



TUGAS AKHIR - SF 141501

**PENGARUH PENAMBAHAN *GOLD* NANOPARTIKEL  
TERHADAP KARAKTERISTIK OPTIS KUANTUM DOT  
CDSE SEBAGAI *SENSITIZER* PADA *QUANTUM-DOT  
SENSITIZED SOLAR CELLS (QDSCS)***

Wahyu Indayani  
NRP 1112 100 067

Dosen Pembimbing  
Endarko, Ph.D

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





TUGAS AKHIR - SF 141501

**Pengaruh Penambahan *Gold* Nanopartikel terhadap Karakteristik Optis Kuantum Dot CdSe sebagai *Sensitizer* pada *Quantum Dot-Sensitized Solar Cells* (QDSCs)**

Wahyu Indayani  
NRP 1112 100 047

Dosen Pembimbing  
Endarko, Ph.D

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



**FINAL PROJECT - SF 141501**

**Influence of Addition of Gold Nanoparticles  
Towards Characteristics of Optics of Quantum-  
dot CdSe as a Sensitizer in Quantum Dot-  
Sensitized Solar Cells (QDSCs)**

Wahyu Indayani  
NRP 1112 100 067

Supervisor  
Endarko, Ph.D

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

**PENGARUH PENAMBAHAN *GOLD*  
NANOPARTIKEL TERHADAP KARAKTERISTIK  
OPTIS KUANTUM DOT CDSE SEBAGAI  
*SENSITIZER* PADA *QUANTUM DOT-SENSITIZED*  
*SOLAR CELLS* (QDSCS)**

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh:

**Wahyu Indayani**  
NRP 1112100067

Disetujui oleh Tim Pembimbing Tugas Akhir

**Endarko, Ph.D**



Surabaya, 1 Agustus 2016

**PENGARUH PENAMBAHAN GOLD  
NANOPARTIKEL TERHADAP KARAKTERISTIK  
OPTIS KUANTUM DOT CDSE SEBAGAI  
SENSITIZER PADA QUANTUM DOT-SENSITIZED  
SOLAR CELLS (QDSCS)**

**Nama** : Wahyu Indayani  
**NRP** : 1112100067  
**Jurusan** : Fisika FMIPA-ITS  
**Pembimbing** : Endarko, Ph.D

**Abstrak**

*Pengaruh penambahan gold nanopartikel pada sel surya tersensitasi kuantum-dot CdSe telah berhasil diinvestigasi. Gold nanopartikel ditambahkan pada kuantum dot CdSe sebelum digunakan sebagai sensitizer. Absorbansi, transmitansi, dan pita energi dari sensitizer diukur dengan menggunakan spektrometer UV-Vis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan gold nanopartikel dapat meningkatkan absorbansi dari sensitizer kuantum-dot CdSe. Pada penelitian ini, QDSCs disusun dengan struktur lapisan yang terdiri dari TiO<sub>2</sub> sebagai fotoanode, gold nanopartikel dan kuantum dot CdSe sebagai sensitizer, KI sebagai elektrolit dan karbon black sebagai elektroda pembanding. Penambahan gold nanopartikel pada sensitizer meningkatkan rata-rata efisiensi dari QDSCs sebesar 108%.*

**Kata kunci:** *gold* nanopartikel, kuantum dot CdSe, absorbansi, sel surya tersensitasi kuantum-dot.



**INFLUENCE OF ADDITION OF GOLD  
NANOPARTICLES TOWARDS CHARACTERISTICS  
OF OPTICS OF QUANTUM-DOT CDSE AS A  
SENSITIZER IN QUANTUM DOT-SENSITIZED  
SOLAR CELLS (QDSCS)**

*Name* : Wahyu Indayani  
*Student Identity Number* : 1112100067  
*Mayor* : Fisika FMIPA-ITS  
*Supervisor* : Endarko, Ph.D

**Abstract**

*The influence of addition of gold nanoparticles on quantum-dot CdSe sensitized solar cells has been investigated. Gold nanoparticles were added in quantum dot CdSe before used as a sensitizer. The absorbance, transmittance and gap energy of the sensitizer observed and calculated by UV-Vis spectrometer. The results showed that the addition of colloidal gold nanoparticles can be enhanced the absorbance of quantum dot CdSe sensitizer. In this research, the QDSCs were arranged in the sandwich structure consecutively TiO<sub>2</sub> as photoelectrode, gold nanoparticle and quantum dot CdSe as a sensitizer, KI as electrolyte and black carbon as counter-electrode. The addition of gold nanoparticles onto quantum dot CdSe as a sensitizer enhanced the average efficiency of the QDSC by about 108%.*

**Keywords:** gold nanoparticles, quantum-dot CdSe, absorbance, quantum-dot sensitized solar cells.

## KATA PENGANTAR

Ada pertanyaan mendasar tentang dunia riset yang terus berkembang, mulai dari era kasat mata hingga kini kita telah diantarkan pada teknologi tak kasat mata (nanoteknologi), dan kebutuhan manusia yang terus bertambah. Tak dapat dipungkiri bahwa setiap keberlanjutan riset adalah untuk memenuhi sebuah *global innovation demand*. Kebergantungan yang tidak akan pernah berhenti seiring dengan meluasnya imajinasi. Tentu tak dapat pula dipungkiri, bahwa setiap teknologi yang kita lihat kini berawal dari sebuah penganganan tentang masa depan.

Tulisan ini adalah proses analitis sekaligus kreatif. Analitis sebab melibatkan proses-proses ilmiah yang sistematis. Juga kreatif sebab lagi-lagi, seperti riset pada umumnya, penelitian ini bermula dari frasa ‘bagaimana jika’. Tidak ada gading yang tak retak, penulis yakin tulisan ini menyimpan banyak hal yang patut ‘didiskusikan’. Dengan segela kerendahan hati, penulis siap menerima kritik, saran dan masukan membangun. Demi sebuah kata perbaikan untuk masa depan yang lebih terang.

Terimakasih penulis sampaikan pada setiap pihak yang mendukung penulisan proposal Tugas Akhir dan penelitian ini.

1. Kedua orang tua, Endriyanto dan Arini, yang nyaris tanpa hadirnya mereka dalam hidup, tentu akan hilang separuh semangat perjuangan. Terimakasih, karena merekalah yang menjadi saksi hidup setiap langkahku. Serta adik-adik Penulis, Arie D.S., Gading N.R., dan Catur S.N., cerita ini ku persembahkan untuk kalian, maka jadilah pelita umat di masa depan.

2. Pembimbing tugas akhir, Endarko, Ph.D., yang senantiasa dengan sabar dan telaten menemani setiap langkah ‘cerita ini’ sejak awal hingga nanti saat penelitian ini harus bertemu dengan akhirnya, semoga berujung dengan keindahan.
3. Ketua Jurusan, Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng., dan seluruh jajaran dosen dan tendik Jurusan Fisika ITS yang telah memberikan kesempatan berharga untuk melangkah pada jenjang pra-aktualisasi diri
4. Keluarga besar riset DSSC (Ichsanul Huda, Seni Ramadhanti, M. Noer Fajar, Siti Musyaro’ah, S.Si., Bodi Gunawan, S.Pd. dan Siti Rabiatul A, S.Si) dan seluruh penghuni Lab. Multimedia dan Komputasi yang senantiasa memberikan dukungan dari berbagai sisi, mengingatkan disaat terlupa, menguatkan disaat lelah, menghibur disaat duka karena bersama kami bisa menjadi lebih hebat.
5. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Apalah arti dari suatu angka dalam urutan cerita, terimakasih yang tertinggi penulis tujukan kepada Allah, sang pemilik takdir dan pemilik kehidupan. Tanpa-Nya tak kan ada daya ataupun upaya untuk maju ataupun berhenti. Meski takdir tlah tergoreskan pena yang terangkat, terimakasih karena sebuah *sunatullah* lah yang membuat kami selalu berusaha dan berbenah. Kemudian kepada Muhammad, nabiyullah, yang kepadanya lah rindu ini tersemat dan hanya firdauslah tempat pertemuan pelepas penat dengannya, semoga kelak. Terakhir, semoga satiap kata yang tertulis dalam ‘cerita ini’ dapat menghadiahkan sebuah manfaat kehidupan dan kerinduan akan perbaikan bersama dalam tatanan masyarakat.

Surabaya, 1 Agustus 2016

Penulis



## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
Cover Page .....	ii
Lembar Pengesahan .....	iii
Abstrak .....	iv
Abstract .....	vi
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Perkembangan Sel Surya .....	7
2.2 Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) .....	9
2.2.1 Prinsip Kerja DSSC .....	10
2.2.2 Komponen <i>Sandwich</i> DSSC .....	11
2.2.3 Material DSSC .....	12
2.3 Kuantum Dot .....	14
2.4 <i>Gold</i> Nanopartikel .....	19
<b>BAB III METODELOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Alat dan Bahan Penelitian .....	21
3.2 Metode Karakterisasi .....	21
3.2.1 Karakterisasi Fasa dan Ukuran Kristal TiO <sub>2</sub> dengan X- <i>Ray Diffractometer</i> (XRD) .....	21
3.2.2 Karakterisasi Distribusi Ukuran Partikel dengan <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) .....	22

3.2.3 Karakterisasi Absorbansi dan Transmisi dengan <i>Ultra Violet Visible (UV-Vis) Spectrometer</i> .....	22
3.2.4 Karakterisasi Sel Surya dengan <i>Solar Simulator</i> .....	23
3.3 Prosedur Kerja .....	23
3.3.1 Sintesis TiO <sub>2</sub> .....	25
3.3.2 Pembuatan pasta TiO <sub>2</sub> .....	25
3.3.3 Pendeposisian pasta TiO <sub>2</sub> .....	25
3.3.4 Pembuatkan <i>sensitizer</i> .....	26
3.3.5 Perendaman elektroda kerja .....	26
3.3.6 Pembuatan elektrolit .....	267
3.3.7 Pembuatan elektroda pembanding .....	27
3.3.8 Perakitan QDSCs .....	278
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Identifikasi Fasa dan Ukuran Kristal TiO <sub>2</sub> dengan XRD ..	29
4.2 Identifikasi Distribusi Ukuran Partikel dengan PSA .....	31
4.2.1 Kuantum Dot CdSe.....	31
4.2.2 <i>Gold</i> nanopartikel Koloid.....	32
4.3 Karakterisasi Optis <i>Sensitizer</i> menggunakan <i>UV-Vis Spectrometer</i> .....	334
4.3.1 Sifat absorbansi.....	34
4.3.2 Sifat transmisi .....	37
4.3.3 Energi celah pita.....	38
4.4 Performansi DSSC .....	40
4.4.1 Karakteristik J-V QDSCs.....	41
4.4.2 Mekanisme QDSCs.....	44
<b>BAB V KESIMPULAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	489
5.2 Saran.....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIODATA PENULIS</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbandingan Efisiensi dan Biaya dari Ketiga Generasi Sel Surya.....	8
Gambar 2.2 Jumlah Publikasi pada topic Sel Surya tersensitasi	10
Gambar 2.3 Diagram Skematik DSSC.....	11
Gambar 2.4 Struktur DSSC .....	12
Gambar 2.5 <i>Band Gap</i> semikonduktor dalam bentuk <i>bulk</i> dan kuantum dot.....	15
Gambar 2.6 <i>Direct Band gap</i> dari semikonduktor .....	16
Gambar 2.7 Diagram kerja QDSCs .....	18
Gambar 2.8 Perbedaan dimensi pada <i>gold</i> nanopartikel .....	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Secara Umum.....	23
Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan Elektroda Kerja .....	24
Gambar 3.3 Diagram Alir Pembuatan Elektroda Pembanding ...	27
Gambar 4.1 Pola Difraksi TiO <sub>2</sub> Fase Anatase .....	29
Gambar 4.2 Pola distribusi ukuran partikel kuantum dot dengan menggunakan <i>Particle Size Analyzer</i> .....	32
Gambar 4.3 Pola distribusi ukuran partikel <i>gold</i> nanopartikel dengan menggunakan <i>Particle Size Analyzer</i> .....	33
Gambar 4.4 Spektrum absorbansi <i>sensitizer</i> .....	35
Gambar 4.5 Spektrum transmisi.....	388
Gambar 4.6 Kurva J-V QDSCs .....	43

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Energi Gap Sensitizer .....	40
Tabel 4.2 Karakteristik J-V QDSCs.....	444
Tabel 1 Posisi 2theta pada Pola XRD .....	40
Tabel 2 Hasil Pencocokan Data XRD.....	40
Tabel 3 Variasi penggunaan campuran kuantum dot CdSe dan <i>gold</i> nanopartikel .....	40
Tabel 4 Perhitungan Energi Gap.....	644

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>LAMPIRAN A</b> Grafik <i>Tauc Plot Sensitizer</i> .....	55
<b>LAMPIRAN B</b> Laporan Pengujian XRD .....	60
<b>LAMPIRAN C</b> Variasi Sensitizer Dengan Spektrometer UV-Vis .....	61

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi terbarukan dan nanoteknologi menjadi isu utama dalam dekade ini. Hal ini disebabkan besarnya ketergantungan manusia terhadap energi. Lebih dari 80% konsumsi energi yang beredar diperoleh dari bahan bakar fosil, padahal cadangan bahan bakar fosil akan segera habis (Yoon dkk., 2010). Salah satu pemecahan masalah atas fenomena tersebut adalah dengan melakukan pengembangan sel surya. *Dye sensitized solar cells* (DSSC) adalah salah satu devais sel surya generasi ketiga yang saat ini tengah gencar dikembangkan. (Choi dkk.,2013) menyatakan bahwa DSSC adalah bagian dari teknologi fotovoltaik yang menjanjikan karena DSSC secara umum tersusun atas komponen yang tidak mahal dan *nontoxid*, selain itu DSSC dapat didesain dengan warna yang berbeda atau didesain transparan.

Selain tren riset energi, tak hanya di kalangan akademisi, saat ini perkembangan material dan devais dalam skala nano telah menjadi topik diskusi yang menarik dalam keseharian masyarakat. Selain itu nanoteknologi telah menjadi tren riset masa kini yang secara berkesinambungan dikembangkan dalam berbagai disiplin ilmu sains dan teknik. Bahkan telah dilakukan riset nanomaterial sebagai komponen dari devais fotovoltaik. Kuantum dot dan *gold* nanopartikel adalah salah satu contoh dari nanomaterial tersebut.

Perkembangan terbaru dalam DSSC adalah munculnya kuantum dot yang digunakan sebagai komponen *sensitizer*, sehingga istilah DSSC bergeser menjadi QDSCs (*Quantum dot Sensitized Solar Cells*). QDSCs dapat dikatakan sebagai turunan DSSC yang pertama kali diteliti oleh O'Regan dan Gratzel pada

1991. Dalam DSSC, *sensitizer* yang umum digunakan adalah dye organik. Untuk meningkatkan penyerapan cahaya pada daerah cahaya tampak, telah banyak usaha yang dilakukan sebagai fokus pengembangan *sensitizer* dengan hasil yang tinggi. Hal ini menjadi tantangan tersendiri, untuk menemukan *sensitizer* yang ideal (Tian dan Cao, 2013). Kuantum dot telah diteliti sebagai alternatif pengganti *ruthenium dyes* pada DSSC untuk mengurangi biaya produksi dan meningkatkan efisiensi (Zarazúa dkk., 2016). Meskipun efisiensi dari QDSC masih rendah, diyakini akan ada terobosan besar dalam pengembangan QDSC di masa depan (Tian dan Cao, 2013).

Selain perkembangan penelitian tentang QDSCs, terdapat penelitian menarik mengenai interaksi kuantum dot dan *gold* - nanopartikel. Isnaeni dan Yulianto (2015) dalam risetnya menemukan bahwa pengaruh plasmon dari nanopartikel Au NPs sangat membantu peningkatan emisi kuantum dot hingga hampir 90%. Konsentrasi nanopartikel kuantum dot juga sangat mempengaruhi peningkatan emisi kuantum dot. Selain itu, (Zhu dkk., 2010) menyatakan sebagai logam mulia, *gold* nanopartikel menunjukkan sifat listrik dan optik yang tidak biasa dan stabilitas yang tinggi sehingga kehadiran *gold* nanopartikel dianggap sebagai peningkat efisiensi kuantum dot.

Dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, muncul tantangan dan kemungkinan untuk riset berkelanjutan mengenai pengembangan DSSC. Kita dapat melihat peluang besar untuk mengembangkan potensi sel surya tersensitisasi dengan menggunakan keunikan interaksi antara kuantum dot dan *gold* nanopartikel sebagai *sensitizer* dalam sel surya tersensitisasi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan studi untuk mengetahui pengaruh optik penambahan *gold* nanopartikel dengan konsentrasi yang berbeda-beda pada *sensitizer* kuantum dot CdSe yang diaplikasikan pada devais selsurya tersensitisasi. Dari penelitian ini

juga diharapkan akan memberikan sumbangasih pengetahuan dan sebuah tantangan baru untuk mengkolaborasikan kembali teknologi fotovoltaik dengan teknologi nanomaterial yang nantinya mampu menjadi pemecah masalah *global energy demand*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana karakteristik optis kuantum dot dan nanopartikel emas?
2. Bagaimana pengaruh penambahan nanopartikel emas pada daya absorbansi kuantum dot?
3. Bagaimana efisiensi QDSCs setelah penambahan *gold* nanopartikel dengan variasi *sensitizer*?

