat yang terdeposisi TiO₂, sehingga akan menambah luasan permukaan semikonduktor oksida tersebut yang dapat menyebabkan TiO₂ dapat menampung lebih banyak *dye*. Dengan semakin banyaknya *dye* yang ada pada elektroda kerja maka akan memberikan dampak positif pada peningkatan jumlah cahaya yang terabsorpsi dan semakin banyak pula elektron *photogenerated* yang dapat didonorkan dari tingkat LUMO *dyesensitizer* menuju pita konduksi TiO₂ (Zhang and Banfield, 2000).

4.1.3 Energi Gap TiO₂

Energi gap atau pita celah energi dari semikonduktor oksida pada DSSC juga merupakan faktor yang sangat mempengaruhi kinerja dari DSSC. Semikonduktor dengan energi gap < 1,67 eV memiliki kemampuan untuk menyerap semua spektrum cahaya tampak. Sedangkan semikonduktor dengan energi gap > 3,26 eV, tidak dapat menyerap semua spektrum cahaya tampak. Dan ketika semikonduktor memiliki Energi gap diantara 1,67 – 3,26 eV, semikonduktor hanya dapat menyerap sebagian cahaya tampak (Callister and Rethwisch, 2007). Semikonduktor TiO₂ fase anatase memiliki pita celah 3,2 eV (Narayan, 2012). Hal ini membuat *dye* yang paling sesuai dengan fase anatase adalah *dye* yang memiliki absorbansi dengan panjang gelombang 387nm

sampai 413nm, karena pada panjang gelombang tersebut dapat menghasilkan energi yang cukup untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi.

Energi Gap TiO_2 pada penelitian ini didapatkan melalui pengujian UV-Vis spektrometer, dengan mengetahui spektrum absorbansi dari TiO_2 maka dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui energi gap TiO_2 yang digunakan. Data hasil pengujian spektrometer UV-Vis diolah dan didapatkan hasil seperti pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Energi gap TiO_2 fase Anatase

Dari hasil pengolahan data spektrum absorbansi TiO_2 yang telah dilakukan didapatkan energi gap TiO_2 adalah sebesar 3,22eV. Seperti yang telah dijelaskan oleh dari penelitian Narayan pada tahun 2011, angka 3,22 eV ini masih termasuk dalam rentang energi gap yang dimiliki oleh TiO_2 fase Anatase.

4.2 Karakterisasi Optis Fotosensitizer

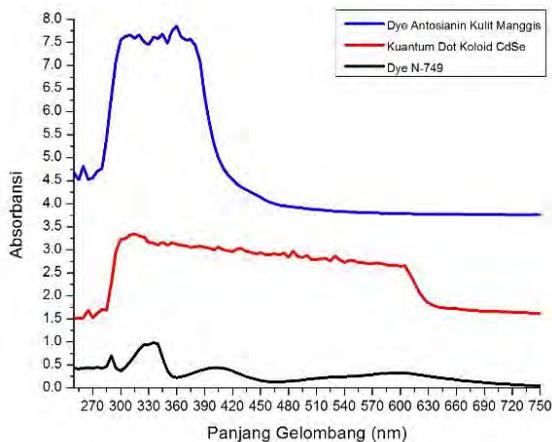
Komponen yang terpenting dalam mempengaruhi kinerja DSSC adalah molekul pewarna atau *dye sensitizer* yang berperan sebagai fotosensitizer, karena spektrum cahaya yang diserap pewarna dan melekatnya pewarna di dalam permukaan semikonduktor sangat menentukan efisiensi dari DSSC

(Wongcharee et al., 2007). *Dye sensitizer* yang menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 11 – 12 % adalah ruthenium complex (Chiba et al., 2006). Namun ruthenium complex mengandung logam berat yang dapat mencemari lingkungan, serta proses sintesisnya sangat rumit dan membutuhkan biaya yang mahal. Alternatif pewarna yang ramah lingkungan dan biayanya cukup murah adalah pewarna alami (Wongcharee et al., 2007). pewarna dari bahan kulit manggis merupakan alternatif yang memiliki potensi besar, hal ini dikarenakan kulit manggis mengandung zat antosianin (Agustini, 2013). Manggis merupakan jenis tanaman lokal yang menjanjikan untuk digunakan sebagai fotosensitizer pada DSSC, mengingat jumlah tanaman ini melimpah di Indonesia. Hasil panen buah manggis di Indonesia mencapai 79.073 ton (Direktorat Jenderal Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian, 2006).

Pewarna dari bahan kulit manggis juga sangat dibutuhkan demi mencapai kesesuaiannya dengan Semikonduktor oksida yang digunakan yaitu TiO_2 fase anatase yang memiliki pita celah 3,22 eV. Pewarna yang sesuai dengan pita celah fase anatase adalah pewarna yang memiliki absorbansi dengan panjang gelombang 387 nm sampai 413nm, karena pada panjang gelombang tersebut dapat menghasilkan energi yang cukup untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Pewarna kulit manggis merupakan pewarna yang sesuai untuk semikonduktor TiO_2 . Akan tetapi penggunaan pewarna dari kulit manggis masih menyisakan beberapa kekurangan diantaranya adalah absorbansinya yang cenderung lebih sempit. Oleh karena itu ada penelitian ini dilakukan studi tentang pewarna yang digunakan pada DSSC yaitu *dye* alami, *dye* sintetis dan kuantum dot. *Dye* alami yang digunakan adalah *dye* antosianin kulit manggis, *dye* sintetis yang digunakan adalah *dye* sintetis N-749 (black *dye*), dan kuantum dot yang digunakan adalah kuantum dot koloid CdSe. Pada penelitian ini juga dilakukan karakterisasi optis terhadap pewarna yang digunakan, yaitu melalui uji UV-Vis spektrometer yang bertujuan untuk mengetahui spektrum absorbansi dan energi gap pewarna.

4.2.1 Spektrum Absorbansi Fotosensitizer

Spektrum absorbansi yang dimiliki fotosensitizer merupakan salah satu sifat optis yang sangat mempengaruhi kinerja dari DSSC. Untuk mengetahui spektrum absorbansi fotosensitizer dilakukan pengujian spektrometer UV-Vis. Data hasil pengujian Spektrometer UV-Vis kemudian diolah dan dibuat grafik spektrum absorbansi, sehingga didapatkan hasil seperti pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Spektrum Absorbansi Fotosensitizer (*Dye* Antosianin Kulit Manggis, *Dye* sintesis N-749, Kuantum Dot Koloid CdSe)

Dari Gambar 4.20, terlihat hasil pengujian *dye* antosianin memiliki penyerapan yang paling tinggi, akan tetapi rentang penyerapannya paling sempit. *Dye* antosianin kulit manggis hanya mampu menyerap cahaya dengan panjang gelombang 285 – 423nm dengan puncak penyerapan pada panjang gelombang 375nm. Sedangkan yang memiliki rentang penyerapan paling lebar adalah Kuantum Dot Koloid CdSe yaitu dari 280 – 630 nm. Dengan puncak penyerapan di panjang gelombang 315nm. Sedangkan *dye* sintesis N-749 juga memiliki rentang penyerapan besar yaitu hampir semua cahaya mulai dari *ultraviolet* sampai cahaya tampak

yaitu dapat diserap oleh *dye* N-749 yaitu dari 300 – 350 nm dengan puncak 345 nm, dari 365 – 460 nm dengan puncak 405 nm, dan dari 475 – 700 nm dengan puncak 595 nm.

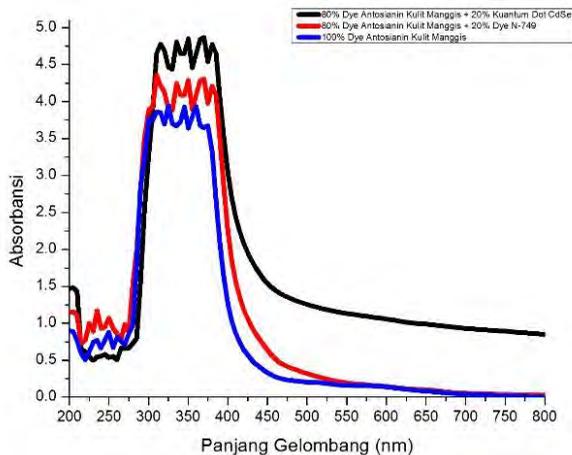
Pada gambar tersebut terlihat bahwa pewarna kulit manggis memiliki puncak absorpsi pada panjang gelombang 375 nm. Pewarna kulit manggis mengandung antosianin tipe sianidin, dimana tipe antosianin ini memiliki rentang absorpsi pada panjang gelombang 400 – 500 nm (Chang et al., 2010). Pewarna kulit manggis merupakan pewarna yang sesuai untuk DSSC yang menggunakan semikonduktor TiO_2 . Hal ini dikarenakan pewarna kulit manggis mengandung antosianin (Agustini, 2013). Didalam antosianin terdapat dua gugus yaitu karboksil dan hidroksil, kedua gugus ini sangat mudah berikatan dengan permukaan TiO_2 , sehingga membuat perpindahan elektron dari molekul pewarna ke pita konduksi TiO_2 sangat mudah dan membuat efisiensi yang dihasilkan tinggi (Hao et al., 2006).

Dye sintesis yang digunakan sebagai fotosensitizer pada penelitian ini adalah *dye* sintesis N-749. *Dye* Sintesis terbuat dari bahan Ruthenium kompleks mengandung gugus karboksil. Gugus-gugus tersebut berfungsi untuk menempelkan diri pada permukaan semikonduktor oksida (Santoso et al., 2015). Pada dasarnya penggunaan *dye* sintesis selalu memiliki efisiensi yang lebih tinggi dari penggunaan *dye* alami, hal ini juga disebabkan rentang absorpsi *dye* sintesis lebih lebar daripada rentang absorpsi *dye* alami. Akan tetapi *dye* sintesis yang merupakan turunan ruthenium kompleks yang merupakan logam berat sehingga dikhawatirkan akan menimbulkan pencemaran lingkungan. Selain itu *dye* dari turunan ruthenium kompleks ini juga sangat sulit untuk disintesis.