## **1.3 Tujuan**

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah

1. Mengetahui karakteristik optis kuantum dot dan nanopartikel emas.
2. Mengetahui pengaruh penambahan nanopartikel emas pada daya absorbansi kuantum dot.
3. Mengetahui efisiensi QDSCs setelah penambahan *gold* nanopartikel.

## **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini diantaranya

1. Semikonduktor material yang digunakan pada elektroda kerja adalah nanopartikel TiO<sub>2</sub> dengan fase anatase, dan tidak dibahas secara rinci mengenai pengaruh bahan yang digunakan di dalamnya serta tidak dijelaskan secara rinci proses kimia yang terjadi didalamnya.
2. Pendeposisian TiO<sub>2</sub> dilakukan hanya dengan menggunakan metode *doctor blade* dengan ketebalan 10 μm dan luas area terdeposisi 1 cm<sup>2</sup>, tanpa variasi lain.

3. *Sensitizer* yang digunakan adalah kuantum dot *Cadmium Selenide* dengan ukuran 190 nm dan *gold* nanopartikel koloid dengan ukuran 73 nm.
4. Uji absorbansi dan transmisi *sensitizer* dilakukan dengan menggunakan *Genesys* spektrometer UV-Vis di Jurusan Fisika ITS. Tidak dibahas absorbansi dan transmitansi pada daerah panjang gelombang infra-red.
5. Karakterisasi arus dan tegangan (I-V) dilakukan dengan menggunakan Solar simulator di Laboratorium Magnetik Fisika ITB. Sumber cahaya yang digunakan adalah lampu Xenon 100mW/cm<sup>2</sup>.

### **1.5 Manfaat**

Penelitian ini bermanfaat sebagai riset dan pengembangan bidang sel surya (energi terbarukan) dan nanomaterial untuk devais fotonik. Selain itu penelitian ini juga bermanfaat untuk menambah wawasan mengenai energi cahaya matahari sebagai energi terbarukan yang mudah dalam pembuatannya. Sehingga diharapkan di masa depan hasil penelitian ini dapat menjadi sumbangasih pada pengaplikasian teknologi nanomaterial dan fotovoltaiik dalam kehidupan sehari-hari.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Penulisan Tugas Akhir (TA) ini terdiri dari beberapa bagian yang diuraikan sebagai berikut:

1. Abstrak yang berisi gambaran umum dari penelitian.
2. Bab I Pendahuluan, yang memuat latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.
3. Bab II tinjauan pustaka berisi tentang dasar-dasar teori yang digunakan sebagai acuan dari penelitian.
4. Bab III Metodologi penelitian, meliputi alat dan bahan yang digunakan, metode karakterisasi dan prosedur kerja yang dilakukan.

5. Bab IV hasil penelitian dan pembahasannya, meliputi hasil dari pengujian yang telah dilakukan dan analisa dari hasil pengujian tersebut.
6. Dan Bab V Penutup, berisi kesimpulan dari penelitian secara keseluruhan dan saran-saran untuk penelitian yang akan dilakukan selanjutnya.
7. Lampiran, berisi data lengkap penelitian yang digunakan dan hasil pengolahan data pengukuran.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Perkembangan Sel Surya**

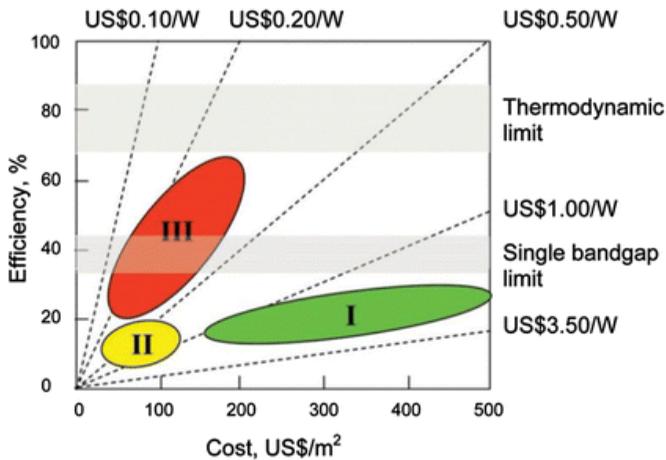
Krisis energi adalah permasalahan kekinian yang selalu dilakukan pengkajian untuk mendapatkan pemecahan masalah terbaik. Salah satu pemecahan dari permasalahan energi tersebut adalah pengembangan sel surya. Sel surya adalah suatu energi terbarukan berupa elemen aktif yang merubah cahaya menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek *photovoltaic*, dan saat ini sel surya sudah dikembangkan sampai generasi ketiga.

Perkembangan sel surya kini menjadi salah satu tren riset yang dilakukan peneliti. Hal ini disebabkan perkembangan sel surya masing-masing generasi memiliki ciri-ciri yang unik dan berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut. Untuk memahami konsep perkembangan sel surya ini, Green (2006) menuliskan dalam bukunya tentang klasifikasi sel surya:

1. Sel surya generasi pertama disebut dengan *silicon wafer-based photovoltaic cells*. Sel surya ini terdiri dari semikonduktor monogap dari kristal tunggal silisium (Si) atau *poly-grain Si*.
2. Sel surya generasi kedua disebut dengan *thin film photovoltaic cells* merupakan suatu sel fotovoltaiik dengan teknologi lapisan tipis, terdiri dari bahan lapisan film tipis: silisium amorf, polikristalin silisium, CuInSe<sub>2</sub>, CuInGaS, CdTe, sel fotovoltaiik berbasis pewarna (*Dye Sensitized Solar Cells/DSSC*) dan sel fotovoltaiik organik.
3. Sel surya generasi ketiga disebut dengan *advanced thin film photovoltaic cells* merupakan sel fotovoltaiik lapisan tipis yang lebih maju, terdiri dari: sel tandem multi celah (*multi-gap tandem cells*), sel surya pembawa elektron panas (*hot electron converters* atau *hot carrier converter cells*), sel surya pembentukan multi eksitasi (*multiple exciton generation solar cells*), sel fotovoltaiik pita intermediet (*Intermediate band*

*photovoltaics*), sel surya kuantum dot (*quantum-dot solar cells*) dan sel termofotovoltaik (*thermophotovoltaic cells*).

Perkembangan sel surya generasi ketiga telah menarik perhatian dunia riset selama beberapa tahun ini. Hal ini dikarenakan peluangnya yang besar untuk meningkatkan efisiensi konversi energi melebihi batas perhitungan teoritik Shockley dan Quisser 32% pada solar sel berbasis silikon dengan biaya pembuatan yang murah (Gambar 2.1) (Kamat, 2008).

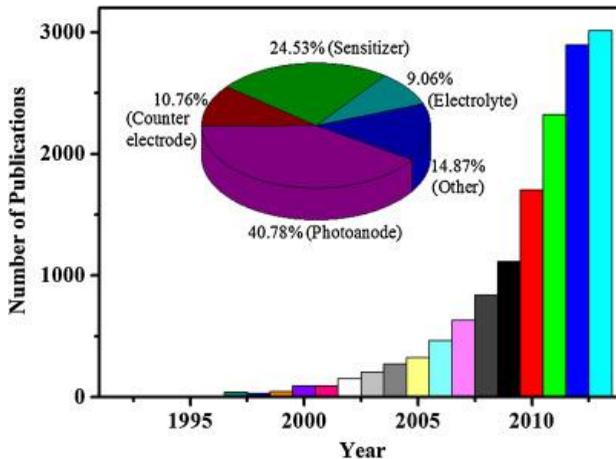


**Gambar 2.1** Perbandingan efisiensi dan biaya dari ketiga generasi sel surya (Green, 2006)

Gambar 2.1 menjelaskan bahwa sel surya generasi pertama memiliki efisiensi yang mencapai lebih dari 20% hanya saja untuk memproduksi sel surya generasi pertama diperlukan biaya yang cukup besar. Sebaliknya pada sel surya generasi ketiga produksinya tergolong *low-cost*, hanya saja efisiensi yang ditawarkan sel surya generasi ketiga ini masih sangat kecil. Pada sel surya generasi ketiga, biaya produksi yang diperlukan murah, dan efisiensi yang diberikan dapat terus dikembangkan. Oleh karena itulah sel surya generasi ketiga kini menjadi dasar riset fotovoltaiik.

## 2.2 Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)

*Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC) pertama kali diteliti oleh Michael Gratzel pada tahun 1991 dan dipatenkan dengan nama Gratzel *cell* (Handini, 2008). DSSC adalah pengembangan dari sel surya generasi ketiga. DSSC diketahui sebagai teknologi fotovoltaik yang menjanjikan karena pembuatan DSSC tidak memerlukan banyak biaya, komponen DSSC aman (*nontoxids*), fabrikasinya mudah dan DSSC dapat didesain dalam berbagai macam warna dan tingkat transparansi (Choi et al., 2013). Oleh karena itu lah saat ini telah banyak dilakukan penelitian mengenai DSSC. Saat ini telah banyak dilakukan penelitian mengenai DSSC, mulai tahun 1991 sampai tahun 2016 penelitian mengenai DSSC semakin meningkat dan jumlahnya telah mencapai ribuan judul penelitian tentang DSSC. Penelitian tentang DSSC ini dapat dilakukan pada berbagai bagian, misalnya pada fotoanode yang digunakan, *sensitizer*, ataupun elektrolitnya, sebab setiap bagian pada DSSC memiliki peran tertentu sehingga perlu dilakukan penelitian untuk memaksimalkan setiap peran komponen yang ada didalamnya. Gambar 2.2 menunjukkan jumlah publikasi yang diterbitkan dalam topik DSSC sampai tahun 2014. Pada Gambar tersebut terlihat bahwa setiap tahunnya penelitian mengenai DSSC semakin meningkat. Puncaknya pada tahun 2014, Riset DSSC telah mencapai angka 3000 publikasi diseluruh dunia. Hal ini menunjukkan bahwa DSSC memiliki potensial yang besar untuk terus dikembangkan. Dari Gambar 2.2 juga dapat dilihat bahwa penelitian DSSC teranyak berada pada ranah fotoanode dan *sensitizer* yang digunakan.



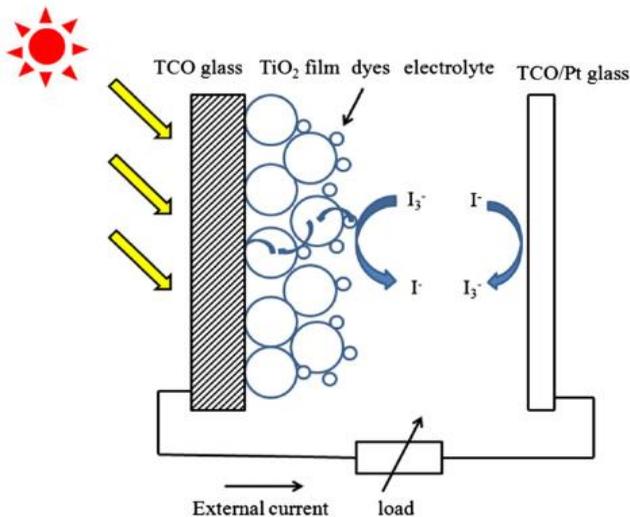
Gambar 2.2 Jumlah publikasi pada topik sel surya tersensitasi (Ye dkk., 2015)

### 2.2.1 Prinsip kerja DSSC

DSSC merupakan salah satu dari jenis sel surya yang dikenal sebagai *exitonic solar cells*, dimana ketika DSSC dikenai cahaya akan menghasilkan *exiton* yang merupakan pasangan *electron-hole* (Handini, 2008). Sel surya ini merupakan devais semikonduktor fotovoltaik yang merubah radiasi matahari kedalam arus listrik. Secara lebih rinci mekanisme kerja di dalam sel surya tersensitasi zat pewarna (DSSC) ini diilustrasikan dalam Gambar 2.3 dan dijelaskan sebagai berikut (Gong et al., 2012):

1. Lembaran kaca yang berfungsi sebagai substrat (badan sel) transparan dibuat menjadi lapisan konduktif agar dapat mengalirkan elektron.
2. Layar semikonduktor oksida nanopori dideposisikan pada anode untuk mengaktifkan konduksi elektronik (contohnya: ZnO, TiO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>).
3. Foton yang mengenai *dye* menyebabkan elektron pada *dye* dipindah menuju lapisan semikonduktor oksida nanopori. Keberadaan *dye* adalah untuk meningkatkan absorpsi cahaya pada semikonduktor oksida nanopori.

4. Elektrolit yang mengandung mediator redoks berfungsi untuk meregenerasi elektron yang tereksitasi pada *dye*.
5. Katoda yang dibuat dari lembaran kaca konduktif dilapisi dengan sebuah katalis untuk mempercepat pengumpulan elektron.

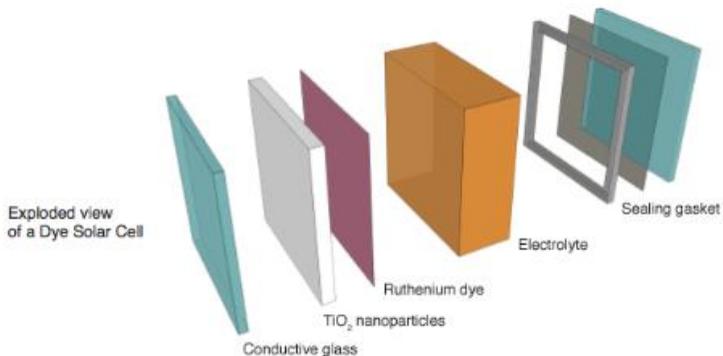


Gambar 2.3 Diagram Skematik DSSC (Gong, dkk. 2012)

### 2.2.2 Komponen *sandwich* DSSC

*Sandwich* DSSC secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.4. DSSC terdiri dari elektroda kerja, elektroda kerja ini terdiri dari kaca konduktif yang dilapisi dengan  $\text{TiO}_2$  nanopartikel dan *sensitizer* (biasanya digunakan *sensitizer* dari *ruthenium dye*). *Dye* bertindak sebagai penangkap foton, sedangkan nanopartikel  $\text{TiO}_2$  berfungsi menangkap dan meneruskan elektron yang berasal dari *dye*. Lapisan kedua adalah elektrolit, elektrolit disini berfungsi sebagai medium transport muatan. Lapisan terakhir disebut sebagai elektroda kerja. Elektroda kerja terdiri dari kaca konduktif yang dilapisi dengan katalis. Umumnya katalis yang digunakan

adalah karbon atau platinum, berfungsi untuk mempercepat kinetika reaksi reduksi-oksidasi pada elektrolit.



Gambar 2.4 Struktur DSSC (Handini, 2008)

### 2.2.3 Material DSSC

Dalam sel surya tersensitasi zat pewarna digunakan beberapa material penyusun. Material penyusun DSSC tersebut terdiri dari substrat DSSC, lapisan semikonduktor nanopori, zat pewarna (*sensitizer*), elektrolit dan katalis.

#### 1. Substrat DSSC

Substrat DSSC berfungsi sebagai badan dari sel surya dimana lapisan nanopori dan katalis akan dideposisikan. Biasanya, substrat yang umum digunakan adalah kaca transparan konduktif yang dapat mengalirkan muatan. Lapisan konduktif dari kaca ini terdiri dari dua lapisan. Lapisan pertama adalah tin oksida ( $\text{SnO}_2$ ), lapisan kedua adalah *fluorine* atau *indium* yang digunakan sebagai *dopant*. Hal ini dikarenakan material tersebut memiliki konduktifitas yang baik (Handini, 2008). Kaca konduktif komersil biasanya terdapat dua macam, pertama adalah kaca konduktif yang terdoping (*doped*) dan kedua kaca biasa yang dilapisi dengan lapisan konduktif (*coated*) (Handini, 2008).

*Transparent Conductive Oxides* (TCO) atau kaca konduktif memiliki peranan vital dalam banyak devais fotonik. Kaca

konduktif memiliki material yang unik yang membuat mereka menjadi konduktif dan transparan. Kebutuhan untuk meningkatkan performansi dan efisiensi dari devais fotonik membutuhkan kaca konduktif dengan resistansi yang kecil dan transparansi yang tinggi (Lee and Yang, 2011).

## 2. Lapisan Nanopori

Salah satu penentu performa sel surya tersensitasi adalah lapisan semikonduktor nanopori yang digunakan. Penggunaan semikonduktor sebagai lapisan oksida sel surya tersensitasi dikarenakan kestabilannya dalam menghadapi fotokorosi. Selain itu lebar pita energi semikonduktor yang besar ( $>3$  eV) dibutuhkan agar foton yang terserap lebih banyak, di tambah juga struktur nanopori digunakan karena semikonduktor nanopori mempunyai luas permukaan yang tinggi. Lapisan semikonduktor yang paling sering digunakan pada DSSC adalah  $\text{TiO}_2$ . Selain itu juga ada material semikonduktor lain yang digunakan sebagai lapisan semikonduktor DSSC, misalnya  $\text{ZnO}$ ,  $\text{CdSe}$ ,  $\text{CdS}$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  dan  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  (Handini, 2008).

## 3. Zat Pewarna (*Sensitizer*)

Pada sel *Gratzel* zat pewarna yang digunakan dan mencapai efisiensi paling tinggi adalah jenis *ruthenium complex* (Handini, 2008). Peran *sensitizer* dalam DSSC adalah untuk menciptakan sebanyak-banyaknya pasangan elektron dan hole (eksiton). *Sensitizer* yang baik harus memenuhi beberapa kriteria. Salah satunya adalah energi level yang dimiliki *sensitizer* harus bersesuaian dengan energi level yang dimiliki  $\text{TiO}_2$  dan elektrolit. Pada *sensitizer*, LUMO (semacam pita konduksi) *sensitizer* harus lebih tinggi dari pada tepi energi gap semikonduktor oksida agar dapat terjadi injeksi elektron ke semikonduktor oksida. Sedangkan HOMO (semacam pita valensi) *sensitizer* harus sejajar dengan potensial redoks elektrolit sehingga regenerasi elektron dapat berjalan dengan baik (Lee and Yang, 2011).

#### 4. Elektrolit

Elektrolit pada DSSC berfungsi sebagai penghasil reaksi redoks dalam system *photochemical*. Elektrolit yang digunakan pada DSSC terdiri dari pasangan iodine (I<sup>-</sup>) dan triiodide (I<sup>3-</sup>) sebagai redoks dalam pelarut. Elektrolit yang ideal digunakan dalam DSSC memiliki beberapa karakteristik (Handini, 2008).

#### 5. Katalis

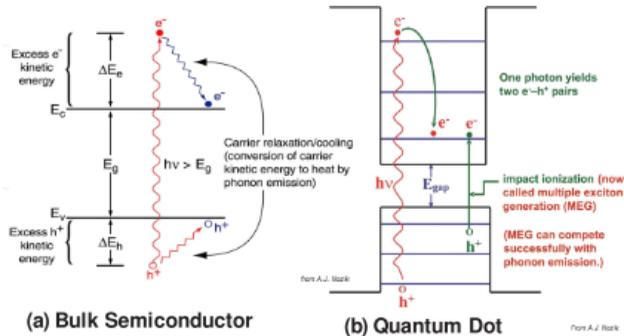
Katalis dibutuhkan untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada kaca konduktif. Katalis yang paling sering digunakan adalah platina karena platina memiliki efisiensi katalitik yang tinggi. Hanya saja penggunaan platina memiliki kekurangan, yakni platina adalah material yang mahal. Oleh karena itu saat ini digunakan karbon sebagai katalis (Handini, 2008).

### **2.3 Kuantum Dot**

#### **2.3.1 Karakteristik kuantum dot**

Kuantum dot adalah semikonduktor nanokristal yang tersusun dari material pada golongan II-IV, III-V atau IV-VI di table periodik dengan ukuran yang sebanding dengan jari-jari Bohr (Jasim, 2015; Tian dan Cao, 2013).

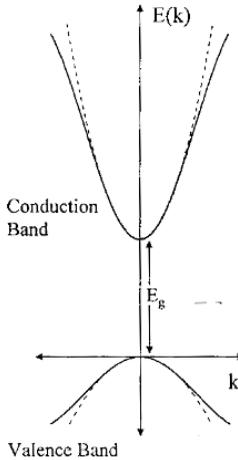
Salah satu karakteristik kuantum dot, energi gap kuantum dot ditentukan oleh besarnya partikel kuantum dot. Semakin besar ukuran partikelnya maka energi gapnya semakin kecil (Lee dan Yang, 2011; Tian dan Cao, 2013).



Gambar 2.5 *Band Gap* semikonduktor dalam bentuk *bulk* (a) dan kuantum dot (b) (Jasim, 2015)

### 2.3.2 *Cadnium selenide*

Ada banyak jenis kuantum dot, namun *Cadnium Selenide* adalah salah satu kuantum dot yang cukup dikenal. *Cadnium Selenide* merupakan salah satu semikonduktor golongan II-IV dengan tipe *n*. Diantara semikonduktor yang lain dalam golongan II-IV (CdSe, CdS, CdTe, ZnSe, dll), CdSe adalah semikonduktor yang memiliki potensial lebih untuk diaplikasikan dalam sel surya (Jasim, 2015). Dalam bentuk *bulk* nya *Cadnium Selenide* memiliki tiga bentuk struktur kristal, *wurtzite* (heksagonal), *sphalerite* (kubus) and *rock-salt* (kubus). Hanya saja dalam *sphalerite* cenderung tidak stabil. Struktur kristal meliputi ukuran partikel, bentuk dan juga morfologinya dapat berpengaruh pada karakteristik listrik, optis dan juga mekaniknya (Wang et al., 2007).



Gambar 2.6 *Direct Band Gap* dari Semikonduktor (Gaponenko, 1998)

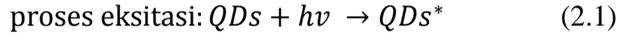
Pada Gambar 2.6 dapat dilihat bahwa semikonduktor kuantum dot merupakan semikonduktor yang memiliki *direct band gap* (Gaponenko, 1998).

### 2.3.2 *Quantum dot sensitized solar cells*

Pada satu dekade terakhir, telah banyak riset yang dilakukan untuk mengimplementasikan *sensitizer* kuantum dot pada sel surya tersensitasi atau DSSC. Hal ini dilakukan karena semikonduktor anorganik kuantum dot adalah salah satu material yang cukup menjanjikan untuk digunakan sebagai *sensitizer* (Lee dan Yang, 2011).

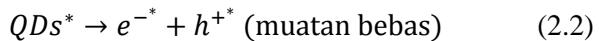
Pada prinsipnya, cara kerja *Quantum-dot Sensitized Solar Cells* (QDSCs) sama dengan cara kerja *dye sensitized solar cells* pada umumnya dengan pengecualian bahwa yang bertindak sebagai sumber injeksi elektron bukan lagi *dye* (zat pewarna) tapi kuantum dot itu sendiri. Mekanisme kerja QDSCs secara lebih detail dijelaskan sebagai berikut (Jasim, 2015):

1. Saat foton terabsorpsi ke dalam sel, akan terjadi eksitasi elektron pada (*sensitizer*) kuantum dot ke tingkat energi yang lebih tinggi dari sebelumnya.

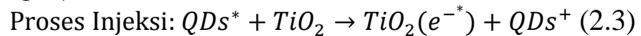


dengan  $QDs$  dan  $QDs^*$  adalah kuantum dot pada keadaan dasar dan kuantum dot pada keadaan tereksitasi.

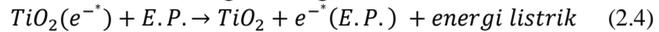
2. Dengan terabsorpsinya foton ini menghasilkan pasangan *electron-hole* (*exciton*). Jika energi yang dikenakan pada kuantum dot melebihi dari energi ikat (*binding energy*) eksiton maka akan terjadi pemisahan eksiton seperti Persamaan 2.2.



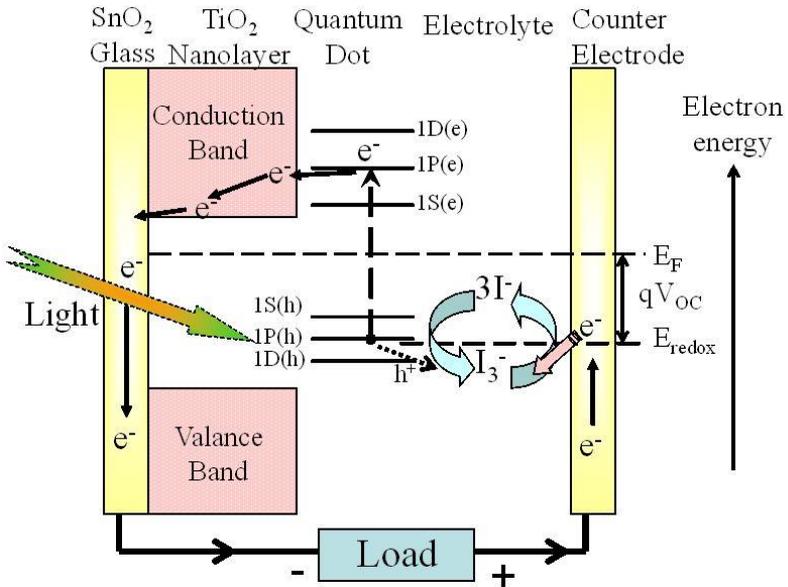
3. Elektron yang tereksitasi kemudian diinjeksi pada pita konduksi dari semikonduktor dengan struktur nano ( $TiO_2$ ). Kemudian terjadi oksidasi pada fotosensitizer (Kuantum dot/  $QDs$ ).



4. Elektron yang terinjeksi akan melewati semikonduktor oksida  $TiO_2$  dan mengalir ke beban dimana kerja yang diterima disebut sebagai energi listrik.

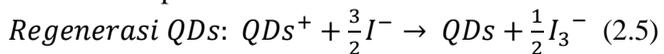


E.P. adalah elektroda pembanding yang akan dilewati elektron setelah semikonduktor oksida. Elektroda pembanding identik dengan elektroda kerja (fotoanode) dimana nanopartikel  $TiO_2$  dideposisikan. Elektroda pembanding biasanya dilapisi dengan sebuah katalis.

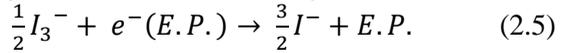


**Gambar 2.7** Diagram kerja *Quantum-dot Sensitized Solar Cells* (Jasim, 2015)

5. Elektrolit yang biasa digunakan pada sel surya tersensitasi zat pewarna (DSSC) adalah *polysulfide* dan elektrolit organik yang berbasis pasangan redox iodide dan triiodida. Jika diasumsikan bahwa elektrolit yang digunakan pada QDSCs ini adalah elektrolit berbasis iodida dan triiodida. Sensitizer yang teroksidasi yang berarti kehilangan elektron ( $QDs^+$ ) akan diregenerasi dengan menerima elektron dari oksidasi ion iodide. Hal ini menyebabkan QDs kembali ke keadaan dasar dan sehingga memicu terjadinya reaksi redoks pada elektrolit. Regenerasi kuantum dot dapat dilihat melalui Persamaan 2.5.

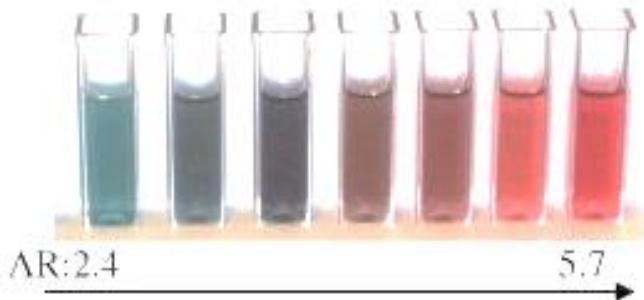


6. Triiodide ( $I_3^-$ ) akan berdifusi ke elektroda pembanding dan berinteraksi dengan elektron yang dibawa dari beban luar sehingga triiodide tereduksi menjadi ion  $I^-$ .



## 2.4 Gold Nanopartikel

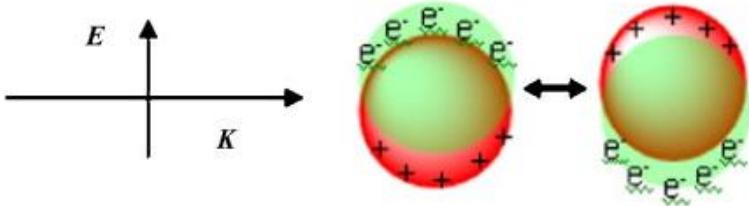
Nanoteknologi adalah teknologi produksi material dan devais yang memiliki ukuran lebih kecil. Material yang diperoleh disebut sebagai nanomaterial. *Gold* nanopartikel adalah nanomaterial yang paling cocok untuk dipersiapkan dalam aplikasi devais cerdas. *Gold* nanopartikel memiliki beberapa bentuk seperti *nanorod*, *nanocubic*, *nanodumbbell*, *nanospherical*, dan *nannoplate* (Husna, 2011).



**Gambar 2.8** Perbedaan dimensi pada *gold* nanopartikel dapat dilihat pada perbedaan warnanya (Huang dan El-Sayed, 2010).

*Gold* Nanopartikel merupakan koloid yang memiliki warna berbeda berdasarkan bentuk dan ukuran diameternya. Ukuran *gold* nanopartikel ditentukan oleh metode pembuatannya. Terdapat beberapa metode pembuatan *gold* nanopartikel, diantaranya adalah irradiasi laser, sonokimia, sonoelektrokimia, fotokimia dengan sinar UV, reduksi kimia, elektrokimia, ekstrak tanaman, dll. Salah satu contoh *gold* nanopartikel adalah *gold* nanopartikel dengan

diameter 10 nm dan berbentuk bulat (*spherical*), memberi warna merah delima (Husna, 2011).



**Gambar 2.8** Ilustrasi resonansi permukaan plasmon pada metal nanopartikel (Huang dan El-Sayed, 2010).

Salah satu karakteristik dari metal nanomaterial adalah *surface plasmonic resonance* (resonansi permukaan plasmon). Metal nanomaterial mengandung ion-ion positif dan elektron bebas yang dapat bergerak di sepanjang kisi kristal. Dalam keadaan setimbang (jumlah elektron sama dengan jumlah muatan positif), elektron akan tersebar membentuk aliran elektron yang menyelubungi muatan positif. Istilah plasmon berarti osilasi dari elektron valensi pada metal material. Pada Gambar 2.8 dapat dilihat ilustrasi dari resonansi permukaan plasmon. Permukaan plasmon adalah permukaan yang menyelubungi *core gold* nanopartikel. Pada saat *gold* nanopartikel dikenai medan listrik, elektron pada *gold* nanopartikel akan bergerak ke arah yang berlawanan dari berlawanan arah medan listrik. Kemudian akan timbul gaya pemulih yang menyebabkan elektron bebas terakumulasi ke arah berlawanan lagi, hal ini terus menerus terjadi. Inilah yang disebut sebagai resonansi permukaan plasmon (Belahmar and Chouiyakh\*, 2016).

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Alat dan Bahan Penelitian**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *beaker glass*, gelas ukur, cawan petri, *magnetic bar*, *hot-plate*, *stainless-steel*, *crucible*, PH meter, *furnace*, neraca digital, pipet, mortar, cuvet, pinset, kabel, penggaris, *ultrasonic cleaner*. Peralatan karakterisasi sampel digunakan alat uji berupa *X-ray Diffractometer (XRD)*, *Ultra Violet Visible Spectrometer (UV-Vis Spectrometer)*, *Particle Size Analyzer (PSA)*, dan *sun simulator*.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah  $\text{TiCl}_3$ , aquades,  $\text{NH}_4\text{OH}$ , kuantum dot CdSe, *gold* nanopartikel, PEG-4000 (*Polyethylene Glycol*), KI, *acetonnitril*, *iodine*, HCL, ethanol, triton X-1000, asam asetat, *black carbon*.

### **3.2 Metode Karakterisasi**

Pemahaman akan suatu material dan kinerja devais dapat diperoleh dengan berbagai metode karakterisasi. Dalam penelitian ini akan dilakukan karakterisasi terhadap semikonduktor oksida ( $\text{TiO}_2$ ), *sensitizer (QDs + GNP)*, dan devais sel surya yang telah dirakit. Karakterisasi semikonduktor  $\text{TiO}_2$  dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Diffractometer (XRD)* untuk mengetahui fasa dan ukuran kristal yang dihasilkan. Karakterisasi sensitizer dilakukan dengan *Particle Size Analyzer* dan *UV-Vis Spectrometry* sedangkan karakterisasi performansi devais QDSCs dilakukan dengan menggunakan *Sun Simulator*.

#### **3.2.1 Karakterisasi fasa dan ukuran kristal $\text{TiO}_2$ dengan *X-ray diffractometer (XRD)***

Karakterisasi serbuk  $\text{TiO}_2$  yang telah disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi dilakukan dengan uji difraksi sinar-X mengetahui fasa dan ukuran kristal yang terbentuk. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium XRD menggunakan *Philips XRD X-Pert XMS*. Sinar-X yang

digunakan memiliki panjang gelombang 10 sampai dengan 0.0001 nm, dengan penembakan sinar-X pada suatu material menandakan terdapat energi besar yang menembusnya. Hal ini dapat memberikan informasi terkait struktur, fasa, ukuran kristalin material. Sebab setiap material akan memiliki respon yang unik dan berbeda apabila ditembak dengan sinar-X. Salah satu respon tersebut adalah penghamburan (difraksi).

Dari hasil uji Difraksi Sinar-X ini diperoleh data berupa puncak-puncak difraksi pada sudut tertentu (posisi  $2\theta$ ) dan intensitas. Data hasil uji XRD tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi fasa didasarkan pada pencocokan data menggunakan software *Match!* dan menghitung ukuran kristal menggunakan MAUD.