Fotosensitizer yang selanjutnya adalah kuantum dot. Dunia nanopartikel sempat dikejutkan dengan kemunculan nanomaterial yang satu ini. Kuantum dot dari material yang sama dapat memiliki energi gap yang berbeda-beda bergantung pada ukuran partikelnya. Kuantum dot yang memiliki rentang penyerapan paling lebar adalah kuantum dot CdSe yaitu dari mulai Ultraviolet sampai inframerah. Hal ini terbukti bahwa pada kuantum dot koloid CdSe

yang digunakan pada penelitian ini memiliki rentang penyerapan dari 280-630nm yang merupakan sinar UV sampai hampir keseluruhan cahaya tampak. Kuantum dot CdSe juga memiliki kelebihan dalam hal kemudahan pembuatan dan biaya yang rendah layaknya *dye* alami. Akan tetapi pada penggunaan kuantum dot koloid CdSe masih muncul sedikit masalah yaitu unsur Cadmium dalam kuantum dot CdSe merupakan material toksin(beracun).

Dye sensitizer yang baik adalah yang mampu menyerap cahaya dengan maksimal pada rentang panjang gelombang yang lebar terutama di daerah panjang gelombang cahaya tampak. Semakin tinggi nilai absorbansi maka semakin mudah larutan *dye* dalam menyerap radiasi energi yang berupa foton-foton cahaya. Sehingga semakin banyak pula foton yang bisa dieksitasi untuk dikonversikan oleh DSSC menjadi energi listrik. Dan pada penelitian ini didapatkan bahwa molekul pewarna yang memiliki puncak absorbansi tertinggi adalah *dye* alami antosianin kulit manggis. Selain itu kulit *dye* alami antosianin Oleh karena itu dilakukan usaha untuk meningkatkan absorbansi dilakukan penambahan *dye* sintesis N-749 dan kuantum dot koloid CdSe sehingga didapatkan hasil seperti Gambar 4.21



Gambar 4.21 Spektrum absorbansi fotosensitizer

Pada Gambar 4.21 menunjukkan adanya peningkatan dan pergeseran puncak absorbansi dari fotosensitizer yang digunakan. Dengan adanya peningkatan dan pergeseran puncak ini diharapkan fotosensitizer yang digunakan dapat meningkatkan performansi dari DSSC yang difabrikasi.

4.2.2 Energi Gap Fotosensitizer

Data hasil pengujian UV-Vis Spektroskopi pada fotosensitizer juga dapat digunakan untuk mengetahui energi gap dari fotosensitizer yang digunakan. Setelah dilakukan pengolahan data didapatkan energi gap dari ketiga fotosensitizer yang digunakan seperti terangkum pada Tabel 4.1.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Energi Gap Fotosensitizer

No	Fotosensitizer	Energi Gap (eV)
1	<i>Dye</i> Antosianin	1.79
2	<i>Dye</i> N-749	1.47
3	Kuantum Dot CdSe	1.65

Dari Tabel 4.2 didapatkan energi gap terkecil adalah energi gap dari *dye* sintetis N-749.

4.2.3 Pengaruh Penambahan *Dye* N-749 dan Kuantum Dot CdSe terhadap Energi gap *Dye* Antosianin Kulit Manggis

Dye sintetis N-749 dan kuantum dot koloid N-749 yang ditambahkan pada *dye* antosianin kulit manggis selain dapat meningkatkan absorbansi juga dapat memberikan perubahan terhadap energi gapnya. Dengan penambahan 20% *dye* sintetis N-749 terhadap 80% *dye* antosianin kulit manggis dan penambahan 20% kuantum dot koloid CdSe terhadap 80% *dye* antosianin kulit manggis terbukti dapat mempersempit energi gap yang dihasilkan seperti terangkum pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Energi Gap Campuran Fotosensitizer

No	Fotosensitizer	Energi Gap (eV)
1	<i>Dye</i> Antosianin	1.79
2	<i>Dye</i> Antosianin + <i>Dye</i> N-749	1.64
3	<i>Dye</i> Antosianin + QD CdSe	1.44

Energi gap *dye* antosianin kulit manggis sebelum dilakukan penambahan fotosensitizer lainnya adalah sebesar 1,79 eV. Kemudian dengan dilakukannya penambahan 20% *dye* sintesis N-749 dapat menurunkan energi gapnya menjadi 1,64 eV. Sedangkan dengan penambahan 20% kuantum dot Koloid CdSe terhadap *dye* antosianin kulit manggis dapat mempersempit energi gap menjadi 1,44 eV. Dengan penyempitan energi gap ini maka akan memungkinkan lebih banyaknya spektrum cahaya yang dapat diabsorpsi oleh fotosensitizer sehingga elektron *photogenerated* yang di hasilkan juga semakin besar.

4.3 Performansi DSSC dengan Pengujian Arus dan Tegangan yang Dihasilkan

Dye sensitizer solar cell (DSSC) dengan fotosensitizer berupa *dye* antosianin kulit manggis, *dye* N-749 dan kuantum dot koloid CdSe tidak menghasilkan kurva I-V yang ideal. Hal ini dikarenakan adanya hambatan seri yang besar. Hambatan seri pada DSSC dipengaruhi oleh hambatan kaca Indium Tin Oxide (ITO), elektrolit dan elektroda pembanding. Hambatan kaca ITO dan interface antara elektrolit/katalis-ITO mempengaruhi perpindahan elektron pada kondisi short circuit dan mempermudah terjadinya proses recombination. Ketika nilai hambatan serinya besar maka proses perpindahan elektron akan menjadi lebih lama, hal ini akan membuat nilai fill factor menjadi lebih kecil (Liu and Aydil, 2009)

Perfomansi dari DSSC dapat ditingkatkan dengan semakin banyaknya fotosensitizer yang diserap oleh semikonduktor oksida yang dapat menambahkan jumlah foton yang dapat ditangkap oleh fotosensitizer. Efisiensi dari DSSC tergantung oleh fill factor (FF),

arus (I_{sc}) dan tegangan (V_{oc}). Sedangkan FF dipengaruhi oleh V_{MPP} dan I_{MPP} . V_{oc} didapatkan pada saat arus yang dihasilkan oleh DSSC sama dengan nol yaitu pada saat DSSC diberlakukan pada keadaan *open circuit*. Sementara J_{sc} didapatkan ketika tegangan yang dimiliki DSSC sama dengan nol, yaitu pada saat DSSC diberlakukan pada keadaan *short circuit*. Untuk mengetahui performansi dari DSSC dapat dilakukan dengan pengujian I-V Meter Keithley.

Pengujian I-V Meter Keithley pertama dilakukan untuk mengetahui perbandingan performansi DSSC dengan menggunakan *dye* antosianin kulit manggis, *dye* sintesis N-749, dan Kuantum Dot CdSe. Data hasil pengujian I-V Meter Keithley dari penggunaan ketiga fotosensitizer pada DSSC seperti terangkum pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil pengujian I-V Meter Keithley pada penggunaan *Dye* Antosianin kulit manggis, *dye* sintesis N-749 dan Kuantum Dot koloid CdSe

	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{max} (V)	J_{max} (mA/cm ²)	FF (%)	Efisiensi (%)
Antosianin	0.4416	0.1774	0.2414	0.1685	51.92	0.04215
N-749	0.4806	0.3075	0.3204	0.1708	37.03	0.05474
QDs CdSe	0.7609	0.1401	0.5413	0.1353	68.71	0.07325

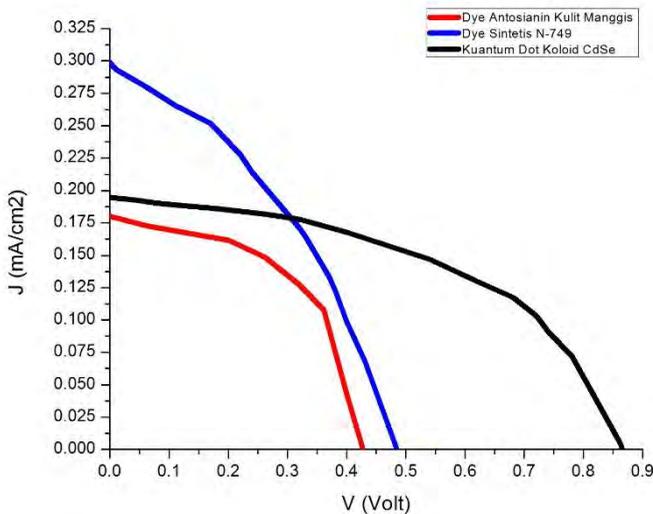
Dari tabel hasil pengujian I-V Meter diatas dapat kita ketahui bahwa efisiensi yang didapatkan dari penggunaan ketiga fotosensitizer diatas dari yang paling kecil sampai yang paling besar adalah dari penggunaan *dye* antosianin kulit manggis, *dye* sintesis N-749, dan Kuantom Dot CdSe masing-masing adalah sebagai berikut 0.04215%, 0.005474%, dan 0.07325%. Sedangkan fill faktornya dari yang paling kecil adalah *dye* N-749, *dye* Antosianin dan kuantum dot CdSe dengan masing-masing besarnya adalah 37.03%, 51.92%, dan 68.71%. Fill faktor dan efisiensi didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut:

(Santoso, 2015)

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}} \dots\dots\dots(4.1)$$

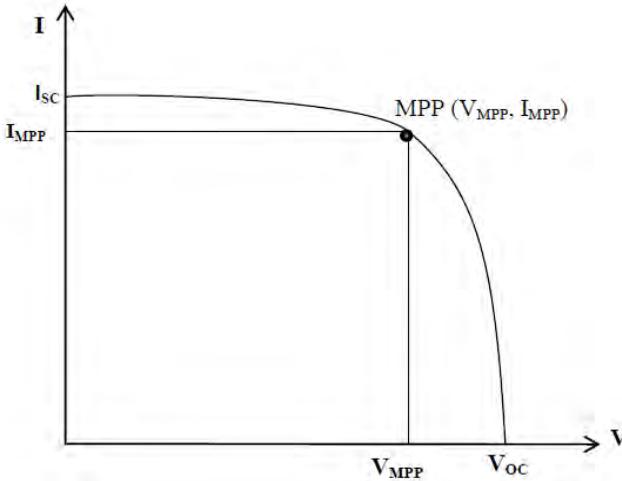
$$\eta = \frac{I_m V_m}{P_{light}} = \frac{FF I_{sc} V_{oc}}{P_{light}} \dots \dots \dots (4.2)$$

Dari kedua parameter tersebut terlihat bahwa DSSC berbasis kuantum Dot CdSe memiliki performansi terbaik. Hal ini berkesesuaian dengan hipotesis awal berdasarkan hasil uji absorbansi yang telah dilakukan. Selain itu seperti yang pernah dijelaskan oleh (Shauidin, 2013), pita celah antara (*intermediate band*), yang mengakibatkan pada kuantum dot terdapat fenomena *multiple excitation* sehingga elektron *photogenerated*nya juga semakin banyak. Hasil pengukuran I-V Meter Keithley secara lengkapnya tersaji dalam Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Perbandingan Performansi kinerja DSSC berbasis *Dye* antosianin, *Dye* Sintetis N-749 dan Kuantum Dot CdSe

Dari grafik hasil pengujian I-V Meter Keithley terlihat bahwa ketiga grafik tersebut belum memenuhi grafik ideal performansi DSSC berikut ini.