### **3.2.2 Karakterisasi distribusi ukuran partikel dengan *particle size analyzer* (PSA)**

Kuantum dot dan *gold* nanopartikel yang akan digunakan sebagai *sensitizer* diuji dengan menggunakan *Particle Size Analyzer* untuk mengetahui distribusi ukuran partikelnya. Metode yang digunakan pada PSA adalah metode *Dinamyc Light Scattering* (DLS) yang memanfaatkan hamburan inframerah. Hamburan inframerah yang dihasilkan oleh alat tersebut ditembakkan ke sampel sehingga sampel akan bereaksi dan menghasilkan gerak Brown (gerak acak dari partikel yang sangat kecil dalam cairan akibat dari benturan dengan molekul-molekul yang ada dalam zat cair). Gerak inilah yang kemudian di analisis oleh alat, semakin kecil ukuran molekul maka akan semakin cepat gerakannya. Pengujian dengan menggunakan *Particle Size Analyzer* ini dilakukan di Laboratorium Zat Padat Fisika ITS.

### **3.2.3 Karakterisasi absorbansi dan transmisi dengan *ultra violet visible* (UV-Vis) *spectrometer***

Karakterisasi ketiga yang digunakan adalah karakterisasi dengan menggunakan spectrometer UV-Vis untuk mengetahui bagaimana absorbansi, transmitansi serta energi gap dari *sensitizer* yang digunakan. Pengujian dengan menggunakan

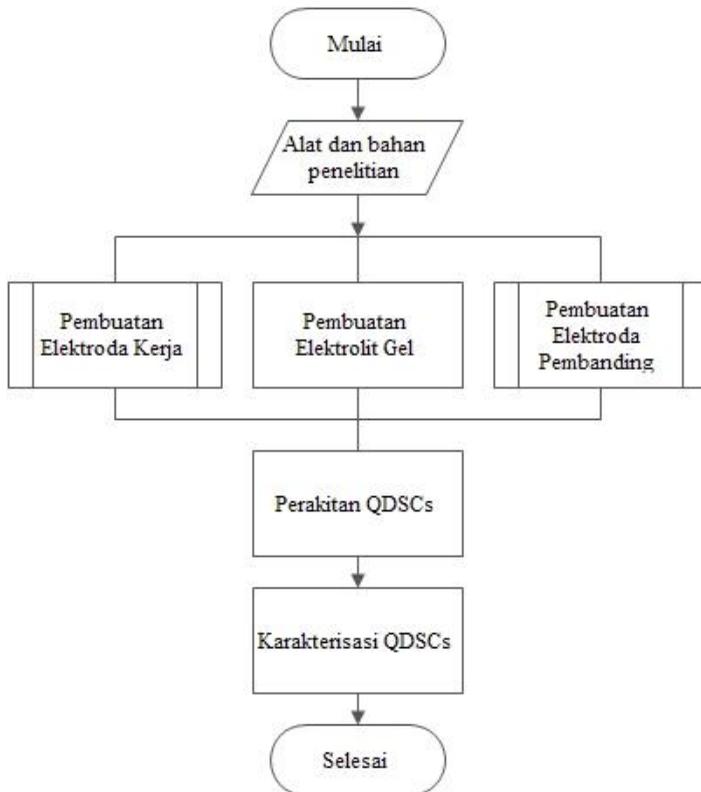
spectrometer UV-Vis ini dilakukan di Laboratorium Zat Padat Fisika ITS.

### 3.2.4 Karakterisasi sel surya dengan *solar simulator*

Karakterisasi terakhir dilakukan setelah semua proses selesai, dan prototipe QDSCs telah dirakit. Karakterisasi sel surya ini menggunakan Solar Simulator dengan lampu Xenon  $100\text{mW}/\text{cm}^2$  di Laboratorium magnetic Fisika ITB.

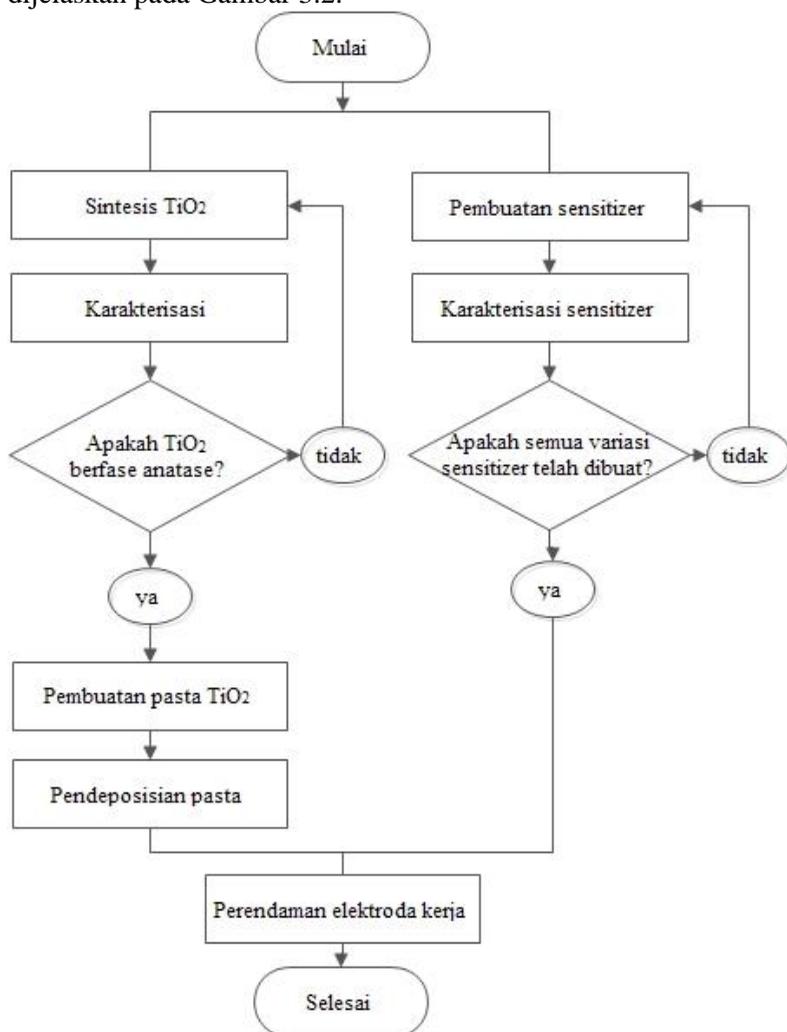
### 3.3 Prosedur Kerja

Langkah-langkah dalam penelitian ini secara umum dirangkum dalam diagram alir (Gambar 3.1).



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian Secara Umum

Metodologi penelitian ini terdiri dari tiga bagian utama yaitu (i) pembuatan elektroda kerja, (ii) pembuatan elektrolit cair, dan (iii) pembuatan elektroda pembanding. Setelah ketiga bagian terselesaikan maka dilanjutkan dengan perakitan dan karakterisasi alat. Bagian pertama pembuatan elektroda kerja dijelaskan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan Elektroda kerja

### 3.3.1 Sintesis TiO<sub>2</sub>

Sintesis TiO<sub>2</sub> nanopartikel dilakukan dengan metode kopresipitasi yaitu: 20 mL TiCl<sub>3</sub> dicampur dengan 100 mL aquades dan diaduk selama 1 jam. Larutan yang telah dibuat kemudian ditetesi dengan NH<sub>4</sub>OH hingga mencapai pH 9. Kemudian larutan diendapkan pada suhu kamar. Setelah larutan mengendap, aquades di ambil sedikit demi sedikit dengan menggunakan pipet tetes sampai tersisa endapan TiO<sub>2</sub> saja. Kemudian dilakukan pencucian dengan memasukan 200 ml aquades kedalam gelas kimia yang berisi endapan TiO<sub>2</sub>. Setelah itu diaduk dan kembali di endapkan kembali, proses ini dilakukan berulang hingga endapan TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan memiliki pH 7. Endapan TiO<sub>2</sub> yang memiliki pH 7 dikalsinasi pada suhu 400<sup>0</sup>C dengan waktu *holding* selama 3 jam menggunakan *furnace* hingga terbentuk gumpalan kering TiO<sub>2</sub> (Santosa, 2015).

### 3.3.2 Pembuatan pasta TiO<sub>2</sub>

Pasta TiO<sub>2</sub> adalah pasta yang akan dideposisikan pada kaca konduktif. Pasta TiO<sub>2</sub> dibuat dari pencampuran 0,7 g gumpalan TiO<sub>2</sub> yang digerus halus dengan menggunakan mortar. Serbuk TiO<sub>2</sub> tersebut ditambahkan 1,4 mL aquades sambil terus digerus dalam mortar selama 10 menit. Kemudian ditambahkan 0,3 g PEG 4000, 0,7 mL asam asetat, 1 mL asetilasetone dan 0,7 mL triton X-100. Pasta TiO<sub>2</sub> yang terbentuk berwarna putih kekuningan dan dimasukkan ke dalam botol salep kemudian ditutup rapat.

### 3.3.3 Pendeposisian pasta TiO<sub>2</sub>

Kaca konduktif ITO berukuran 2 × 2,5 cm<sup>2</sup> dibentuk area pembatas dari plastik setebal 10 μm untuk mendapatkan area pendeposisian pasta TiO<sub>2</sub> dan kontrol ketebalan lapisan TiO<sub>2</sub> dengan ukuran luasan 1 × 1 cm<sup>2</sup>. Pasta TiO<sub>2</sub> yang terdeposisi pada kaca ITO dipanaskan pada suhu 100 °C dan setiap selang waktu 5 menit suhu dinaikan 50°C hingga suhu mencapai 450°C. Setelah mencapai suhu 450 °C maka suhu diturun hingga mencapai suhu ruangan. Pendeposisian TiO<sub>2</sub> pada Kaca ITO dilakukan dengan menggunakan metode *Doctor Blade*.

### 3.3.4 Pembuatkan *sensitizer*

Setelah pasta  $\text{TiO}_2$  terdeposisi pada kaca konduktif ITO, bagian selanjutnya dalam pembuatan elektroda kerja adalah persiapan *sensitizer* yang akan digunakan. Sebelum pencampuran, masing-masing bahan diuji dengan menggunakan *Partile Size Analyzer*.

Dalam penelitian ini, *sensitizer* berfungsi sebagai variabel bebas, dimana *sensitizer* divariasikan dalam penelitian. Variasi pertama adalah *sensitizer* kuantum dot CdSe (i). Kuantum dot CdSe 1 mL dilarutkan kedalam 4 mL aquades. *Sensitizer* yang sudah terbentuk dimasukkan ke dalam botol kemudian ditutup rapat. Variasi selanjutnya adalah campuran kuantum dot CdSe dan *gold* nanopartikel. *Gold* nanopartikel sebanyak 0.1ml ditambahkan ke dalam kuantum dot CdSe 4 mL sehingga diperoleh *sensitizer* variasi ke dua yaitu 1:40 (ii). Selanjutnya larutan ditambahkan kembali 0.1 ml *gold* nanopartikel sehingga diperoleh *sensitizer* dengan perbandingan 1:20 (iii). Terakhir, larutan yang telah ada ditambahkan *gold* nanopartikel sebanyak 0.45 mL sehingga diperoleh perbandingan 1:6 (iv). Penambahan ini dilakukan dengan menggunakan mikropipet. Campuran yang terbentuk disimpan di dalam botol vial dan ditutup rapat. Pada setiap penambahan *gold* nanopartikel pada kuantum dot di uji dengan menggunakan spectrometer UV-Vis untuk mengetahui absorbansi dan transmitansinya.

### 3.3.5 Perendaman elektroda kerja

$\text{TiO}_2$  yang telah terdeposisi pada kaca konduktif direndam di dalam *sensitizer* yang telah disiapkan selama 3 jam dengan menggunakan cawan petri. Kemudian elektroda diangkat dengan menggunakan pinset dan dikeringkan dalam suhu ruangan.

### 3.3.6 Pembuatan elektrolit

Elektrolit pada DSSC digunakan sebagai medium transport muatan, pada penelitian ini elektrolit yang digunakan terdiri dari iodine ( $\text{I}^-$ ) dan triiodide ( $\text{I}_3^-$ ) sebagai pasangan redoks

dalam pelarut. Sebelum pembuatan elektrolit gel, dibuat terlebih dahulu elektrolit cair. Elektrolit cair terbuat dari 3 g KI yang dilarutkan kedalam 10 mL asetonitril dan 3 mL iodin. Kemudian dibuat elektrolit gel. Elektrolit gel dibuat dari pencampuran elektrolit cair, 7 g PEG 4000 dan 25 mL kloroform. Pencampuran dilakukan dengan menggunakan magnetik *stirrer* yang dipanasi  $80^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam hingga diperoleh elektrolit bersifat gel (Santosa, 2015).

### 3.3.7 Pembuatan elektroda pembanding

Pembuaan elektroda pembanding dapat dilihat pada Gambar 3.3 katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah *black carbon*. 3.5 g serbuk *black carbon* dilarutkan kedalam 15 mL ethanol kemudian diaduk dengan menggunakan magnetik *stirrer*. *Counter electrode* dibuat dengan cara mendeposisikan larutan *black carbon* pada permukaan konduktif kaca ITO. Setelah proses pendeposisian selesai, kaca ITO di panaskan dengan menggunakan *hotplate* (Santosa, 2015).



**Gambar 3.3** Diagram Alir Pembuatan Elektroda Pembanding

### 3.3.8 Perakitan QDSCs

Setelah tiga bagian utama, pembuatan elektroda kerja, pembuatan elektrolit dan pembuatan elektroda pembanding selesai. Kemudian dilakukan perakitan prototipe QDSCs.

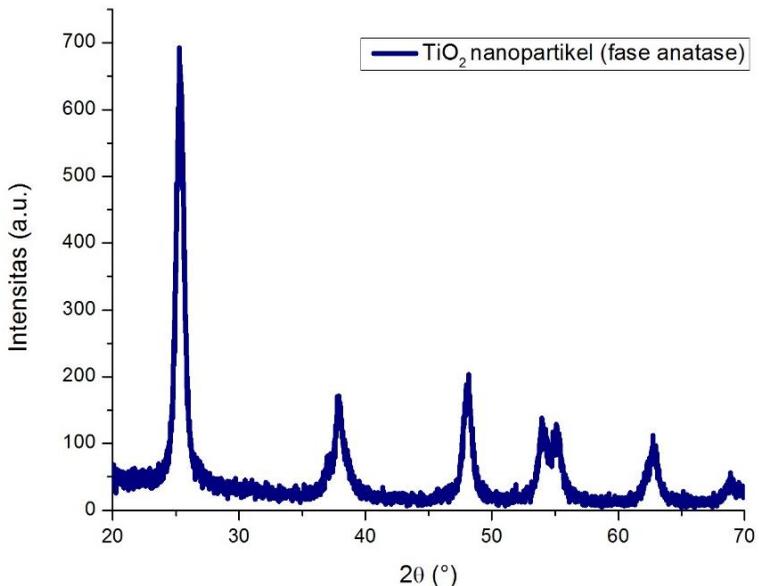
1. Mula-mula gasket dipotong sebesar  $2 \times 1,6 \text{ cm}^2$  dan dilubangi sebesar  $1 \text{ cm}^2$ . Kedua sisi gasket di tempeli double tape yang berfungsi untuk merekatkan elektroda kerja dan elektroda pembanding (Handini, 2008).
2. Elektroda kerja yang sudah direndam dibuat luasan lapisan  $\text{TiO}_2$  sebesar  $1 \text{ cm}^2$ . Hal ini juga berlaku pada elektroda pembanding. Elektroda pembanding (kuda konduktif yang telah dideposisikan karbon diseluruh permukaannya), juga di buat luasan sebesar  $1 \text{ cm}^2$  dengan cara menghapus karbon yang menempel pada kaca.
3. Gasket direkatkan pada elektroda kerja, kemudian elektrolit dimasukkan ke lubang pada gasket dengan menggunakan pipet tetes. Lapisan ini kemudian ditutup dengan menggunakan elektroda pembanding.
4. Lapisan *QDSCs* secara berurutan terdiri dari elektroda kerja, elektrolit dan elektroda karbon. Setelah elektrolit diisi, kemudian ditutup dengan elektroda pembanding dengan rapat.