Gambar 4.23 Karakteristik Arus dan Tegangan (I-V) sebuah sel surya (Green, Martin.A, 1982)

Akan tetapi dari hasil diatas dapat kita ketahui bahwa grafik performansi DSSC dengan fotosensitizer merupakan grafik yang paling mendekati grafik performansi ideal DSSC. Sehingga efisiensi dan fill factor yang dihasilkan juga paling baik diantara ketiganya. Seperti yang telah di jelaskan oleh (Wang et al., 2003) tegangan yang dihasilkan pada DSSC timbul akibat adanya selisih antara tingka energi fermi seikonduktor dan energi potensial redoks dari elektrolit/ sedangkan arus yang dihasilkan pada DSSC dipengaruhi oleh jumlah dan aktifitas elektron didalam sel DSSC.

Dari ketiga sampel diatas DSSC dengan fotosensitizer *dye* N-749 mampu menghasilkan arus tertinggi diantara ketiganya. Dan DSSC dengan fotosensitizer Kuantum dot mampu menghasilkan tegangan tertinggi diantara ketiganya. Hal ini menunjukkan bahwa *dye sensitizer* merupakan komponen penting yang mampu mempengaruhi performansi dari DSSC yang dihasilkan. Dari ketiga fotosensitier diatas kita ketahui bahwa *dye* antosianin kulit

manggis merupakan *dye sensitizer* yang paling ramah lingkungan dan harganya murah. Akan tetapi performa yang di dapatkan masih paling rendah jika dibandingkan dengan penggunaan *dye sensitizer* *dye* sintetis N-749 dan kuantum dot CdSe.

Padahal kita ketahui *dye* sintetis N-749 merupakan *dye* turunan dari *ruthenium complex* yang sangat sulit disintesis, *ruthenium complex* juga merupakan logam berat sehingga berpotensi untuk mencemari lingkungan. Sementara Kuantum Dot CdSe sebenarnya memiliki keuntungan dalam hal pembuatan dan biaya pembuatan layaknya *dye* alami. Akan tetapi unsur cadmium merupakan material beracun. Maka dari itu penggunaan *dye* sintetis dan kuantum dot CdSe seharusnya lebih dikurangi. Maka dari itu dilakukan usaha selanjutnya untuk meningkatkan performansi DSSC berbasis *dye* antosianin kulit manggis.

Pada penelitian ini dilakukan dengan cara penambahan *dye* sintetis N-749 dan kuantum dot CdSe pada *dye* antosianin kulit manggis. Penambahan ini dilakukan dengan perbandingan 80% *dye* antosianin kulit manggis + 20% *dye* sintetis N-749, dan 80% *dye* antosianin kulit manggis + 20% kuantum dot CdSe. Selain bertujuan untuk meningkatkan performansi DSSC penambahan ini, bertujuan untuk meminimalisir penggunaan *dye* sintetis N-749 dan kuantum dot CdSe. Penelitian ini terinspirasi oleh penelitian yang telah dilakukan oleh Pratiwi pada tahun 2016, yaitu menambahkan *dye* 20% N-719 pada 80% *dye* kloforil yang mampu menghasilkan peningkatan efisiensi sebesar 95% dari hasil sebelumnya.

Jika pada penelitian Pratiwi digunakan *dye* N-719 pada penelitian ini digunakan *dye* N-749 dikarenakan *dye* N-749 merupakan *dye* sintetis dengan performa terbaik. Selain itu digunakan penambahan kuantum dot dikarenakan kuantum dot selain memiliki kelebihan yang sama dengan *dye* alami dari segi kemudahan pembuatan dan biaya pembuatan, juga memiliki sifat optis yang lebih baik dari *dye* alami, dan *dye* sintetis. Sehingga DSSC berbasis penambahan *dye* N-749 dan kuantum dot CdSe ini difabrikasi, dan selanjutnya dikarakterisasi juga menggunakan I-V Meter Keithley untuk mengetahui efek penambahan ini akan

meningkatkan performansinya atau justru akan mengurangi performansinya. Hasil pengujian I-V Meter Keithley ini tersaji dalam Tabel 4.5.

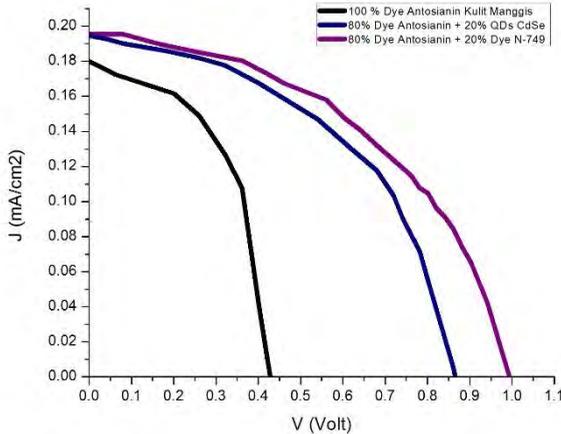
Tabel 4.5 Hasil pengujian I-V Meter Keithley pada penggunaan *Dye* Antosianin kulit manggis sebelum dan sesudah penambahan *dye* sintetis N-749 dan Kuantum Dot koloid CdSe

	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{max} (V)	J_{max} (mA/cm ²)	FF (%)	Efisiensi (%)
Antosianin	0.4416	0.1774	0.2414	0.1685	51.92	0.04215
Antosianin + QDs CdSe	0.8813	0.19544	0.5811	0.14965	50.48	0.08696
Antosianin + N-749	0.9814	0.2002	0.7012	0.14077	50.24	0.09869

Dari Tabel 4.5 terlihat bahwadengan penambahan 20% Kuantum Dot Koloid CdSe terhadap 80% *dye* antosianin kulit manggis, dan 20% *Dye* Sintetis N-749 terhadap 80% *dye* antosianin kulit manggis dapat meningkatkan performansi DSSC jika dibandingkan dengan penggunaan 100% *Dye* antosianin kulit manggis.

Kurva I-V yang dihasilkan juga mendekati kurva I-V ideal (Gambar 4.24). Dengan penambahan 20% *Dye* Sintetis N-749 terhadap 80% *dye* antosianin kulit manggis dan penambahan 20% Kuantum Dot Koloid CdSe terhadap 80% *dye* antosianin kulit manggis dapat meningkatkan efisiensi masing-masing sebesar 134.1% dan 106.3% dari sebelum dilakukan penambahan ini (menggunakan 100% *dye* antosianin kulit manggis). Peningkatan ini berhubungan erat dengan perubahan energi gap fotosensitizer yang digunakan. Dengan penambahan *dye* sintetis dan kuantum dot terbukti mampu mempersempit energi gap dari fotosensitizer. Seperti apa yang telah dijelaskan oleh Callister dan Rethwisch bahwa semakin kecil energi gap semikonduktor maka semakin banyak spektrum cahaya yang dapat diserap. Dan hal ini berbanding lurus dengan hasil penelitian ini dimana dengan lebih sempitnya energi gap fotosensitizer yang digunakan mampu meningkatkan performa dari DSSC yang telah difabrikasi.

Perbandingan kurva I-V dari ketiga sampel DSSC dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.24 Perbandingan Performansi kinerja DSSC berbasis *Dye* antosianin sebelum dan sesudah penambahan *dye* Sintetis N-749 dan Kuantum Dot CdSe

Dari grafik kurva I-V Gambar 4.24 dapat kita lihat bahwa kurva yang paling mendekati kurva ideal adalah penggunaan *dye sensitizer* berupa 20% *Dye* sintesis N-749 + 80% *dye* antosianin kulit manggis, sehingga fill factor DSSC terbaik diantara ketiganya adalah penggunaan campuran *dye sensitizer* ini sebesar 62.3%. Selain itu sampel DSSC ini juga memiliki Voc dan Jsc terbesar diantara ketiganya. Sedangkan efisiensi yang dihasilkan ketiganya secara berurutan dari yang terbesar adalah penggunaan *dye sensitizer* berupa 20% *Dye* Sintesis N-749 + 80% *dye* antosianin kulit manggis, 20% Kuantum Dot CdSE + 80% *dye* antosianin kulit manggis, dan 100% *dye* antosianin Kulit manggis yaitu masing-masing sebesar 0.09869%, 0.8696% dan 0.04125%.

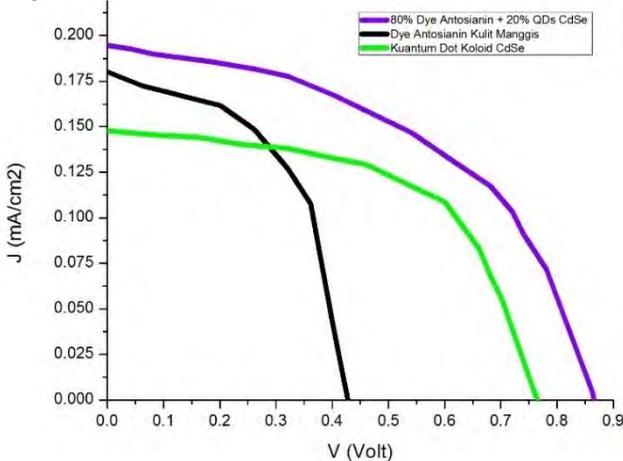
Untuk lebih jelasnya maka akan disajikan data perbandingan parameter-parameter sel surya hasil pengujian I-V Meter keithley penggunaan *dye* antosianin kulit manggis, kuantum dot CdSe dan

20% Kuantum Dot CdSe + 80% *dye* antosianin kulit manggis. Data yang didapatkan adalah seperti Tabel 4.6

Tabel 4.6 Hasil pengujian I-V Meter Keithley pada penggunaan *Dye* Antosianin kulit manggis, Kuantum Dot koloid CdSe, dan pencampuran keduanya

	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{max} (V)	J_{max} (mA/cm ²)	FF (%)	Efisiensi (%)
Antosianin	0.4416	0.1774	0.2414	0.1685	51.92	0.04215
QDs CdSe	0.7609	0.1401	0.5413	0.1353	68.71	0.07325
Antosianin + QDs CdSe	0.8813	0.19544	0.5811	0.14965	50.48	0.08696

Dari Tabel 4.6 diketahui bahwa penggunaan campuran *dye sensitizer* ini terbukti dapat meningkatkan efisiensi. Penggunaan campuran *dye* antosianin dengan kuantum dot memiliki efisiensi yang lebih tinggi daripada penggunaan *dye* antosianin saja, ataupun kuantum dot saja. Voc dan Jsc dari sampel yang menggunakan *dye sensitizer* campuran ini juga meningkat. Akan tetapi terjadi penurunan fill factor dimana campuran ini memiliki fill factor paling rendah diantara ketiganya. Kurva I-V dari ketiganya dapat kita lihat pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25 Perbandingan Performansi kinerja DSSC berbasis *Dye* antosianin, Kuantum Dot CdSe dan campuran keduanya

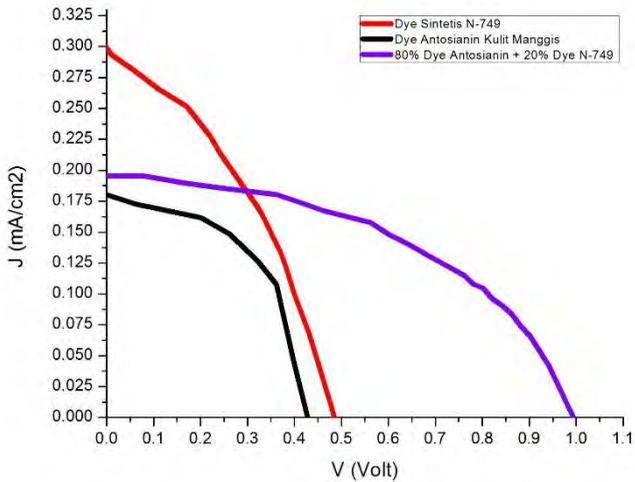
Dari gambar diatas terlihat bahwa penggunaan *dye sensitizer* kuantum dot memiliki kurva yang paling mendekati kurva ideal. Hal ini yang menyebabkan fill factor dari sampel ini memiliki angka paling tinggi. Sedangkan hasil pencampuran keduanya justru memiliki fill factor yang lebih rendah, meski memiliki Voc dan Jsc yang lebih tinggi.

Dan untuk selanjutnya akan disajikan data perbandingan parameter-parameter sel surya hasil pengujian I-V Meter Keithley penggunaan *dye* antosianin kulit manggis, *Dye* sintesis N-749 dan 20% *Dye* Sintesis N-749 + 80% *dye* antosianin kulit manggis. Data yang didapatkan seperti terangkum pada Tabel 4.6.

Tabel 4.7 Hasil pengujian I-V Meter Keithley pada penggunaan *Dye* Antosianin kulit manggis, *Dye* N-749, dan pencampuran keduanya

	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{max} (V)	J_{max} (mA/cm ²)	FF (%)	Efisiensi (%)
Antosianin	0.4416	0.1774	0.2414	0.1685	51.92	0.04215
N-749	0.4806	0.3075	0.3204	0.1708	37.03	0.05474
Antosianin + N-749	0.9814	0.2002	0.7012	0.14077	50.24	0.09869

Dari Tabel 4.7 dapat kita ketahui bahwa penggunaan campuran *dye sensitizer* ini terbukti dapat meningkatkan efisiensi. Penggunaan campuran *dye* antosianin dengan *dye* N-749 memiliki efisiensi yang lebih tinggi daripada penggunaan *dye* antosianin saja, ataupun N-749 saja. Voc dan Jsc juga mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan penggunaan 100% *dye* antosianin. Selain itu juga dapat meningkatkan fill factor dari DSSC yang telah difabrikasi. Kurva I-V dari ketiganya dapat kita lihat pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26 Perbandingan Performansi kinerja DSSC berbasis *Dye* antosianin, *dye* Sintetis N-749 dan Campuran keduanya

Dari Gambar 4.26 terlihat bahwa penggunaan campuran *dye sensitizer dye* antosianin dan *dye* N-749 memiliki kurva yang paling mendekati kurva ideal. Hal ini yang menyebabkan fill factor dari sampel ini memiliki angka paling tinggi.

Lampiran

- a. Data Uji I-V Meter Keithley
 1. Dye Antosianin Kulit Manggis

V (Volt)	I (A)	J (mA/cm ²)
-0.39832	0.000955857	3.823428
-0.37847	0.00081849	3.27396
-0.35856	0.000685053	2.740211
-0.33821	0.000563917	2.255667
-0.31831	0.000457474	1.829898
-0.29821	0.000363163	1.452651
-0.27811	0.000286962	1.147847
-0.25832	0.000220328	0.881314
-0.23833	0.000164459	0.657836
-0.21816	0.000128409	0.513635
-0.19808	0.000103293	0.413173
-0.17803	8.63786E-05	0.345514
-0.15837	7.20268E-05	0.288107
-0.13857	6.02378E-05	0.240951
-0.11844	5.44288E-05	0.217715
-0.09827	5.22077E-05	0.208831
-0.07836	5.01574E-05	0.20063
-0.05853	5.03283E-05	0.201313
-0.03859	4.63986E-05	0.185594
-0.01877	4.43484E-05	0.177393
0.001662	4.2469E-05	0.169876
0.021481	4.19564E-05	0.167826
0.041384	4.36649E-05	0.17466
0.06137	4.31524E-05	0.17261

0.081505	4.36649E-05	0.17466
0.101491	4.09313E-05	0.163725
0.121327	4.26398E-05	0.170559
0.141296	4.26398E-05	0.170559
0.161132	4.05896E-05	0.162358
0.181284	3.87102E-05	0.154841
0.20127	4.04187E-05	0.161675
0.221439	4.26398E-05	0.170559
0.241391	4.21273E-05	0.168509
0.26121	3.71725E-05	0.14869
0.28103	3.49514E-05	0.139805
0.301182	2.98257E-05	0.119303
0.321234	3.17051E-05	0.126821
0.341553	3.08509E-05	0.123403
0.361456	2.69212E-05	0.107685
0.380975	1.71825E-05	0.06873
0.401044	1.03483E-05	0.041393
0.421513	5.9061E-06	0.023624
0.441632	-5.1994E-06	-0.0208
0.461301	-1.2204E-05	-0.04882
0.480987	-2.6215E-05	-0.10486
0.501156	-4.1421E-05	-0.16568
0.521242	-6.1581E-05	-0.24633
0.540994	-8.2938E-05	-0.33175
0.561213	-0.00010412	-0.4165
0.581132	-0.0001318	-0.52721
0.600985	-0.00016871	-0.67483
0.621037	-0.00020903	-0.83612
0.641023	-0.00025003	-1.00014

0.660926	-0.00029463	-1.17851
0.680895	-0.00034793	-1.39173
0.701014	-0.00040654	-1.62615
0.720933	-0.00047266	-1.89063
0.740918	-0.00053809	-2.15238
0.761137	-0.00060797	-2.4319
0.781057	-0.00068896	-2.75584
0.800643	-0.00077251	-3.09003
0.820895	-0.00086357	-3.45429
0.84168	-0.00095737	-3.82949
0.861732	-0.001051	-4.204
0.881635	-0.00114992	-4.5997
0.901337	-0.00125466	-5.01863
0.921257	-0.0013664	-5.46559
0.941259	-0.00147814	-5.91254
0.961195	-0.00159005	-6.36018
0.981397	-0.00170435	-6.81739
1.0011	-0.0018207	-7.2828
1.021185	-0.00194525	-7.78101
1.041104	-0.00207151	-8.28605
1.06124	-0.00219333	-8.77333
1.081409	-0.00231789	-9.27154
1.101428	-0.00244568	-9.78274
1.12133	-0.0025781	-10.3124
1.141549	-0.00271102	-10.8441
1.161502	-0.00284326	-11.3731
1.181621	-0.00297277	-11.8911
1.201573	-0.00310587	-12.4235
1.221009	-0.0032417	-12.9668

1.241195	-0.00337889	-13.5156
1.261314	-0.00351506	-14.0603
1.28145	-0.00364799	-14.592
1.301419	-0.00378262	-15.1305
1.321188	-0.00392016	-15.6806
1.340924	-0.0040565	-16.226
1.361126	-0.00419062	-16.7625
1.381312	-0.00432577	-17.3031
1.401247	-0.00445476	-17.8191