Setelah perakitan *QDSCs* selesai, langkah terakhir adalah karakterisasi I-V prototype dengan menggunakan *Solar Simulator*.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Identifikasi Fasa dan Ukuran Kristal TiO<sub>2</sub> dengan XRD

Pengujian XRD (Philips XRD X-Pert XMS) TiO<sub>2</sub> dilakukan di Jurusan Teknik Material Metalurgi ITS. Sampel yang di uji adalah serbuk TiO<sub>2</sub> yang disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi. Pada sintesis ini digunakan TiCl<sub>3</sub>, aquades dan penambahan NH<sub>4</sub>OH. Pengujian XRD dilakukan pada sudut 20-70° dan diolah dengan menggunakan software *Match!* untuk mendapatkan pola difraksi XRD dan fase yang terbentuk pada sampel. Hasil pola difraksi pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Pola Difraksi TiO<sub>2</sub> Fase Anatase

Identifikasi fase sampel merupakan proses mencocokkan data letak puncak-puncak (*peak*) yang terukur

dengan *database* fase pada perangkat lunak *Match!*. Titanium dioxide umumnya mempunyai tiga fasa yaitu brookit, rutil, dan anatase (Handini, 2008). Pola difraksi yang muncul dari pengukuran dengan difraktometer sinar-X memperlihatkan puncak-puncak yang menunjukkan nilai  $d$  adalah 3,52; 2,38; 1,89. Puncak-puncak tersebut memperlihatkan identitas puncak fase anatase. Secara detail puncak-puncak difraksi muncul pada sudut  $22,52^\circ$ ;  $37,70^\circ$  dan  $48,08^\circ$  masing-masing pada bidang difraksi (011), (004), (020). Terbentuknya fase anatase pada sampel  $\text{TiO}_2$  ini menunjukkan bahwa teknik kalsinasi pada suhu  $400^\circ\text{C}$  adalah suhu yang cukup untuk mengubah  $\text{TiO}_2$  menjadi kristal anatase 100%, tanpa adanya fase rutil yang terbentuk. Pada penelitian ini diharapkan terbentuknya  $\text{TiO}_2$  dengan fase anatase. Hal ini disebabkan pada fase anatase,  $\text{TiO}_2$  memiliki sifat fotokatalis dan fotovoltaiik yang tinggi.  $\text{TiO}_2$  memiliki energi gap yang lebih tinggi 0.1 eV dibandingkan dengan fase rutil  $\text{TiO}_2$  (Lee dan Yang, 2011).

Selain penentuan fasa dengan menggunakan perangkat lunak *Match!*, perkiraan ukuran kristalin sampel berdasarkan hasil pengujian XRD dapat diketahui dengan menggunakan analisa perangkat lunak MAUD. Analisa pada perangkat MAUD merupakan pencocokan antara pola difraksi terhitung dan pola difraksi terukur. Dari perhitungan ini diperoleh bahwa ukuran partikel  $\text{TiO}_2$  adalah 11.1 nm. Ukuran yang diperoleh tersebut menunjukkan bahwa  $\text{TiO}_2$  berada pada skala ukuran nano. Penggunaan  $\text{TiO}_2$  yang berstruktur nanopori disebabkan  $\text{TiO}_2$  pada dimensi nano memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga kapasitas beban *sensitizer*nya juga besar. Hal ini berarti daya serap  $\text{TiO}_2$  terhadap molekul *sensitizer* menjadi lebih tinggi dan kemudian meningkatkan daya serap foton oleh devis DSSC.

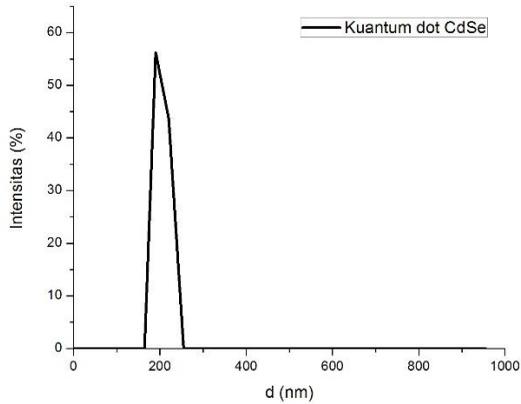
## 4.2 Identifikasi Distribusi Ukuran Partikel dengan PSA

Pengujian *particle size analyzer* pada *gold* nanopartikel dan kuantum dot di Lab. Zat Padat Jurusan Fisika ITS. Dari hasil pengujian tersebut dapat diketahui distribusi ukuran partikel kuantum dot dan *gold* nanopartikel.

### 4.2.1 Kuantum dot CdSe

Gambar 4.2 menunjukkan pola distribusi ukuran partikel kuantum dot. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa ukuran partikel kuantum dot yang digunakan tidak homogen, selain itu juga dapat dilihat berapa persentase partikel dengan ukuran tertentu. Distribusi kuantum dot terbesar berada pada rentang 100-1000 nm. Dari hasil PSA dapat dilihat distribusi partikel terkecil berada pada ukuran 190 nm. Besarnya ukuran partikel kuantum dot ini dikarenakan kuantum dot mengalami aglomerasi (penggumpalan) sehingga pada saat pengujian, ukuran partikel yang terbaca berada pada rentang ukuran 100-190 nm. Ukuran awal kuantum dot sebelum mengalami aglomerasi adalah 10 nm.

Aglomerasi yang terjadi akibat pengendapan nanopartikel umumnya terjadi pada molekul polar. Salah satu ciri yang menjadikan molekul polar adalah pelarutnya. Jika pelarut yang digunakan adalah air, maka dapat dikatakan bahwa molekul tersebut adalah polar. Dalam hal ini kuantum dot yang digunakan adalah kuantum dot dengan pelarut air (*water solvent*). Kuantum dot terbentuk dari partikel-partikel kecil dengan ukuran 2-10 nm dengan pelarut air dapat mengalami aglomerasi jika dibiarkan dalam waktu yang lama.



**Gambar 4.2** Pola distribusi ukuran partikel kuantum dot dengan menggunakan *Particle Size Analyzer*

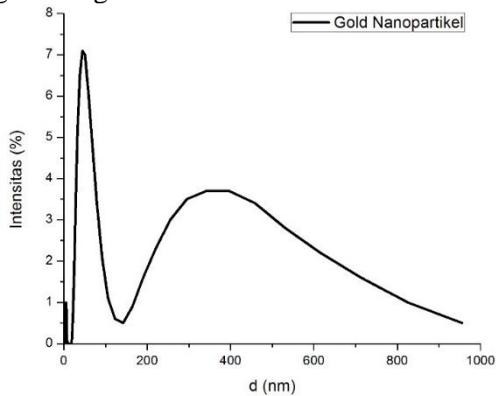
#### 4.2.2 *Gold* nanopartikel koloid

*Gold* nanopartikel koloid dibuat dengan metode elektrolisis dengan pereduksi nitrat. Koloid adalah campuran yang berada antara larutan sejati dan suspense yang memiliki ukuran antara  $0.001 - 0.1 \mu\text{m}$  atau  $1 - 100 \text{ nm}$  (Husna, 2011).

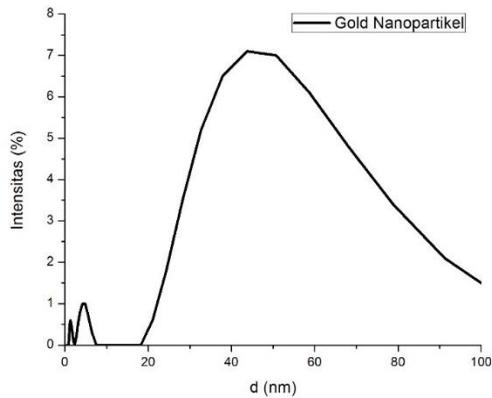
Pengujian dengan menggunakan *particle size analyzer* dilakukan dengan tujuan mengetahui ukuran *gold* nanopartikel. Gambar 4.3 menunjukkan pesebaran partikel *gold* nanopartikel, gambar tersebut memperlihatkan bahwa distribusi ukuran partikel *gold* nanopartikel paling banyak berada dalam rentang  $20 - 100 \text{ nm}$ . Pesebaran partikel dalam rentang  $20-100 \text{ nm}$  dapat dilihat di Gambar 4.3 (b). Dari PSA terlihat bahwa rata-rata distribusi ukuran partikel sebesar  $74.08 \text{ nm}$  sedangkan ukuran partikel terbanyak yaitu ukuran  $43 \text{ nm}$  sebanyak  $7.1\%$ .

*Gold* nanopartikel yang digunakan dalam penelitian ini adalah *gold* nanopartikel yang disintesis dengan menggunakan metode elektrokimia dengan menggunakan pereduksi Na-sitrat. Penggunaan natrium sitrat sebagai zat pereduksi dikarenakan natrium sitrat juga berfungsi sebagai zat stabilisator yang dapat mencegah terbentuknya agregat emas, sehingga dihasilkan nanopartikel yang lebih stabil. *Gold* nanopartikel dengan ukuran  $74.08 \text{ nm}$  ini memiliki warna merah muda. Warna pada

nanopartikel menunjukkan ukuran partikelnya, jika warna pada *gold* nanopartikel menjadi jernih, artinya *gold* nanopartikel telah mengalami aglomerasi.



(a)



(b)

**Gambar 4.3** Pola distribusi ukuran partikel nanopartikel dengan menggunakan *Particle Size Analyzer* (a) Distribusi rentang 0-1000 nm, (b) Distribusi rentang 0-100 nm)

#### 4.3 Karakterisasi Optis *Sensitizer* dengan menggunakan *UV-Vis Spectrometer*

*Sensitizer* memegang peranan sangat penting dalam menghasilkan pasangan elektron-hole dalam sel surya tersensitasi zat pewarna (Lee dan Yang, 2011). Variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi *sensitizer* atau zat

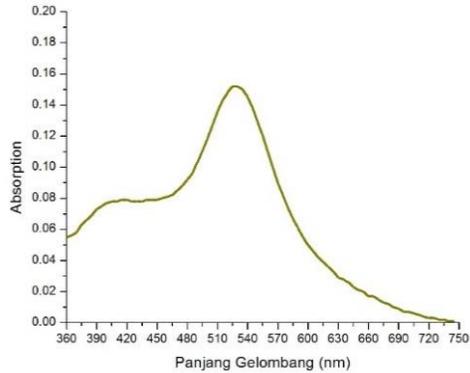
pewarna dari sel surya tersensitasi itu sendiri. *Sensitizer* pada elektroda kerja QDSCs berfungsi untuk menangkap foton yang akan di absorpsi ke dalam  $\text{TiO}_2$  nanopartikel (Handini, 2008). Pada penelitian ini kuantum dot CdSe dengan pelarut air digunakan sebagai *sensitizer*. Variasinya terletak pada penambahan *gold* nanopartikel kedalam kuantum dot. Untuk mengetahui karakteristik optis dari variasi *sensitizer* yang digunakan dilakukan pengujian dengan menggunakan instrument spectrometer *ultraviolet-visible*. Dari pengujian ini dapat diketahui sifat absorbansi, transmisi serta energi gap *sensitizer*.

#### 4.3.1 Sifat absorbansi

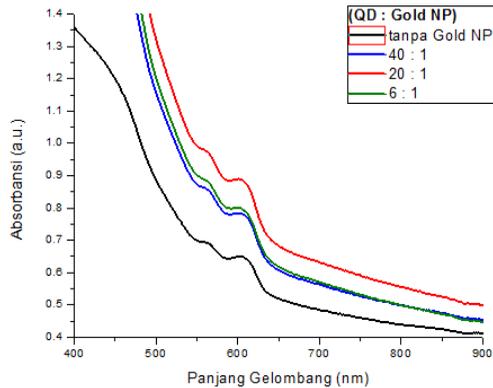
Fungsi *sensitizer* sebagai penangkap foton sangat berkaitan dengan sifat absorbansinya. Sampel atau *sensitizer* yang digunakan untuk pengujian absorpsi berbentuk larutan. Pada pengujian spektrometer sampel akan disinari oleh gelombang elektromagnetik dari rentang ultra-violet sampai gelombang tampak. Penambahan *gold* nanopartikel ke dalam kuantum dot bertujuan untuk meningkatkan efisiensi kuantum dot. Pemilihan *gold* nanopartikel dilakukan karena memanfaatkan efek plasmon dari *gold* nanopartikel sebagai nanopartikel logam. Interaksi antara plasmon dan spektrum dari kuantum dot diketahui dapat meningkatkan efisiensi kuantum dot. Hal ini terjadi karena adanya kesesuaian antara spektrum absorbansi *gold* nanopartikel dan kuantum dot sehingga dapat meningkatkan densitas optik dari kuantum dot tersebut (Isnaeni dan Yulianto, 2015).

Hasil pengujian absorbansi dengan menggunakan spectrometer UV-Vis secara makroskopis terlihat pada Gambar 4.3. Gambar 4.3 (a) menunjukkan hubungan antara panjang gelombang dan absorbansi, absorbansi tertinggi *gold* nanopartikel terletak pada rentang panjang gelombang 525-535 nm yaitu 0.152 a.u. dan *peak* dari absorbansi *gold* nanopartikel terlihat pada panjang gelombang 530. Dari penelitian sebelumnya diketahui bahwa *peak* absorbansi *gold* nanopartikel terletak pada rentang panjang gelombang 51-5500 nm dengan

intensitas  
0.7 – 1.2 a.u (Han et al., 2007).



(a)



(b)

**Gambar 4.4** Spektrum absorbansi *Sensitizer* menggunakan spektrometer UV-Vis. (a) *Gold* nanopartikel, (b) kuantum dot sebelum dan setelah penambahan *gold* nanopartikel

Gambar 4.4 (b) menunjukkan absorbansi kuantum dot sebelum dan setelah penambahan *gold* nanopartikel. Dalam gambar tersebut terlihat bahwa secara makroskopis, absorbansi kuantum dot CdSe dapat ditingkatkan dengan kehadiran *gold* nanopartikel. Hanya saja penambahan *gold* nanopartikel tidak secara linear meningkatkan absorbansi

kuantum dot. Ada rentang tertentu yang dapat meningkatkan absorbansi secara signifikan, dan pada rentang tertentu hanya mengalami kenaikan yang kecil. Peningkatan absorbansi terbesar dimulai dari sampel *gold* nanopartikel dan kuantum dot dengan perbandingan 1:20, 1:6, 1:10, 1:40, 1:80 (rincian perbandingan dapat dilihat di **Lampiran C**). Ketika penambahan *gold* nanopartikel pada perbandingan 1:80 – 1:20, absorbansi kuantum dot meningkat, namun ketika dilakukan penambahan *gold* nanopartikel lagi mencapai perbandingan 1:10, absorbansi kuantum dot menurun.

Berdasarkan penelitian ini, ketika absorbansi mencapai titik maksimal, penambahan konsentrasi *gold* nanopartikel akan menurunkan absorbansi kuantum dot. Hal ini juga berlaku pada emisi kuantum dot, dalam penelitian Hsieh, dkk., (2007) menunjukkan ketika emisi kuantum dot telah mencapai titik maksimum, penambahan selanjutnya menyebabkan penurunan emisi kuantum dot.

Kuantum dot memiliki serapan pada panjang gelombang tampak (*visible*) dengan energi gap yang bersesuaian dengan ukuran dan warna kuantum dot. Kuantum dot CdSe pada penelitian ini memiliki *peak* pada spektrum warna merah.

Pada Gambar 4.4 dapat dilihat spektrum absorbansi dari *gold* nanopartikel dan kuantum dot CdSe. Serapan *gold* nanopartikel berada pada rentang panjang gelombang 510-550 nm. Dalam Verma et al., (2014) serapan *gold* nanopartikel berada pada rentang panjang gelombang 500-550 dengan spectrum warna biru-hijau. Menurut Huang and El-Sayed, (2010) *gold* nanopartikel cenderung menyerap pada spektrum warna hijau-biru dan memantulkan warna merah. Hal ini berlawanan dengan spektrum serapan kuantum dot yang berada pada rentang panjang gelombang merah.

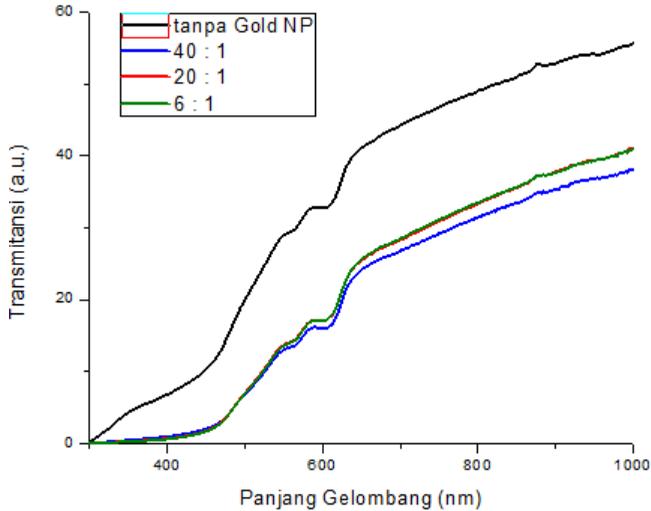
Gambar 4.4 juga menunjukkan bahwa penambahan *gold* nanopartikel menyebabkan intensitas serapan kuantum dot pada panjang gelombang merah meningkat. Hal ini disebabkan semakin banyak *gold* nanopartikel, akan ada semakin banyak pula spektrum warna merah yang dipantulkan. Semakin banyak spektrum warna merah yang dipantulkan, menyebabkan

kuantum dot dapat menyerap semakin banyak bula spektrum warna merah. Hal ini mengindikasikan bahwa keberadaan *gold* nanopartikel dapat memfokuskan serapan panjang gelombang merah pada kuantum dot, sehingga dapat terlihat bahwa intensitas absorbansi nya meningkat.

Hanya saja, dilain sisi, dapat dilihat pula bahwa intensitas absorbansi kuantum dot dapat menurun kembali setelah penambahan *gold* nanopartikel diatas perbandingan 20:1. Hal ini terjadi karena jika *gold* nanopartikel yang ditambahkan melampaui batas tertentu akan terbentuk agregat *gold* nanopartikel. Pambentukan agregat ini dapat mengubah sifat optis *gold* nanopartikel.