2. Dye N-749

V (Volt)	I (A)	J (mA/cm ²)
-0.19919	8.26919E-05	0.330767
-0.18908	8.18376E-05	0.32735
-0.17901	8.28627E-05	0.331451
-0.16885	8.18376E-05	0.32735
-0.15882	8.02999E-05	0.3212
-0.14923	8.2521E-05	0.330084
-0.13907	8.23502E-05	0.329401
-0.12904	8.04708E-05	0.321883
-0.11893	8.08125E-05	0.32325
-0.10902	7.97873E-05	0.319149
-0.09905	7.94456E-05	0.317783
-0.08892	8.08125E-05	0.32325
-0.07905	7.70537E-05	0.308215
-0.0691	7.89331E-05	0.315732
-0.05914	7.84205E-05	0.313682
-0.04932	8.1325E-05	0.3253

-0.03912	7.80788E-05	0.312315
-0.02916	7.56868E-05	0.302747
-0.01899	7.53451E-05	0.30138
-0.00918	7.58577E-05	0.303431
0.000981	7.68828E-05	0.307531
0.010707	7.32949E-05	0.293179
0.020684	6.98778E-05	0.279511
0.030876	7.05612E-05	0.282245
0.040936	7.05612E-05	0.282245
0.050929	6.93652E-05	0.277461
0.060422	7.00486E-05	0.280195
0.070648	6.95361E-05	0.278144
0.080757	6.62898E-05	0.265159
0.090717	6.57773E-05	0.263109
0.100727	6.54356E-05	0.261742
0.110436	6.64607E-05	0.265843
0.120629	6.54356E-05	0.261742
0.130705	6.32145E-05	0.252858
0.140748	6.16768E-05	0.246707
0.150541	6.11642E-05	0.244657
0.160534	6.42396E-05	0.256958
0.17066	6.28727E-05	0.251491
0.180736	5.89431E-05	0.235772
0.190679	5.75763E-05	0.230305
0.200722	5.82597E-05	0.233039
0.210781	6.09933E-05	0.243973
0.220608	5.68928E-05	0.227571
0.230551	5.33049E-05	0.21322
0.24076	5.34757E-05	0.213903

0.250853	5.15963E-05	0.206385
0.260879	5.19381E-05	0.207752
0.270589	4.90335E-05	0.196134
0.280632	4.7325E-05	0.1893
0.290458	4.56164E-05	0.182466
0.300651	4.42496E-05	0.176998
0.31081	4.23702E-05	0.169481
0.320453	4.27119E-05	0.170848
0.330363	4.11742E-05	0.164697
0.340539	3.72446E-05	0.148978
0.350632	3.39983E-05	0.135993
0.360391	3.36566E-05	0.134627
0.370401	3.33149E-05	0.13326
0.380627	3.07521E-05	0.123008
0.390503	2.57973E-05	0.103189
0.400579	2.46013E-05	0.098405
0.410589	2.08425E-05	0.08337
0.421015	2.32345E-05	0.092938
0.430825	1.70837E-05	0.068335
0.440701	1.29832E-05	0.051933
0.450894	1.07621E-05	0.043048
0.460836	8.88273E-06	0.035531
0.470979	7.34503E-06	0.02938
0.480689	1.36513E-06	0.005461
0.490698	-2.05196E-06	-0.00821
0.500891	-3.76051E-06	-0.01504
0.510817	-7.51931E-06	-0.03008
0.521077	-9.91127E-06	-0.03965
0.53077	-1.40118E-05	-0.05605

0.540796	-1.62329E-05	-0.06493
0.550572	-2.11877E-05	-0.08475
0.560815	-2.40922E-05	-0.09637
0.570775	-2.88761E-05	-0.1155
0.580718	-2.73384E-05	-0.10935
0.59066	-3.09264E-05	-0.12371
0.600553	-3.70771E-05	-0.14831
0.610446	-4.16902E-05	-0.16676
0.620489	-4.57907E-05	-0.18316
0.630599	-4.52781E-05	-0.18111
0.640825	-5.10872E-05	-0.20435
0.650551	-5.62128E-05	-0.22485
0.660577	-6.13385E-05	-0.24535
0.670587	-6.28762E-05	-0.2515
0.68078	-6.6635E-05	-0.26654
0.690573	-7.21023E-05	-0.28841
0.700515	-7.70571E-05	-0.30823

3. Kuantum Dot CdSe

V (Volt)	I (A)	J (mA/cm ²)
-0.39815	8.30319E-05	0.332127
-0.37802	4.08308E-05	0.163323
-0.3583	3.65594E-05	0.146238
-0.33781	3.77554E-05	0.151022
-0.31784	4.08308E-05	0.163323
-0.29781	4.01474E-05	0.16059
-0.27822	3.80971E-05	0.152389
-0.25827	3.60469E-05	0.144188

-0.2379	3.67303E-05	0.146921
-0.21788	4.16851E-05	0.16674
-0.19756	3.8268E-05	0.153072
-0.17819	3.72429E-05	0.148971
-0.15846	3.51926E-05	0.14077
-0.13842	3.77554E-05	0.151022
-0.11815	3.75846E-05	0.150338
-0.09827	3.55343E-05	0.142137
-0.07858	3.57052E-05	0.142821
-0.05816	3.8268E-05	0.153072
-0.03826	3.39966E-05	0.135987
-0.01826	3.7072E-05	0.148288
0.001562	3.50218E-05	0.140087
0.021465	3.86097E-05	0.154439
0.041717	3.92931E-05	0.157172
0.061619	3.39966E-05	0.135987
0.081688	3.63886E-05	0.145554
0.101608	3.87806E-05	0.155122
0.12176	3.92931E-05	0.157172
0.141846	3.57052E-05	0.142821
0.161332	3.60469E-05	0.144188
0.181601	3.60469E-05	0.144188
0.201636	3.74137E-05	0.149655
0.221755	3.65594E-05	0.146238
0.241458	3.50218E-05	0.140087
0.261327	3.39966E-05	0.135987
0.281429	3.79263E-05	0.151705
0.301565	3.34841E-05	0.133936
0.321418	3.45092E-05	0.138037

0.341287	3.69012E-05	0.147605
0.361622	3.77554E-05	0.151022
0.381608	3.34841E-05	0.133936
0.40176	3.21172E-05	0.128469
0.421596	3.26298E-05	0.130519
0.441415	3.53635E-05	0.141454
0.461368	3.22881E-05	0.129152
0.481387	3.29715E-05	0.131886
0.501389	3.0067E-05	0.120268
0.521258	3.26298E-05	0.130519
0.541394	3.38258E-05	0.135303
0.561546	2.80167E-05	0.112067
0.581332	2.57956E-05	0.103182
0.601201	2.71624E-05	0.10865
0.62127	2.73333E-05	0.109333
0.641689	2.66499E-05	0.1066
0.661275	2.08408E-05	0.083363
0.681111	1.7082E-05	0.068328
0.701213	1.40067E-05	0.056027
0.721499	1.14438E-05	0.045775
0.741535	9.73529E-06	0.038941
0.760938	8.50856E-07	0.003403
0.781023	-2.05367E-06	-0.00821
0.800992	-9.57127E-06	-0.03829
0.821261	-2.03351E-05	-0.08134
0.84188	-3.00738E-05	-0.1203
0.861666	-3.70788E-05	-0.14832
0.881685	-4.61341E-05	-0.18454
0.901537	-6.16819E-05	-0.24673

0.921789	-7.74005E-05	-0.3096
0.941542	-9.43151E-05	-0.37726
0.961561	-0.000107129	-0.42852
0.981713	-0.000126777	-0.50711
1.001533	-0.000149843	-0.59937
1.021402	-0.0001712	-0.6848
1.041704	-0.00019119	-0.76476
1.061856	-0.000214426	-0.8577
1.081825	-0.000241079	-0.96432
1.101445	-0.00026927	-1.07708
1.12158	-0.000298315	-1.19326
1.141866	-0.000330265	-1.32106
1.161935	-0.000358285	-1.43314
1.181521	-0.000394336	-1.57734
1.201257	-0.000423893	-1.69557
1.221259	-0.000459944	-1.83977
1.241528	-0.000496507	-1.98603
1.26158	-0.00053324	-2.13296
1.281283	-0.000568778	-2.27511
1.301335	-0.000601753	-2.40701
1.321171	-0.000644125	-2.5765
1.341273	-0.000684276	-2.7371
1.361143	-0.000730406	-2.92163
1.381345	-0.000766798	-3.06719
1.401464	-0.000807633	-3.23053

4. Dye Antosianin + Kuantum Dot CdSe

V (Volt)	I (A)	J (mA/cm ²)
----------	-------	-------------------------

-0.39827	5.75745E-05	0.230298
-0.3785	5.31323E-05	0.212529
-0.35848	5.50117E-05	0.220047
-0.33831	5.50117E-05	0.220047
-0.31844	5.39866E-05	0.215946
-0.29836	5.17655E-05	0.207062
-0.27827	5.27906E-05	0.211162
-0.25829	5.67203E-05	0.226881
-0.23835	5.19363E-05	0.207745
-0.21846	5.55243E-05	0.222097
-0.19823	5.26198E-05	0.210479
-0.17839	5.02278E-05	0.200911
-0.15822	5.19363E-05	0.207745
-0.13857	5.22781E-05	0.209112
-0.1184	5.467E-05	0.21868
-0.09873	4.74941E-05	0.189977
-0.07863	4.86901E-05	0.19476
-0.05831	4.74941E-05	0.189977
-0.03836	5.07404E-05	0.202961
-0.01856	4.8861E-05	0.195444
0.001346	4.78358E-05	0.191343
0.021448	4.66399E-05	0.186559
0.041384	4.81775E-05	0.19271
0.061569	4.98861E-05	0.199544
0.081372	4.74941E-05	0.189977
0.101158	4.59564E-05	0.183826
0.12141	4.45896E-05	0.178358
0.141396	4.59564E-05	0.183826
0.161315	5.07404E-05	0.202961

0.181301	4.6469E-05	0.185876
0.20102	4.51022E-05	0.180409
0.221256	4.25393E-05	0.170157
0.241175	4.33936E-05	0.173574
0.261277	4.54439E-05	0.181776
0.281113	4.42479E-05	0.176992
0.301149	4.62981E-05	0.185193
0.321168	4.44187E-05	0.177675
0.341054	4.066E-05	0.16264
0.361606	4.49313E-05	0.179725
0.381325	4.066E-05	0.16264
0.401577	4.18559E-05	0.167424
0.42098	3.99765E-05	0.159906
0.441166	3.99765E-05	0.159906
0.461384	3.75846E-05	0.150338
0.48132	3.67303E-05	0.146921
0.501189	3.74137E-05	0.149655
0.520842	3.75846E-05	0.150338
0.540944	3.67303E-05	0.146921
0.560864	3.24589E-05	0.129836
0.581066	3.74137E-05	0.149655
0.601102	3.33132E-05	0.133253
0.620854	3.24589E-05	0.129836
0.640856	3.1263E-05	0.125052
0.660892	2.80167E-05	0.112067
0.681128	2.93836E-05	0.117534
0.700947	2.51122E-05	0.100449
0.720899	2.57956E-05	0.103182
0.740835	2.27202E-05	0.090881

0.760554	1.74237E-05	0.069695
0.781273	1.79363E-05	0.071745
0.800892	1.38358E-05	0.055343
0.820995	1.29815E-05	0.051926
0.84153	4.26795E-06	0.017072
0.861433	1.36342E-06	0.005454
0.881318	-4.44563E-06	-0.01778
0.901371	-6.49589E-06	-0.02598
0.921306	-1.1109E-05	-0.04444
0.941159	-1.64054E-05	-0.06562
0.961078	-2.47773E-05	-0.09911
0.98118	-3.31492E-05	-0.1326
1.001233	-3.75914E-05	-0.15037
1.021202	-4.40839E-05	-0.17634
1.041221	-5.02346E-05	-0.20094
1.06109	-5.77522E-05	-0.23101
1.081142	-7.19332E-05	-0.28773
1.101461	-7.63754E-05	-0.3055
1.121347	-8.73101E-05	-0.34924
1.141233	-9.31191E-05	-0.37248
1.161302	-0.000104054	-0.41622
1.181221	-0.00011533	-0.46132
1.20129	-0.000127119	-0.50848
1.221043	-0.000138396	-0.55358
1.241278	-0.000145742	-0.58297
1.261097	-0.000158044	-0.63218
1.2808	-0.000171029	-0.68412
1.301152	-0.000185551	-0.74221
1.321188	-0.00019324	-0.77296

1.341174	-0.000202808	-0.81123
1.360843	-0.000220406	-0.88162
1.380962	-0.000231682	-0.92673
1.400898	-0.000246205	-0.98482

5. Dye Antosianin + Dye N-749

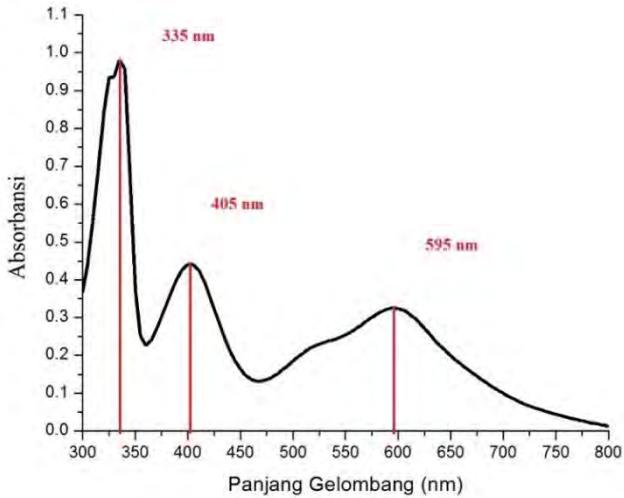
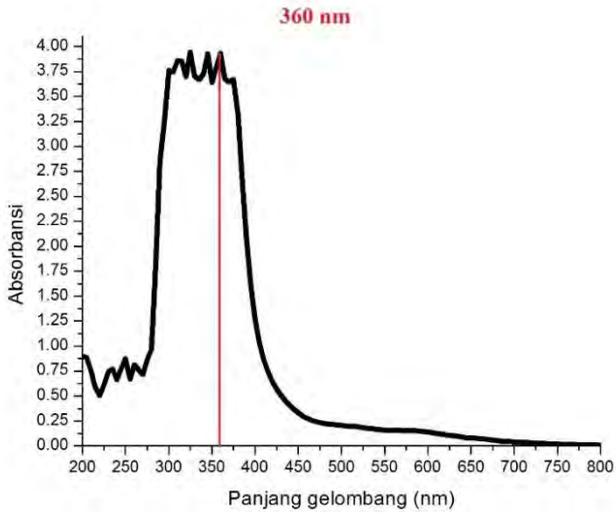
V (Volt)	I (A)	J (mA/cm ²)
-0.39839	5.44992E-05	0.217997
-0.37797	5.5866E-05	0.223464
-0.35818	5.17655E-05	0.207062
-0.33823	5.03987E-05	0.201595
-0.31813	4.97152E-05	0.198861
-0.29804	5.00569E-05	0.200228
-0.27792	5.29615E-05	0.211846
-0.25817	4.98861E-05	0.199544
-0.23817	5.14238E-05	0.205695
-0.2183	4.93735E-05	0.197494
-0.19803	5.15946E-05	0.206379
-0.17801	4.93735E-05	0.197494
-0.15821	5.17655E-05	0.207062
-0.1382	4.95444E-05	0.198178
-0.11844	4.90318E-05	0.196127
-0.09822	5.02278E-05	0.200911
-0.07816	4.83484E-05	0.193394
-0.05846	5.19363E-05	0.207745
-0.03799	4.6469E-05	0.185876
-0.01834	5.00569E-05	0.200228
0.001812	4.8861E-05	0.195444

0.021481	4.95444E-05	0.198178
0.041684	4.8861E-05	0.195444
0.061486	4.59564E-05	0.183826
0.081522	4.8861E-05	0.195444
0.101608	4.66399E-05	0.186559
0.121693	4.73233E-05	0.189293
0.141696	5.15946E-05	0.206379
0.161631	4.74941E-05	0.189977
0.181517	4.92027E-05	0.196811
0.201286	4.62981E-05	0.185193
0.221522	4.97152E-05	0.198861
0.241691	4.6469E-05	0.185876
0.261427	4.78358E-05	0.191343
0.281413	4.66399E-05	0.186559
0.301432	4.4077E-05	0.176308
0.321418	4.73233E-05	0.189293
0.341503	4.4077E-05	0.176308
0.361622	4.51022E-05	0.180409
0.381691	4.28811E-05	0.171524
0.401527	4.25393E-05	0.170157
0.421696	4.32228E-05	0.172891
0.441565	3.89514E-05	0.155806
0.461434	4.18559E-05	0.167424
0.481537	3.92931E-05	0.157172
0.501456	4.04891E-05	0.161956
0.521608	3.92931E-05	0.157172
0.541311	3.72429E-05	0.148971
0.561297	3.9464E-05	0.157856
0.581099	3.45092E-05	0.138037

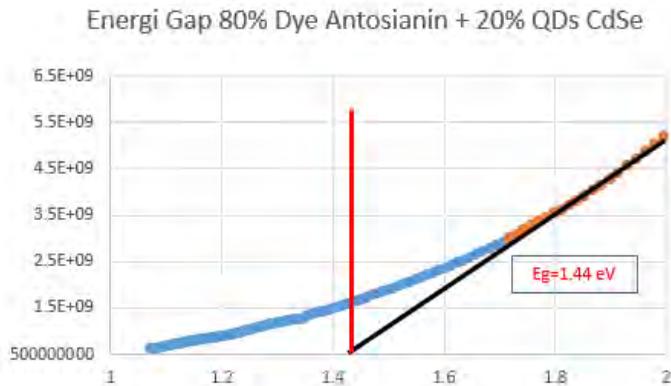
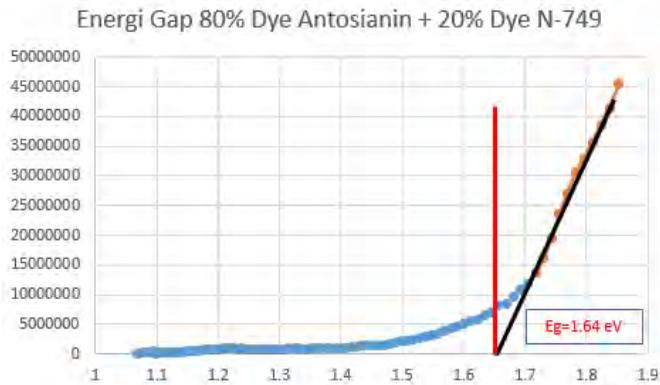
0.601102	3.7072E-05	0.148288
0.621087	3.38258E-05	0.135303
0.641273	3.51926E-05	0.14077
0.661292	3.53635E-05	0.141454
0.681111	3.29715E-05	0.131886
0.70113	3.51926E-05	0.14077
0.720999	3.19464E-05	0.127785
0.741401	3.22881E-05	0.129152
0.761371	2.87001E-05	0.114801
0.781073	2.69916E-05	0.107966
0.801225	2.61373E-05	0.104549
0.821211	2.40871E-05	0.096348
0.841846	2.27202E-05	0.090881
0.861732	2.10117E-05	0.084047
0.881685	1.86197E-05	0.074479
0.901904	1.63986E-05	0.065594
0.92164	1.2469E-05	0.049876
0.941675	1.05896E-05	0.042358
0.961411	9.05187E-06	0.036207
0.98143	7.17247E-06	0.02869
1.001383	-1.54111E-06	-0.00616
1.021385	3.38292E-07	0.001353
1.041704	-6.32503E-06	-0.0253
1.061506	-7.69187E-06	-0.03077
1.081742	-1.19632E-05	-0.04785
1.101428	-1.89683E-05	-0.07587
1.121597	-1.87974E-05	-0.07519
1.141399	-2.66567E-05	-0.10663
1.161602	-2.92195E-05	-0.11688