#### **4.3.2 Sifat transmisi**

Spektrum transmisi pada kuantum dot sebelum dan setelah penambahan *gold* nanopartikel dapat ditunjukkan pada Gambar 4.5. Gambar 4.5 menunjukkan spektrum transmitansi kuantum dot sebelum penambahan *gold* nanopartikel. Transmisi maksimal kuantum dot mencapai 58.64 a.u. pada panjang gelombang 1090 nm. Transmittansi kuantum dot terlihat meningkat dari rentang 300-1090 nm.



**Gambar 4.5** Spektrum Transmisi Kuantum dot sebelum, dan setelah penambahan *gold* nanopartikel menggunakan spektrometer UV-Vis, dengan perbandingan *gold* nanopartikel: kuantum dot, yaitu 1:80, 1:40, 1:20, 1:10, dan 1:6.

Setelah penambahan *gold* nanopartikel, transmitansi kuantum menjadi berkurang 5 – 8 a.u pada setiap panjang gelombang, hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.4. Pengurangan transmitansi terbesar terjadi pada penambahan *gold* nanopartikel yang paling sedikit, dengan perbandingan 1:80 (*Gold* nanopartikel: Kuantum dot). Ketika penambahan diberikan

### 4.3.3 Energi celah pita

Data absorbansi yang diperoleh dari *Genesys 10S Spectrophotometer Uv-Vis* memiliki satuan OD (*optical density*) (Rosyidah, 2016).

$$OD = \log_{10} \frac{1}{T} = \frac{\alpha l}{2.303} \dots\dots\dots (4.1)$$

sehingga dapat diperoleh,

$$\alpha = \frac{OD \cdot 2.303}{l} \dots\dots\dots (4.2)$$

dengan  $T$  adalah transmisi,  $\alpha$  koefisien absorbansi dan  $l$  adalah ketebalan sampel (Rosyidah, 2016).

Energi gap dapat ditentukan dengan menggunakan metode tauc plot. Dengan menggunakan data absorbansi yang diperoleh dari pengukuran Uv-Vis, dapat diolah dengan metode *Tauc plot*. Berdasarkan metode ini, koefisien absorbansi  $\alpha$  untuk material memenuhi persamaan 4.3 (Belahmar dan Chouiyakh\*, 2016)

$$(\alpha hv)^{1/n} = A (hv - E_g) \dots \dots \dots (4.3)$$

Pada persamaan tersebut  $A$  adalah konstansta,  $E_g$  adalah energi gap dalam satuan eV,  $h$  adalah konstanta Planck, dan  $n$  adalah nilai transisi material. Karena CdSe material yang memiliki sifat transisi *direct allowed* maka nilai  $n$  pada persamaan 4.3 adalah  $\frac{1}{2}$ .

Nilai energi gap dapat ditentukan dengan melakukan ekstrapolasi grafik *tauc plot* seperti pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 14 (**Lampiran 1**). Grafik tauc plot, terdiri dari  $(\alpha hv)^2$  sebagai ordinat dan  $hv$  sebagai axis. Energi gap  $E_g$  ditentukan dari garis lurus yang di tarik dari bagian kurva  $(\alpha hv)^2$  yang memotong sumbu axis  $hv$  hingga mencapai nilai  $(\alpha hv)^2 = 0$ . Titik yang dipotong pada sumbu axis itulah yang menjadi nilai energi gapnya.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Tian dan Cao (2013) energi gap kuantum dot CdSe dengan ukuran 7.5 nm adalah 1.9 eV. Pada peneltian ini diperlihatkan bahwa energi gap kuantum dot 193 nm adalah 2.22 eV, energi gap yang terbaca ini berdasarkan ukuran partikel kuantum dot saat pembuatannya, yaitu 10 nm. Energi gap kuantum dot meningkat menjadi 2.30; 2.38; 2.42 eV setelah penambahan *gold* nanopartikel (Tabel 4.1). Kuantum dot adalah material semikonduktor nano memiliki sifat yang khas dari sifat aslinya sebagai material *bulk*. Energi gap dari semikonduktor kuantum dot dapat meningkat dengan penambahan ukuran kuantum dot itu sendiri. Energi gap dari kuantum dot meningkat dengan menurunnya ukuran partikel kuantum dot (Tian dan Cao, 2013).

**Tabel 4.1** Energi Gap *Sensitizer*

Sampel	Energi Gap (eV)
CdSe QDs	2.2219
GNP	1.8785
CdSe QDs + GNP (40:1)	2.3045
CdSe QDs + GNP (20:1)	2.3751
CdSe QDs + GNP (6:1)	2.4263

Ketika energi gap dari kuantum dot semakin besar karena kehadiran *gold* nanopartikel, hal ini berarti akan ada lebih banyak energi yang dibutuhkan untuk diserap oleh kuantum dot (Tian dan Cao, 2013). Dalam kuantum dot, peningkatan energi gap mengindikasikan bahwa hanya foton dengan energi tinggi lah yang dapat diserap oleh kuantum dot. Karena hal ini lah, maka panjang gelombang yang diserap kuantum dot dapat di atur dengan mengatur energi gap atau mengatur ukuran kuantum dot itu sendiri. Di dalam pengaplikasian pada sel surya tersensitasi, efisiensi terbaik akan di capai dengan meningkatkan kesesuaian energi gap *sensitizer* dengan energi gap semikonduktor  $\text{TiO}_2$ .

*Gold* nanopartikel pada kuantum dot tidak bertindak sebagai sisipan (*doping*). Ia hanya bertindak sebagai media dalam kuantum dot. Jika bertindak sebagai *doping* level energi kuantum dot akan naik, namun jika bertindak sebagai media penjembutan, hanya akan membuat perubahan energi gap pada material utama (QDs).

#### **4.4 Performansi DSSC**

Masing-masing komponen dari sel surya yang digunakan untuk menyusun QDSCs sangat menentukan biaya dan efisiensi dari sel surya tersensitasi yang diteliti. Oleh karena itu, pada beberapa tahun terakhir hamper semua peneliti memiliki fokus riset untuk memodifikasi masing-masing komponen untuk diaplikasikan pada devais sel surya (Ye et al., 2015). Sehingga performansi akhir dari sebuah devais QDSCs tidak dapat ditentukan hanya dari satu sisi. Namun untuk mengetahui

bagaimana pengaruh salah satu komponen, maka komponen lainnya perlu dijadikan sebagai variabel kontrol.

#### 4.4.1 Karakteristik J-V QDSCs

Setelah dilakukan perakitan QDSCs, dilakukan pengukuran arus dan tegangan pada devais QDSCs dengan tujuan untuk mengetahui performansi QDSCs seperti yang di tunjukkan pada kurva J-V pada Gambar 4.8. Performansi QDSCs ditentukan oleh material yang digunakan dan teknis perakitan QDSCs. Selain itu penggunaan sumber lampu pada pengukuran dengan *sun simulator* juga dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Fokus utama pada penelitian ini adalah penggunaan *sensitizer* kuantum dot dengan penambahan *gold* nanopartikel. Ada beberapa parameter yang menentukan performansi suatu sel surya, parameter tersebut diantaranya arus *short circuit*, tegangan *open circuit*, *fill factor*, dan efisiensi (Sánchez-García et al., 2015).

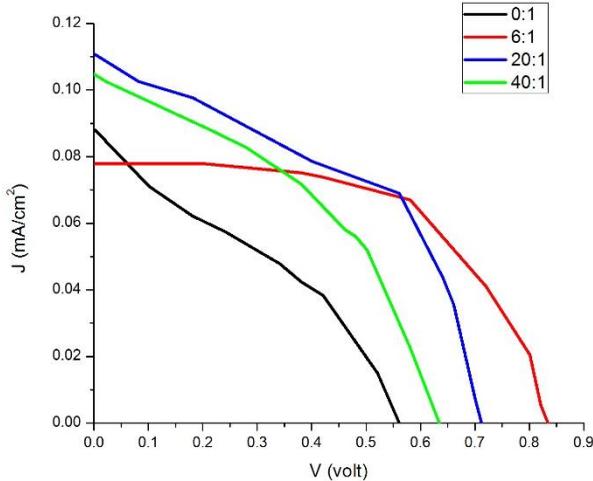
Pengukuran I-V dengan menggunakan *sun simulator* menghasilkan data I-V dari devais QDSCs pada kondisi *light* (terang) dan *dark* (gelap). Pengukuran pada kondisi *dark* diasumsikan sebagai penganalan devais sel surya bila tanpa ada cahaya, sedangkan kondisi *light* diasumsikan sebagai kondisi dimana devais sedang dikenai foton. Karena *dark* adalah skala nol I-V pada devais, maka data final I-V yang digunakan merupakan penjumlahan dari data I-V *dark* dan data I-V *light*. Dari kedua data ini dibentuk kurva J-V yang mengindikasikan performansi QDSCs (Gambar 4.6).

Dari kurva J-V tersebut, dapat ditentukan nilai  $J_{sc}$ ,  $V_{oc}$ ,  $V_{max}$ , dan  $J_{max}$ . Arus *short circuit* ( $J_{sc}$ ) diperoleh saat impedansi yang diberikan sangat kecil atau mendekati nol, pada kurva J-V nilai arus *short circuit* adalah nilai arus pada saat tegangan sama dengan nol. Sedangkan tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) diperoleh saat impedansi maksimal diberlakukan pada pengukuran, pada kurva I-V nilai tegangan *open circuit* adalah tegangan pada saat arus sama dengan nol. Nilai arus dan tegangan maksimum merupakan nilai tegangan dan arus pada saat daya maksimum berlaku pada pengukuran. Daya maksimum diperoleh ketika

perkalian antara arus dan tegangan yang dihasilkan dalam pengukuran mencapai nilai maksimum, disaat itulah dapat ditentukan nilai  $V_{max}$ , dan  $J_{max}$ .

Arus *short circuit* ( $J_{sc}$ ) yang dihasilkan oleh variasi QDSCs dengan perbandingan QDs + GNP (20:1) menunjukkan nilai yang paling tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa banyak *sensitizer* yang diserap oleh semikonduktor  $TiO_2$ , sehingga jumlah foton yang ditangkap *sensitizer* pun banyak dan performansi meningkat. Nilai arus *short circuit* ini berkaitan dengan *photocurrent* suatu devais. *Photocurrent* adalah arus yang timbul dalam suatu devais karena adanya pengaruh fotovoltaiik. Dalam sel surya tersensitasi ada tiga proses yang dapat menghasilkan arus: (a) proses absorpsi cahaya oleh *sensitizer*, (b) penginjeksian elektron dari *sensitizer* ke  $TiO_2$ , (c) pengumpulan elektron pada rangkaian eksternal dalam elektroda pembanding (Sánchez-García et al., 2015). Hal ini berarti semakin besar  $J_{sc}$  proses absorpsi foton juga semakin besar. Nilai  $J_{sc}$ .

Tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) pada kurva J-V dapat dilihat ketika  $y=0$ . Pada gambar 4.6 terlihat bahwa nilai tegangan *open circuit* yang diperoleh adalah 0.58, 0.64, 0.72, 0.82vV. Nilai tegangan yang paling besar yaitu 0.82 volt dimiliki oleh sel surya dengan variasi QDs + GNP (6:1). Nilai tegangan *open circuit* dipengaruhi oleh besarnya energi gap. Semakin besar energi gap maka semakin besar pula tegangan open circuit pada QDSCs. Pada Tabel 4 (**Lampiran 3**) dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya *gold* nanopartikel pada kuantum dot, nilai energi gapnya juga semakin besar. Dan semakin besar energi gap dari *sensitizer* maka semakin besar pula tegangan *open circuit* yang diberikan (Ye et al., 2015).



**Gambar 4.6** Kurva J-V QDSCs

Tegangan maksimum pada QDSCs menunjukkan perbedaan antara energi Fermi pada semikonduktor TiO<sub>2</sub> dan potensial redoks pada elektrolit (Lee dan Yang, 2011). Tegangan maksimum pada penelitian ini diperoleh sebesar 0.66 volt pada variasi 6:1 sedangkan rapat arus maksimum terdapat pada variasi 20:1.

Salah satu parameter yang menentukan performansi QDSCs adalah kurva yang terbentuk. Semakin ideal kurva yang terbentuk maka performansi QDSCs semakin baik. Dari Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa kurva J-V pada variasi *sensitizer* dengan perbandingan 6:1 menunjukkan kurva yang paling mendekati ideal, hal ini memperlihatkan bahwa nilai *fill factor* pada variasi inilah yang paling tinggi, pernyataan ini juga didukung dengan perhitungan yang telah dilakukan (Tabel 2). *Fill factor* dari suatu devais sel surya mengindikasikan seberapa dekat daya maksimum yang dihasilkan pada sel surya ( $P_{max}$ ) jika dibandingkan dengan nilai maksimal secara teori yakni perkalian  $J_{sc}$  dan  $V_{oc}$ .

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc}J_{sc}} = \frac{V_{max}J_{max}}{V_{oc}J_{sc}} \dots\dots\dots (4.4)$$

Pada dasarnya efisiensi QDSCs sangat bergantung pada parameter nilai  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ , dan  $FF$ . Data parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.2. Selain itu, Tabel 4.2 menunjukkan penambahan *gold* nanopartikel pada *sensitizer* kuantum dot dapat meningkatkan efisiensi sel surya tersensitasi. Peningkatan efisiensi terbesar ada pada perbandingan 20: 1. Peningkatan efisiensi (Tabel 4.2) yang dialami oleh QDSCs ini sebanding dengan peningkatan absorbansi (Gambar 4.4 b) pada kuantum dot dengan penambahan *gold* nanopartikel.

$$\eta (\%) = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100 = \frac{V_{oc}J_{sc}FF}{P_{in}} \times 100 \dots\dots\dots (4.5)$$

**Tabel 4.2.** Karakteristik J-V QDSCs

<i>Sampel</i>	$V_{oc}$ (volt)	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{max}$ (volt)	$J_{max}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$FF$	$\eta$ (%)
QD	0.58	0.088	0.36	0.058	0.41	0.021
6:1	0.82	0.078	0.66	0.070	0.72	0.046
20:1	0.72	0.111	0.58	0.091	0.66	0.053
40:1	0.64	0.107	0.44	0.074	0.48	0.033

Efisiensi QDSCs tanpa penambahan *gold* nanopartikel pada *sensitizer* nya adalah 0.021%. Setelah penambahan *gold* nanopartikel, efisiensi dari QDSCs mengalami peningkatan. Namun peningkatan yang terjadi tidak linier, artinya pada penambahan *gold* nanopartikel dalam jumlah tertentu efisiensi mencapai maksimalnya, dan kemudian jika dilakukan lagi penambahan *gold* nanopartikel yang terjadi justru penurunan efisiensi QDSCs. Hal ini menunjukkan penambahan *gold* nanopartikel memiliki range penambahan tertentu untuk meningkatkan efisiensi secara maksimal.

#### 4.4.2 Mekanisme QDSCs

QDSCs tersusun atas komponen-komponen yang didalamnya terjadi beberapa interaksi. Komponen utama dari QDSCs adalah semikonduktor oksida, *sensitizer*, elektrolit dan TCO. Masing-masing sifat optis, kimia, dan listrik dari komponen tersebut akan berpengaruh pada optimalisasi

pengumpulan cahaya dan injeksi muatan pada QDSCs (Lee and Yang, 2011). Pengembangan terbaru pada dekade ini adalah pencarian *sensitizer* yang memiliki spektrum absorpsi yang lebar, sehingga rekombinasi muatan dapat berkurang dan injeksi elektron dari *sensitizer* ke semikonduktor oksida dapat meningkat dan pada akhirnya performansi QDSCs akan stabil terhadap suhu dan waktu.

Penggunaan kuantum dot pada penelitian ini bertujuan untuk memperlebar spektrum serapan dalam QDSCs, karena kuantum dot tidak hanya memiliki satu nilai *band gap*, sehingga foton yang terserap menjadi lebih bervariasi. Mekanisme kerja QDSCs yang terjadi pada penelitian ini kurang lebih sama dengan mekanisme QDSCs seperti penjelasan pada Sub Bab 2.3.2 tentang *quantum dot sensitized solar cells*.

Pada saat foton dengan panjang gelombang yang bervariasi mengenai badan sel (melalui substar TCO) foton akan diteruskan ke dalam sel dan mengenai *sensitizer* dan semikonduktor oksida. Foton dengan panjang gelombang ultraviolet akan diserap oleh semikonduktor oksida, keberadaan *sensitizer* pada QDSCs berfungsi untuk memperluas spektrum serapan QDSCs, sehingga foton dengan panjang gelombang tampak yang tidak terserap oleh semikonduktor oksida dapat diserap oleh *sensitizer*. Foton dengan panjang gelombang *visible* (400-800 nm) yang dapat masuk dan terabsorpsi oleh *sensitizer* hanyalah foton dengan energi yang bersesuaian dengan energi *gap sensitizer*. Bila energi yang datang tersebut sesuai maka energi tersebut dapat mengeksitasi elektron pada kuantum dot ke tingkat energi yang lebih tinggi. Penyerapan ini terjadi pada rentang panjang gelombang merah, dimana pada rentang panjang gelombang ini pula *gold* nanopartikel memantulkan energi yang datang dan diserap oleh QDs.