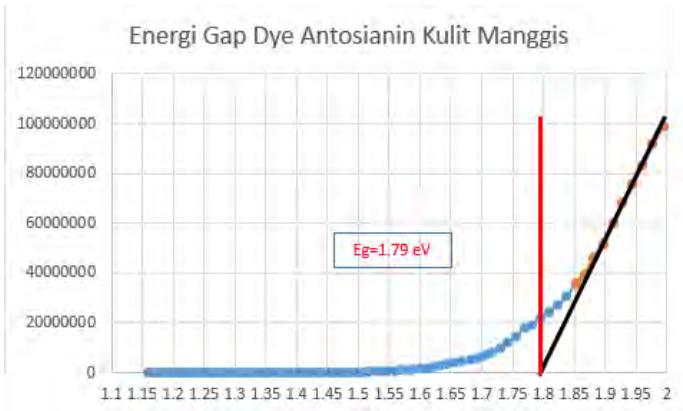
1.181671	-3.28075E-05	-0.13123
1.20154	-3.77623E-05	-0.15105
1.221592	-4.11793E-05	-0.16472
1.241411	-4.81844E-05	-0.19274
1.261397	-5.41643E-05	-0.21666
1.281466	-6.16819E-05	-0.24673
1.301435	-6.64658E-05	-0.26586
1.321221	-7.2104E-05	-0.28842
1.34139	-7.77422E-05	-0.31097
1.361343	-8.40638E-05	-0.33626
1.381362	-9.29483E-05	-0.37179
1.401281	-9.61945E-05	-0.38478

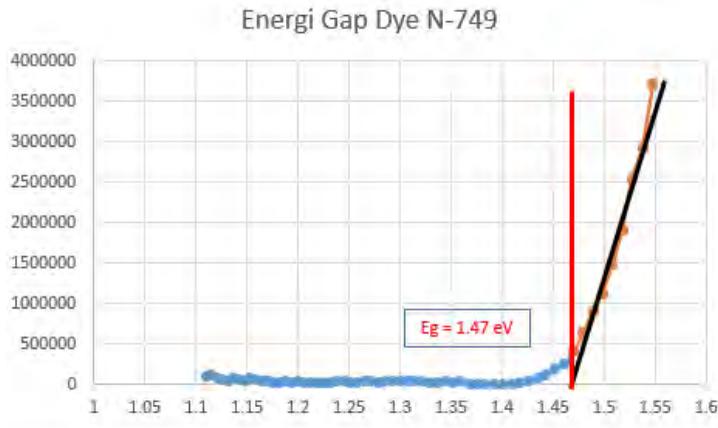
b. Hasil pengolahan uji Spektrometer Uv-Vis



- c. Grafik perhitungan energi gap menggunakan metode tauc plot







- d. Hasil perhitungan ukuran kristal menggunakan software MAUD

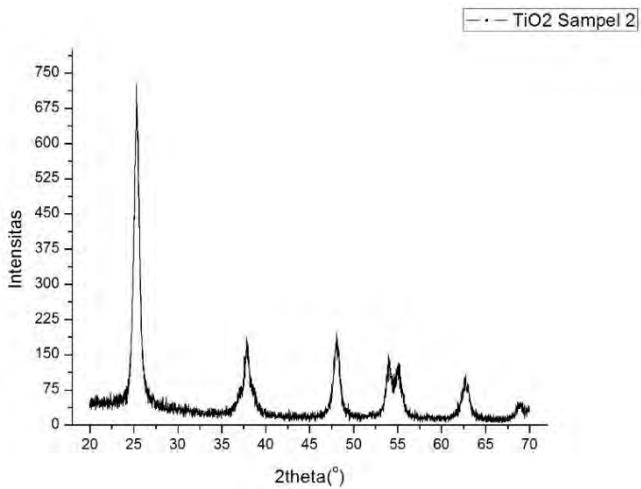
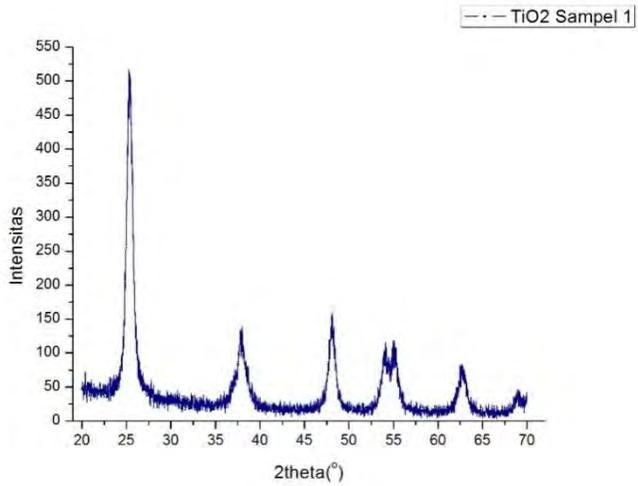
Parameter informations :

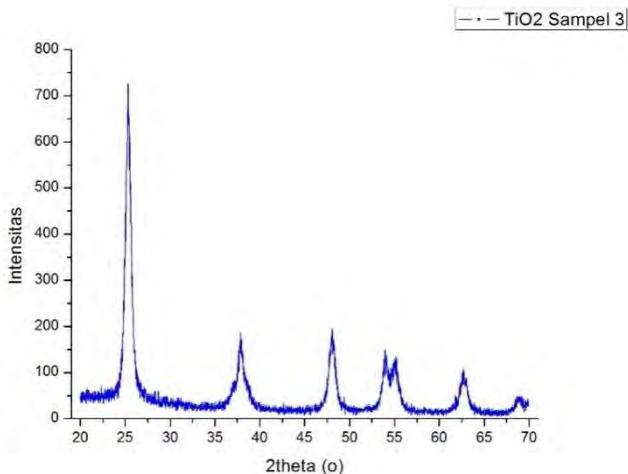
-Parameter:

default.par:Sample_x:Anatase:Isotropic:rietparcrystsizeV
 alue: 111.5543, minimum: 50.0, maximum: 5000.0 Status:
 refinable, error: +1.8418239, only positive values
 permitted, minimum significant value: 5.0

-Parameter:

default.par:Samplex:Anatase:Isotropic:rietparrs
 microstrain Value: 0.0044175396, minimum: 0.0,
 maximum: 0.005 Status: refinable, error: +3.3153698E-4,
 only positive values permitted, minimum significant value:
 1.0E-4

e. Hasil pengolahan uji XRD sampel TiO₂



File name Sampel 1.rd
 Data collected Apr 13, 2016 11:56:06
 Data range 19.920° - 69.916°
 Number of points 2993
 Step size 0.017
 Rietveld refinement converged No
 Alpha2 subtracted Yes
 Background subtr. No
 Data smoothed Yes
 2theta correction -0.08°
 Radiation X-rays
 Wavelength 1.540598 Å

Matched Phases

Index Amount (%) Name Formula sum

A 100.0 Anatase O2 Ti

11.8 Unidentified peak area

A: Anatase (100.0 %)

Formula sum O2 Ti

Entry number 96-900-8214

Figure-of-Merit (FoM) 0.909052

Total number of peaks 23

Peaks in range 10

Peaks matched 7

Intensity scale factor 1.27

Space group I 41/a m d

Crystal system tetragonal

Unit cell a= 3.7842 Å c= 9.5146 Å

I/c 5.45

Calc. density 3.894 g/cm³

Reference Horn M., Schwerdtfeger C. F., Meagher E. P., "Refinement of the structure of anatase at several temperatures Sample: T = 25 C Locality: Legenbach quarry, Binnatal, Switzerland", Zeitschrift fur Kristallographie **136**, 273-281 (1972)

Candidates

Name Formula Entry No. FoM

Neon Ne 96-901-1723 0.6206

Search-Match

Settings

Reference database used COD-Inorg REV173445 2016.01.04

Automatic zeropoint adaptation Yes

Minimum figure-of-merit (FoM) 0.60

2theta window for peak corr. 0.29 deg.

Minimum rel. int. for peak corr. 1

Parameter/influence 2theta 0.50

Parameter/influence intensities 0.50

Parameter multiple/single phase(s) 0.50

Peak List

No. 2theta [°] d [Å] I/I0 FWHM Matched

1 25.20 3.5311 1212.04 0.7357 A

2 37.70 2.3842 445.50 1.4039 A

3 48.04 1.8923 371.97 0.8624 A

4 53.89 1.6999 296.62 1.0928 A

5 55.09 1.6656 193.83 0.8119 A

6 62.63 1.4821 235.86 1.1461 A

7 68.78 1.3638 9.36 0.1339 A

Rietveld Refinement using FullProf

Calculation was not run or did not converge.

Integrated Profile Areas

Based on calculated profile

Profile area Counts Amount

Overall diffraction profile 90914 100.00%

Background radiation 34761 38.24%

Diffraction peaks 56153 61.76%

Peak area belonging to selected phases 50639 55.70%

Peak area of phase A (Anatase) 50639 55.70%

Unidentified peak area 10727 11.80%

Peak Residuals

Peak data Counts Amount

Overall peak intensity 885 100.00%

Peak intensity belonging to selected phases 778 87.89%

Unidentified peak intensity 107 12.11%

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Kuantum dot koloid CdSe memiliki rentang absorpsi terluas. Dan dye N-749 memiliki energi gap terkecil
2. Penambahan Dye N-749 dan Kuantum Dot CdSe dapat meningkatkan absorpsi dan mempersempit energi gap Dye Antosianin Kulit Manggis
3. Prototipe DSSC berbasis Dye Antosianin Kulit Manggis, Dye N-749, dan Kuantum Dot CdSe telah berhasil di fabrikasi dan dikarakterisasi
4. Penambahan Dye N-749 dan Kuantum Dot CdSe terhadap Dye Antosianin Kulit Manggis sebagai sensitizer dapat meningkatkan efisiensi sebesar 134,1% dan 106,3% dari sebelumnya

5.2 Saran

Dari beberapa evaluasi yang telah dilakukan penulis maka penulis menyarankan bahwa dalam penggunaan gasket sebagai tempat elektrolis saat penyusunan DSSC, gasket yang digunakan harus lebih tipis dari yang digunakan oleh penulis. Selain itu penggunaan *double tip* untuk merekatkan sandwich DSSC masih kurang maksimal. Maka perlu dicari alternatif lain. Supaya tidak terjadi kebocoran elektrolit.

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

Daftar Pustaka

- Agustini, S., 2013. Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Berdasarkan Fraksi Volume TiO₂ Anatase-Rutile dengan *Garcinia mangostana* dan *Rhoeo Spathacea* sebagai Dye Fotosensitizer. *J. Tek. ITS* 2, B131–B136.
- Arsyad, F.S., Mulyanti, B., Supu, A., Barmawi, M., 2009. Pengaruh Bentuk dan Fluktuasi Ukuran Dot terhadap Pelebaran Garis Spektral Inhomogen pada Quantum Dot Gallium Nitrida (QD GaN). *J. Mat. Sains* 12, 134–139.
- Bang, S.Y., Ko, M.J., Kim, K., Kim, J.H., Jang, I.-H., Park, N.-G., 2012. Evaluation of dye aggregation and effect of deoxycholic acid concentration on photovoltaic performance of N749-sensitized solar cell. *Synth. Met.* 162, 1503–1507. doi:10.1016/j.synthmet.2012.07.008
- Bendall, J.S., Etgar, L., Tan, S.C., Cai, N., Wang, P., Zakeeruddin, S.M., Grätzel, M., Welland, M.E., 2011. An efficient DSSC based on ZnO nanowire photo-anodes and a new D- π -A organic dye. *Energy Environ. Sci.* 4, 2903–2908.
- Callister, W.D., Rethwisch, D.G., 2007. *Materials science and engineering: an introduction*. Wiley New York.
- Candra, P.A.K., 2015. PENGARUH PENGGUNAAN BLACK CARBON SEBAGAI LAPISAN ELEKTRODA BALIK TERHADAP EFISIENSI DYE SENSITIZED SOLAR CELL DENGAN N749 SEBAGAI DYE SENSITIZER. ITS, Surabaya.
- Chang, J.A., Rhee, J.H., Im, S.H., Lee, Y.H., Kim, H., Seok, S.I., Nazeeruddin, M.K., Gratzel, M., 2010. High-performance nanostructured inorganic-organic heterojunction solar cells. *Nano Lett.* 10, 2609–2612.
- Chiba, Y., Islam, A., Watanabe, Y., Komiyama, R., Koide, N., Han, L., 2006. Dye-sensitized solar cells with conversion efficiency of 11.1%. *Jpn. J. Appl. Phys.* 45, L638.
- Fox, M., 2001. *Optical Properties of Solids*. Oxford University Press Inc., New York.

- Green, M., 2003. *Third Generation Photovoltaics*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Green, M.A., 1982. *Solar cells: operating principles, technology, and system applications*.
- Halme, J., 2002. *Dye-sensitized nanostructured and organic photovoltaic cells: technical review and preliminary tests*. Helsinki University Technol.
- Handini, W., 2008. *Performa sel surya tersensitisasi zat pewarna (DSSC) berbasis ZnO dengan variasi tingkat pengisian dan besar kristalit TiO₂*. Skripsi S1 Dep. Tek. Metal. Dan Mater. Univ. Indones. Jkt. Indones.
- Hao, S., Wu, J., Huang, Y., Lin, J., 2006. *Natural dyes as photosensitizers for dye-sensitized solar cell*. *Sol. Energy* 80, 209–214.
- Isnaeni, I., Suryadi, S., Herbani, Y., 2014. *Pemindaian 2D Emisi Kuantum Dot Pada Substrat Solid Dengan Mesin CNC*. SFN XXVII.
- Lee, J.-K., Mengjin, Y., 2011. *Progress in light harvesting and charge injection of dye-sensitized solar cells*.
- Lee, J.-K., Yang, M., 2011. *Progress in light harvesting and charge injection of dye-sensitized solar cells*. *Mater. Sci. Eng. B* 176, 1142–1160. doi:10.1016/j.mseb.2011.06.018
- Lestari, B., 2014. *OPTIMALISASI FRAKSI VOLUME TiO₂ ANATASE DAN RUTILE TERHADAP EFISIENSI DSSC (DYE SENSITIZED SOLAR CELL)*. ITS, Surabaya.
- Liu, B., Aydil, E.S., 2009. *Growth of oriented single-crystalline rutile TiO₂ nanorods on transparent conducting substrates for dye-sensitized solar cells*. *J. Am. Chem. Soc.* 131, 3985–3990.
- Maddu, A., Zuhri, M., Irmansyah, I., 2009. *Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosensitizer pada Sel Surya TiO₂ Nanokristal Tersensitisasi Dye*. *MAKARA* 11, pp–78.

- Narayan, M.R., 2012. Review: dye sensitized solar cells based on natural photosensitizers. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 208–215.
- Nashrullah, M., 2014. Analisis Fasa dan Lebar Celah Pita Energi Karbon pada Hasil Pemanasan Tempurung Kelapa. ITS, Surabaya.
- Nath, N.C.D., Lee, H.J., Choi, W.-Y., Lee, J.-J., 2013. Electrochemical approach to enhance the open-circuit voltage (V_{oc}) of dye-sensitized solar cells (DSSCs). *Electrochimica Acta* 109, 39–45.
- Nguyen, H.Q., 2010a. Synthesis and optical properties of CdSe nanocrystals and CdSe/ZnS core/shell nanostructures in non-coordinating solvents. *Adv. Nat. Sci. Nanosci. Nanotechnol.* 1, 025004. doi:10.1088/2043-6254/1/2/025004
- Nguyen, H.Q., 2010b. Synthesis and optical properties of CdSe nanocrystals and CdSe/ZnS core/shell nanostructures in non-coordinating solvents. *Adv. Nat. Sci. Nanosci. Nanotechnol.* 1, 025004.
- Nugroho, N., 2015. Dye Sensitized Solar Cells (DSSC).
- Puspitasari, N., 2012. Studi Awal Pembuatan Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstraksi Rosela (*Hibiscus Sabdariffa*) sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Luas Permukaan Lapisan TiO₂. ITS, Surabaya.
- Reimann, S.M., Manninen, M., 2002. Electronic structure of quantum dots. *Rev. Mod. Phys.* 74, 1283.
- Santoso, H., 2015. FABRIKASI DAN KARAKTERISASI DYE SENSITIZED SOLAR CELLS (DSSC) MENGGUNAKAN DYE SENSITIZER SINTETIS N-749. ITS, Surabaya.
- Santoso, H., Zharvan, V., Daniyati, R., Siantang, N.I.A., Yudoyono, G., Endarko, E., 2015. Peningkatan Kinerja Dye-Sensitized Solar Cells menggunakan Metode Ultrasonikasi. *J. Fis. Dan Apl.* 11, 32–35.

- Shauddin, S.M., 2013. Comparison among Various Emerging PV Cells with History, Current Status and Future Challenges. *Energy Power* 3, 91–105.
- Silviyanti, N.A., 2013. Analisis Perbandingan Efisiensi Pada Pembuatan Prototype Dye Sensitized Solar Cell Berbasis TiO₂, ZnO dan MgO Single Layer dan Double Layer. ITS, Surabaya.
- Smestad, G.P., Gratzel, M., 1998. Demonstrating electron transfer and nanotechnology: a natural dye-sensitized nanocrystalline energy converter. *J. Chem. Educ.* 75, 752.
- Smith, A.M., Gao, X., Nie, S., 2004. Quantum dot nanocrystals for in vivo molecular and cellular imaging. *Photochem. Photobiol.* 80, 377–385.
- Sugiono, F.A.F., 2015. PENGARUH PEG DALAM PEMBUATAN PASTA TiO₂ TERHADAP PERFORMA DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) DENGAN DYE SINTETIS N-749 SEBAGAI DYE SENSITIZER. ITS, Surabaya.
- Tu, C.-W., Liu, K.-Y., Chien, A.-T., Lee, C.-H., Ho, K.-C., Lin, K.-F., 2008. Performance of gelled-type dye-sensitized solar cells associated with glass transition temperature of the gelatinizing polymers. *Eur. Polym. J.* 44, 608–614. doi:10.1016/j.eurpolymj.2008.01.005
- Wang, P., Zakeeruddin, S.M., Comte, P., Exnar, I., Grätzel, M., 2003. Gelation of ionic liquid-based electrolytes with silica nanoparticles for quasi-solid-state dye-sensitized solar cells. *J. Am. Chem. Soc.* 125, 1166–1167.
- Wongcharee, K., Meeyoo, V., Chavadej, S., 2007. Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from rosella and blue pea flowers. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 91, 566–571.
- Zhang, H., Banfield, J.F., 2000. Understanding polymorphic phase transformation behavior during growth of nanocrystalline aggregates: insights from TiO₂. *J. Phys. Chem. B* 104, 3481–3487.

BIODATA PENULIS



Ichsanul Huda lahir di Malang, 13 Juli 1994, anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Arba'i dan Ibu Sholikhatu Rofi'ah. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN 03 NGANTRU (2000-2006), MTS NU NGANTANG (2006-2009), SMA Negeri 1 NGANTANG (2009-2012). Kemudian Penulis diterima di Perguruan Tinggi Jurusan Fisika ITS lewat jalur SNMPTN Undangan. Di bangku kuliah inilah penulis mulai

mengikuti aktif mengikuti organisasi-organisasi. Banyak perubahan yang dialami penulis semenjak menjadi Mahasiswa. Di organisasi-organisasi yang pernah diikuti penulis, penulis lebih sering diamanahi dibidang sosial dan ekonomi. Dan hal ini sejalan dengan keinginan dan kesukaan penulis untuk menjadi entrepreneur yang berjiwa sosial. Selain itu Penulis juga pernah menjadi asisten laboratorium Fisika Laboratorium bidang optoelektronika pada semester 7. Untuk keterangan lebih jelas mengenai tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email :Ichsanulhuda13@gmail.com