Setelah elektron tereksitasi, maka elektron akan beralih dari LUMO kuantum dot menuju pita konduksi dari semikonduktor TiO<sub>2</sub>. Hal ini dapat terjadi jika pita konduksi semikonduktor TiO<sub>2</sub> berada di bawah LUMO kuantum dot dan jarak antara keduanya tidak terlalu jauh. Jika jarak antara keduanya terlalu jauh, elektron yang seharusnya diinjeksikan ke

semikonduktor  $\text{TiO}_2$  akan beralih arah menuju HOMO kuantum dot, hal ini disebut sebagai rekombinasi elektron. Terjadinya transisi elektron dari LUMO ke HOMO. Disisi lain, bila pita konduksi semikonduktor  $\text{TiO}_2$  lebih tinggi dari kuantum dot, hal ini menyebabkan elektron yang berada pada LUMO kuantum dot memerlukan energi lebih untuk sampai pada semikonduktor, dan akhirnya elektron menjadi cenderung tertransisi ke ke level HOMO kembali. Pada penelitian ini, penambahan *gold* nanopartikel menyebabkan pita energi kuantum dot semakin meningkat. Meningkatnya energi gap ini menyebabkan banyaknya interband gap kuantum dot sehingga rentang foton yang dapat terserap juga lebih banyak dan injeksi elektron menjadi lebih banyak. Hanya saja jika pelebaran energi gap ini dilanjutkan akan menyebabkan jarak antara LUMO kuantum dot dan pita konduksi semikonduktor  $\text{TiO}_2$  semakin jauh, dan menyebabkan terjadinya rekombinasi elektron dan hole. Sehingga dapat dikatakan bahwa penambahan kuantum dot untuk memperbanyak foton yang terserap dan elektron yang terinjeksikan harus dilakukan dengan hati-hati sebab ada rentang tertentu yang dapat memaksimalkan dengan baik.

Elektron yang telah mencapai pita konduksi semikonduktor tidak sepenuhnya pula diteruskan menuju kaca konduktif. Hal ini dikarenakan elektron dapat mengalami rekombinasi, sehingga setelah sampai pada pita konduksi, elektron dapat kembali ke hole yang ada di HOMO kuantum dot. Jika elektron berhasil mencapai kaca konduktif elektron akan diteruskan ke beban dan kemudian masuk kedalam elektroda pembanding. Dalam proses ini juga tidak mungkin semua elektron diteruskan, akan ada elektron yang mengalami rekombinasi (setelah elektron mencapai kaca konduktif elektron akan cenderung kembali menuju hole yang ada di HOMO kuantum dot atau elektrodit). Sehingga dapat dipahami bahwa tidak hanya satu kemungkinan rekombinasi pada QDSCs, namun ada beberapa kemungkinan rekombinasi (Gambar 17 **Lampiran C5**).

Eksitasi elektron menuju semikonduktor, menyebabkan kuantum dot kehilangan satu elektron. Sehingga perlu adanya

regenerasi elektron. Elektron yang beregenerasi pada kuantum dot ini berasal dari elektrolit yang mengalami oksidasi. Hal ini akan terjadi secara kontinu selama adanya foton. Sehingga inilah yang disebut aliran elektron (arus listrik) pada sel surya tersensitasi kuantum dot.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Kuantum dot memiliki serapan pada rentang panjang gelombang 550– 650 nm dengan serapan besar pada panjang gelombang rendah sedangkan transmisi foton yang paling besar berada pada panjang gelombang tinggi. *Gold* nanopartikel memiliki rentang serapan pada panjang gelombang sinar tampak 510-550 nm dengan puncak serapannya pada 530 nm.
2. Penambahan *gold* nanopartikel pada kuantum dot dapat memperlebar pita energi kuantum dot, pita energi terbesar terdapat pada perbandingan 6:1 (kuantum dot: *gold* nanopartikel) dengan nilai 2.42 eV. Selain itu penambahan *gold* nanopartikel juga meningkatkan absorbansi kuantum dot, hanya saja peningkatan absorbansi ini tidak berbanding lurus, ia memiliki peningkatan besar pada perbandingan 20:1 (dengan rincian 4 ml kuantum dot ditambah 0.2 ml *gold* nanopartikel).
3. Efisiensi QDSCs mengalami peningkatan setelah penambahan *gold* nanopartikel. Efisiensi terbesar dicapai dengan *sensitizer* yang memiliki perbandingan 20:1, yaitu peningkatan efisiensi rata-rata sebesar 108%.

#### **5.2 Saran**

Dari hasil penulisan tugas akhir ini disarankan dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai:

1. Pada penelitian ini digunakan kuantum dot dengan ukuran 190 nm, perlu dilakukan penelitian lanjut jika *sensitizer* kuantum dot yang digunakan berukuran 2-10 nm dengan penambahan *gold* nanopartikel.
2. Penambahan *gold* nanopartikel dapat meningkatkan efisiensi QDSCs secara signifikan namun efisiensi yang

dihasilkan pada penelitian ini masih kecil hal ini dikarenakan material-material lain yang digunakan dalam penelitian adalah material yang disintesis sendiri. Penelitian selanjutnya dapat digunakan material yang telah distandarisasi sehingga pada penelitian selanjutnya dapat diperoleh efisiensi yang lebih tinggi, dan dapat diketahui pengaruh interaksi kuantum dot dan *gold* nanopartikel jika diaplikasikan dalam QDSCs.

3. Emisi kuantum dot dapat meningkat dengan penambahan *gold* nanopartikel pada perbandingan 1:240 (Hsieh et al., 2007), pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan pencampuran dengan perbandingan yang sama (1:240) kemudian dilakukan uji absorbansi dan pengaplikasian pada QDSCs.
4. Perakitan QDSCs perlu dilakukan dengan lebih baik. Untuk menghindari kebocoran elektrolit, pada penelitian selanjutnya dapat digunakan pembungkus QDSCs. Selain itu untuk memudahkan pengukuran I-V substrat (kaca ITO) harus dipotong memanjang sehingga penjepit buaya dapat menempel dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

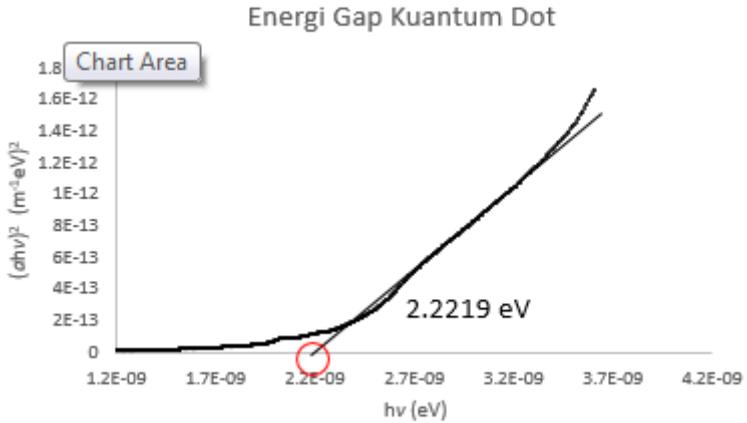
- Belahmar, A., Chouiyakh\*, A., 2016. Investigation of Surface Plasmon Resonance and Optical Band Gap Energy in Gold/Silica Composite Films Prepared by RF-Sputtering. *J. Nanosci. Technol.* 81–84.
- Choi, H., Nahm, C., Kim, J., Kim, C., Kang, S., Hwang, T., Park, B., 2013. Review paper: Toward highly efficient quantum-dot- and dye-sensitized solar cells. *Curr. Appl. Phys., Special Issue: ENGE 2012 13, Supplement 2*, S2–S13. doi:10.1016/j.cap.2013.01.023
- Gaponenko, S.V., 1998. *Optical Properties of Semiconductor Nanocrystals*. Cambridge University Press.
- Gong, J., Liang, J., Sumathy, K., 2012. Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): Fundamental concepts and novel materials. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 5848–5860. doi:10.1016/j.rser.2012.04.044
- Green, M.A., 2006. *Third Generation Photovoltaics, Photonics*. Springer Berlin Heidelberg.
- Han, H., Cai, Y., Liang, J., Sheng, Z., 2007. Interactions between water-soluble CdSe quantum dots and gold nanoparticles studied by UV-visible absorption spectroscopy. *Anal. Sci. Int. J. Jpn. Soc. Anal. Chem.* 23, 651–654.
- Handini, W., 2008. Performa sel surya tersensitasi zat pewarna (DSSC) berbasis ZnO dengan variasi tingkat pengisian dan besar kristalinit TiO<sub>2</sub> (Solar Cells). Universitas Indonesia.
- Hsieh, Y.-P., Liang, C.-T., Chen, Y.-F., Lai, C.-W., Chou, P.-T., 2007. Mechanism of giant enhancement of light emission from Au/CdSe nanocomposites. *Nanotechnology* 18, 415707. doi:10.1088/0957-4484/18/41/415707
- Huang, X., El-Sayed, M.A., 2010. Gold nanoparticles: Optical properties and implementations in cancer diagnosis and photothermal therapy. *J. Adv. Res.* 1, 13–28. doi:10.1016/j.jare.2010.02.002
- Husna, Q., 2011. Optimasi Konsentrasi Na-Sitrat dan Pengaruh Potensial dalam Sintesis Emas Nanopartikel. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Isnaeni, Yulianto, N., 2015. Pengaruh Nanopartikel Emas Terhadap Peningkatan Emisi Cahaya Kuantum Dot. *J. Fis. Dan Apl.* 16.

- Jasim, K.E., 2015. Quantum Dots Solar Cells, in: Kosyachenko, L.A. (Ed.), *Solar Cells - New Approaches and Reviews*. InTech.
- Kamat, P.V., 2008. Quantum Dot Solar Cells. Semiconductor Nanocrystals as Light Harvesters. *J. Phys. Chem. C* 112, 18737–18753. doi:10.1021/jp806791s
- 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
- Rosyidah, N., 2016. SINTESIS NANOPARTIKEL  $Zn_{1-x}Al_xO$  DENGAN METODE KOPRESIPITASI DAN KARAKTERISASI SIFAT LISTRIK. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Sánchez-García, M.A., Bokhimi, X., Maldonado-Álvarez, A., Jiménez-González, A.E., 2015. Effect of Anatase Synthesis on the Performance of Dye-Sensitized Solar Cells. *Nanoscale Res. Lett.* 10, 991. doi:10.1186/s11671-015-0991-3
- Santosa, H., 2015. Fabrikasi dan Karakterisasi Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Menggunakan Dye Sensitizer Sintetis N-749. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Tian, J., Cao, G., 2013. Semiconductor quantum dot-sensitized solar cells. *Nano Rev. Exp.* 4.
- Verma, H.N., Singh, P., Chavan, 2014. Gold nanoparticle: synthesis and characterization. *Vet. World* 7, 72–77. doi:10.14202/vetworld.2014.72-77
- Wang, Z., Finkelstein, K., Ma, C., Wang, Z.L., 2007. Structure stability, fracture, and tuning mechanism of CdSe nanobelts. *Appl. Phys. Lett.* 90, 113115. doi:10.1063/1.2713172
- Ye, M., Wen, X., Wang, M., Iocozzia, J., Zhang, N., Lin, C., Lin, Z., 2015. Recent advances in dye-sensitized solar cells: from photoanodes, sensitizers and electrolytes to counter electrodes. *Mater. Today* 18, 155–162. doi:10.1016/j.mattod.2014.09.001
- Yoon, J., Sun, Y., Rogers, J.A., 2010. Chapter 6 - Flexible Solar Cells Made of Nanowires/Microwires, in: *Semiconductor Nanomaterials for Flexible Technologies, Micro and Nano Technologies*. William Andrew Publishing, Oxford, pp. 159–196.
- Zarazúa, I., Esparza, D., López-Luke, T., Ceja-Fdez, A., Reyes-Gomez, J., Mora-Seró, I., de la Rosa, E., 2016. Effect of the electrophoretic deposition of Au NPs in the performance CdS

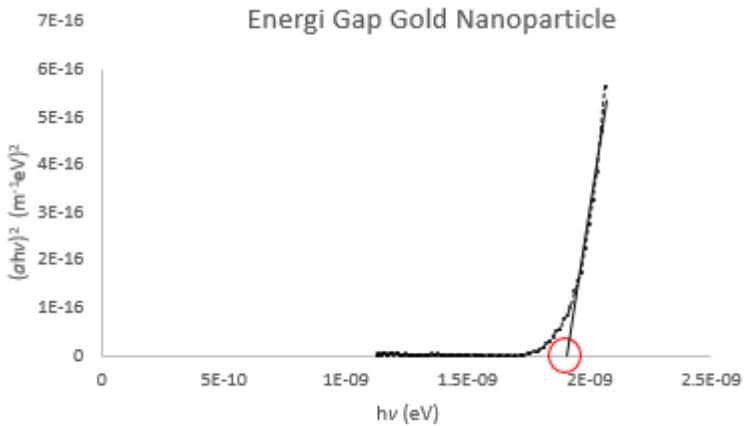
QDs sensitized solar Cells. *Electrochimica Acta* 188, 710–717.  
doi:10.1016/j.electacta.2015.11.127

Zhu, G., Su, F., Lv, T., Pan, L., Sun, Z., 2010. Au Nanoparticles as Interfacial Layer for CdS Quantum Dot-sensitized Solar Cells. *Nanoscale Res. Lett.* 5, 1749–1754. doi:10.1007/s11671-010-9705-z

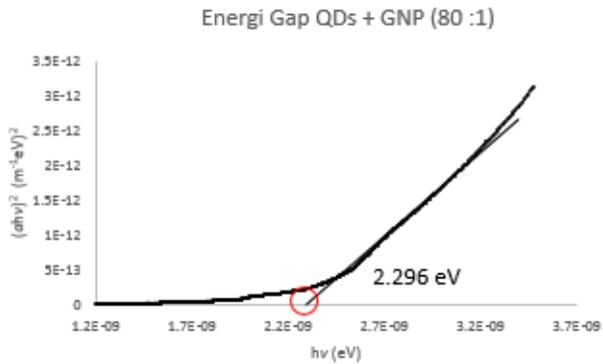
**LAMPIRAN A**  
**GRAFIK TAUC PLOT SENSITIZER**



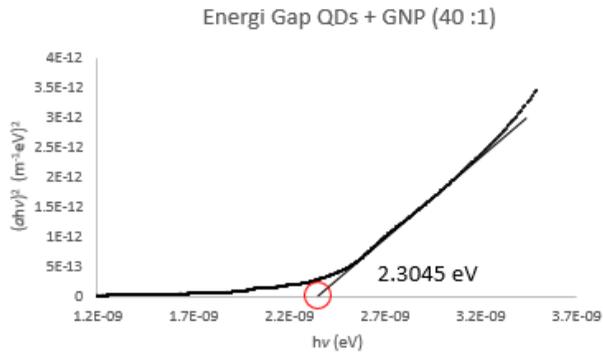
**Gambar 1.** Grafik tauc plot *Gold* nanopartikel (GNP)



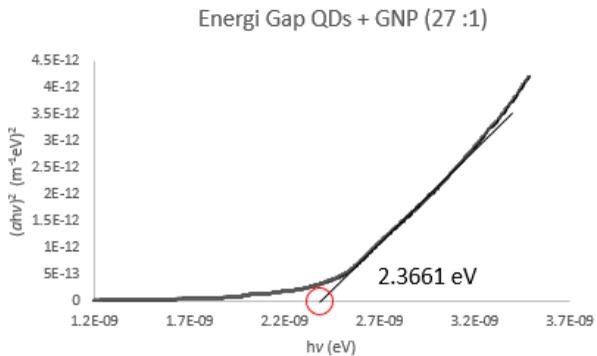
**Gambar 2.** Grafik tauc plot Kuantum dot CdSe (CdSe QDs)



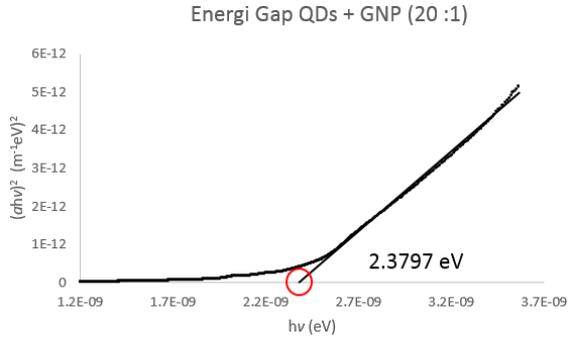
**Gambar 3.** Grafik tauc plot CdSe QDs + GNP (80:1)



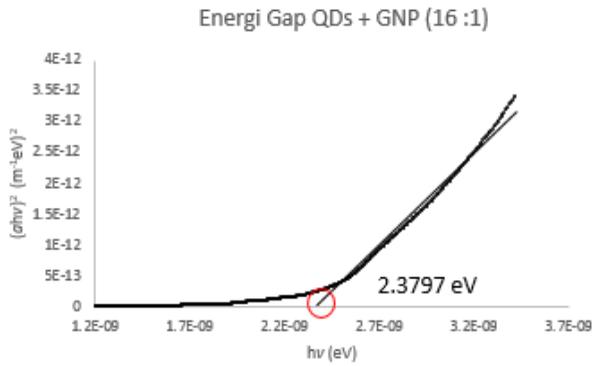
**Gambar 4.** Grafik tauc plot CdSe QDs + GNP (40:1)



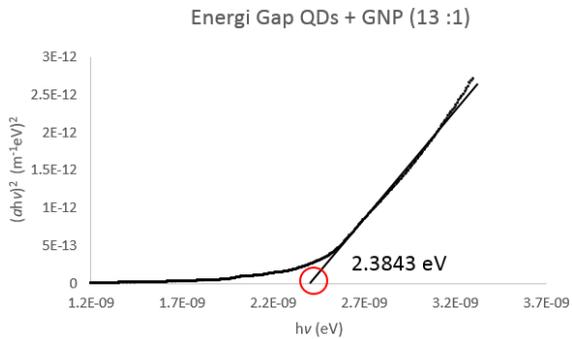
**Gambar 5.** Grafik tauc plot CdSe QDs + GNP (27:1)



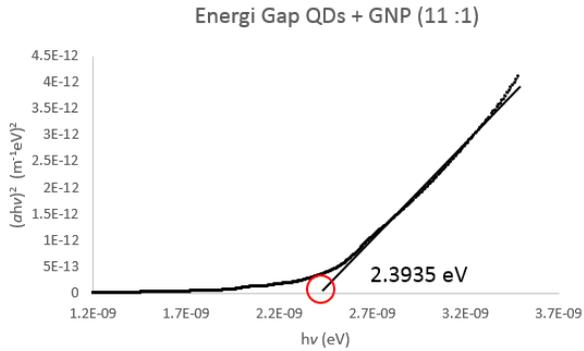
**Gambar 6.** Grafik tauc plot CdSe QDs + GNP (20:1)



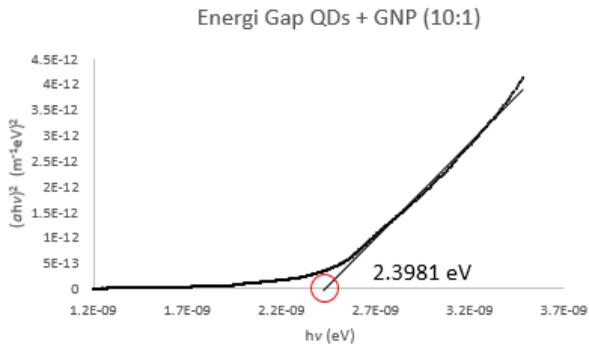
**Gambar 7.** Grafik tauc plot CdSe QDs + GNP (16:1)



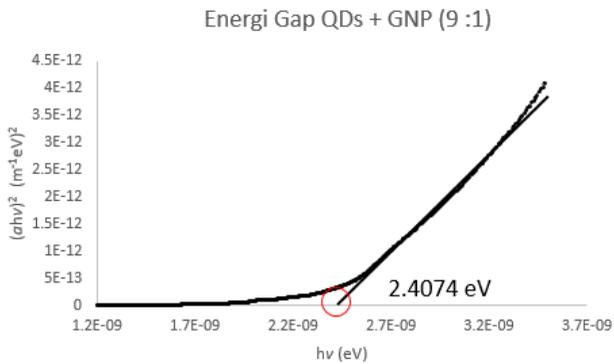
**Gambar 8.** Grafik tauc plot CdSe QDs + GNP (13:1)



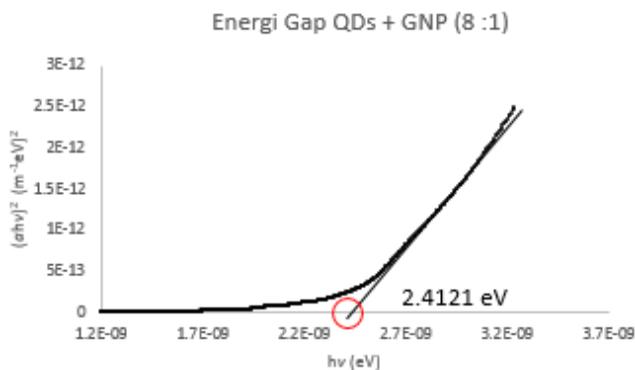
**Gambar 9.** Grafik Tauc Plot CdSe QDs + GNP (11:1)



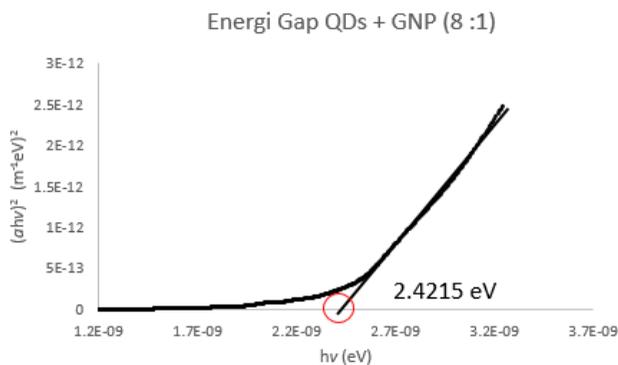
**Gambar 10.** Grafik Tauc Plot CdSe QDs + GNP (10:1)



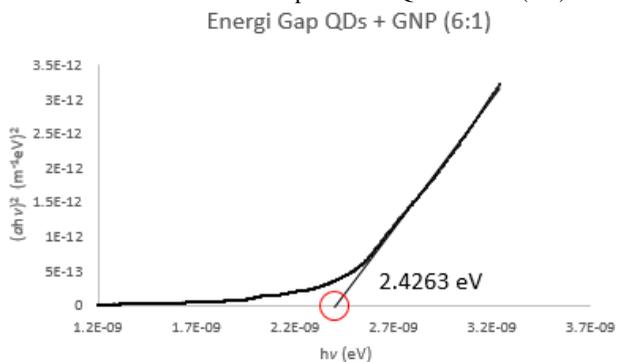
**Gambar 11.** Grafik Tauc Plot CdSe QDs + GNP (9:1)



**Gambar 12.** Grafik Tauc Plot CdSe QDs + GNP (8:1)



**Gambar 13.** Grafik tauc plot CdSe QDs + GNP (7:1)



**Gambar 14.** Grafik tauc plot CdSe QDs + GNP (6:1)

**LAMPIRAN B**  
**LAPORAN PENGUJIAN XRD**

**Tabel 1.** Posisi 2theta pada Pola XRD

No.	2theta [°]	d [Å]	I/I0	FWHM
1	25.22	3.5288	1211.83	0.7340
2	37.70	2.3842	445.49	1.4039
3	48.08	1.8910	375.48	0.8964
4	53.92	1.6989	224.91	0.7701
5	54.99	1.6684	252.42	0.7018
6	62.68	1.4810	225.33	1.0839
7	62.70	1.4806	0.00	0.6115
8	68.83	1.3629	12.17	0.2306

**Tabel 2.** Hasil Pencocokan Data XRD

Profile area	Counts	Amount
Background radiation	37552	41.31%
Diffraction peaks	53361	58.69%
Peak area belonging to s elected phas	0	0.00%
Unidentified peak area	53361	58.69%

**LAMPIRAN C**  
**DATA VARIASI SENSITIZER SPEKTROMETER UV-VIS**

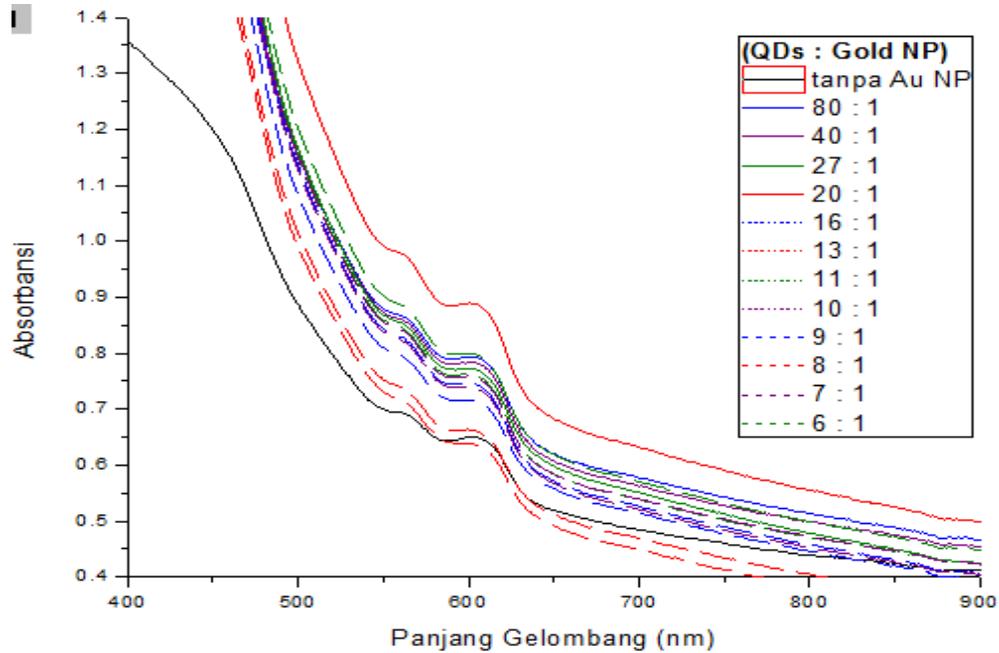
C1. Data Variasi Pencampuran Kuantum-dot dan *Gold* nanopartikel

**Tabel 3.** Variasi penggunaan campuran kuantum dot CdSe dan *gold* nanopartikel

No.	<i>Gold</i> NPs (ml)	Kuantum Dot (ml)	Perbandingan
1	0.05	4	1: 80
2	0.1	4	1: 40
3	0.15	4	1: 27
4	0.2	4	1: 20
5	0.25	4	1: 16
6	0.3	4	1: 13
7	0.35	4	1: 11
8	0.4	4	1: 10
9	0.45	4	1: 9
10	0.5	4	1: 8
11	0.55	4	1: 7
12	0.6	4	1: 6
13	0.65	4	1:6

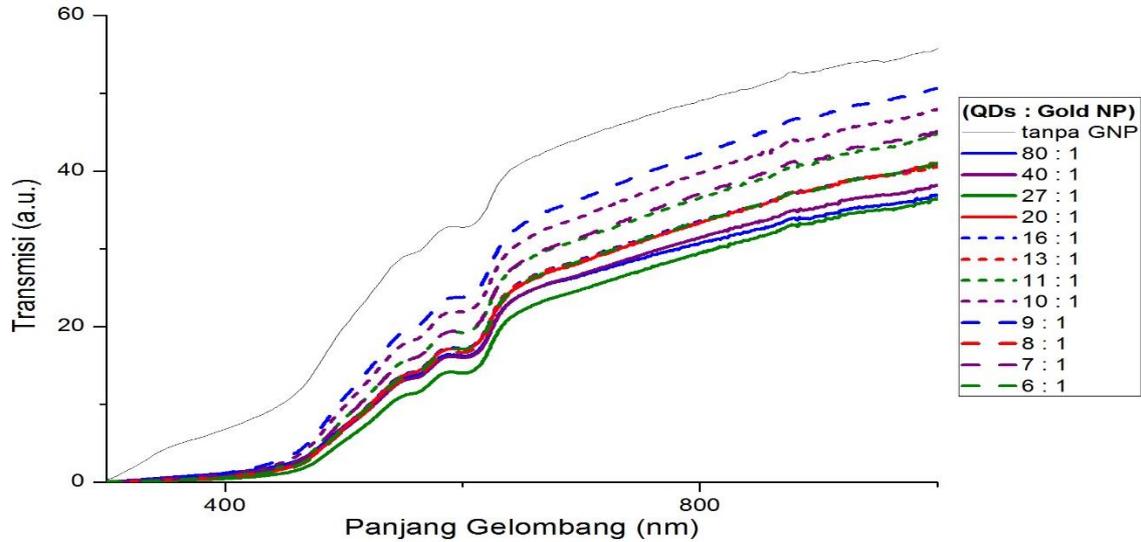
Variasi yang diaplikasikan pada QDSCs

## C2. Plot Absorbansi



**Gambar 15.** Grafik hubungan panjang gelombang dan intensitas absorbansi dari QDs + GNP

### C3. Plot Transmisi



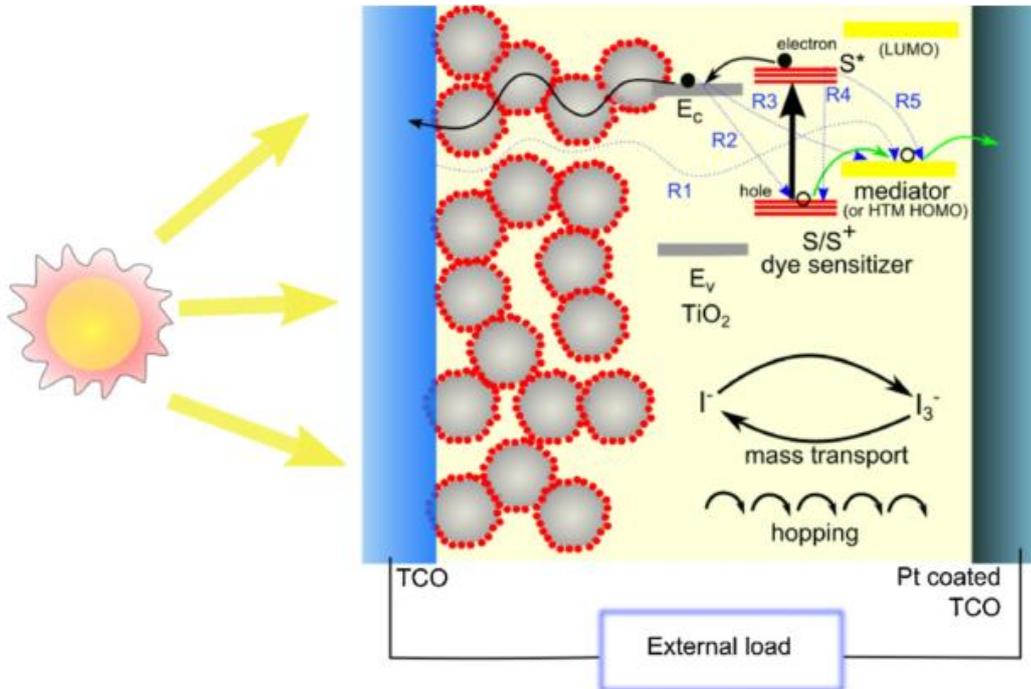
**Gambar 16.** Grafik hubungan panjang gelombang dan intensitas transmitansi dari QDs + GNP

#### C4. Energi Gap

**Tabel 4.** Perhitungan Energi Gap

Sampel	Energi Gap (eV)
CdSe QDs	2.2219
GNP	1.8785
CdSe QDs + GNP (80:1)	2.296
CdSe QDs + GNP (40:1)	2.3045
CdSe QDs + GNP (27:1)	2.3661
CdSe QDs + GNP (20:1)	2.3751
CdSe QDs + GNP (16:1)	2.3797
CdSe QDs + GNP (13:1)	2.3843
CdSe QDs + GNP (11:1)	2.3835
CdSe QDs + GNP (10:1)	2.3981
CdSe QDs + GNP (9:1)	2.4074
CdSe QDs + GNP (8:1)	2.4121
CdSe QDs + GNP (7:1)	2.4215
CdSe QDs + GNP (6:1)	2.4263

 Variasi yang diaplikasikan pada ODSCs



**Gambar 17.** Skema eksitasi, transisi (rekombinasi), dan regenerasi elektron pada sel surya tersensitasi zat pewarna

## BIODATA PENULIS



**Wahyu Indayani.** Lahir di Pasuruan, Ahad, 20 Pebruari 1994. Putri sulung dari 4 bersaudara ini, menamatkan pendidikan dasarnya pada pertengahan 2012 di SMAN 1 Grati. Pada masa perkuliahan penulis cukup aktif dalam kegiatan kemahasiswaan seperti Forum Studi Islam Fisika (Ketua Muslimah), HIMASIKA (Sekdir BSO BPPKS), JMMI (Staff Jaringan Kemuslimahan BK An-

Nisa'), UKM Bridge (Sekretaris), ITS EXPO, serta kegiatan organisasi dan kepanitiaan lainnya. Selain kegiatan internal kampus, penulis juga aktif di kegiatan ekstra kampus seperti Kampus Peduli Surabaya (K-Ped), Kebijakan Publik KAMMI 1011, *Industrial Politics Strategic Forum*, Kost Quran dan juga sebagai santri di asrama Mutiara Yayasan SDM IPTEK. Dalam kegiatan akademik, penulis pernah berpartisipasi dalam kegiatan PKM dan seminar internasional, selain itu penulis juga aktif dalam bidang tulis-menulis, pendidikan anak-anak dan pembelajaran thibunnabawi.

Perubahan akan datang mengiringi ilmu dan kesadaran seseorang terhadap suatu hal hingga ia sampai pada frasa 'kebenaran relatif'. Dari kebenaran relatif yang diyakini itu akan timbul semangat berbenah, mengubah gaya hidup hingga haluan hidup. Tagline dan moto hidup penulis adalah #SemangatPerbaikan, bermimpi, berjuang, bermanfaat!  
*You can find me at (wahyu.indayani@gmail.com).*