



THESIS - SF 142502

KARAKTERISASI ARUS DAN TEGANGAN (I-V)  
PADA *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)  
DENGAN  $\text{TiO}_2$  TERDOPING NITROGEN  
MENGUNAKAN DYE SENSITIZER N749

Bodi Gunawan  
1114 201 011

DOSEN PEMBIMBING  
Endarko, M.Si., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER  
JURUSAN FISIKA  
BIDANG KEAHLIAN INSTRUMENTASI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016



THESIS - SF 142502

CURRENT-VOLTAGE CHARACTERIZATION OF DYE  
SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) WITH  $\text{TiO}_2$   
DOPPED NITROGEN AND N749 DYE SENSITIZER.

Bodi Gunawan  
1114 201 011

SUPERVISOR  
Endarko, M.Si., Ph.D.

MAGISTER PROGRAMME  
INSTRUMENTATION  
DEPARTMENT OF PHYSICS  
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES  
INSTITUTE OF TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Sains (M.Si)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:  
**Bodi Gunawan**  
NRP. 1114201011

Tanggal Ujian : 22 Juni 2016  
Periode Wisuda : September 2016

Disetujui Oleh :

1. Endarko, M.Si., Ph.D.  
NIP. 19741117 199903.1.001



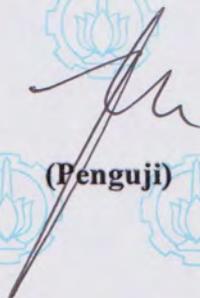
(Pembimbing)

2. Dr. Melania Suweni Muntini, MT.  
NIP. 19641229 199002.2.001



(Penguji)

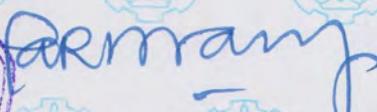
3. Dr. Mochamad Zainuri, M.Si.  
NIP. 19640130 199002.1.001



(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana



  
**Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc. Ph.D.**  
NIP. 19601202 198701.1.001

KARAKTERISASI ARUS DAN TEGANGAN (I-V) PADA *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC) DENGAN TiO<sub>2</sub> TERDOPING NITROGEN MENGGUNAKAN DYE SENZITISER N749

Nama mahasiswa : Bodi Gunawan  
NRP : 1114201011  
Pembimbing : Endarko, M.Si., Ph.D.

**ABSTRAK**

Nanokristal TiO<sub>2</sub> terdoping nitrogen sebagai bahan dasar fotoanoda *dye-sensitized solar cell* (DSSC) telah berhasil dianalisis dan dikarakterisasi. TiO<sub>2</sub> terdoping nitrogen fase anatase disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi. TiCl<sub>3</sub> sebagai bahan perkursor dicampur dengan amonia sebagai sumber dopan nitrogen dengan beberapa variasi konsentrasi amonia yaitu 2, 5, dan 7,5%. Kemudian endapan yang dihasilkan disaring lalu dikeringkan dan dikalsinasi dengan suhu 400°C selama 3 jam. Uji XRD dan UV-Vis dilakukan untuk mengetahui ukuran kristal, spektral absorbansi dan *band-gap* pada masing-masing sampel. Analisis XRD menunjukkan ukuran kristal TiO<sub>2</sub> terdoping nitrogen berkisar antara 7,4 – 9,9 nm sedangkan *band-gap* untuk sampel dengan penambahan amonia 2, 5, dan 7,5% masing-masing adalah 3,0; 2,7 dan 2,5 eV. Hasil karakterisasi I-V dilakukan pada modul-modul sel surya dengan fotoanoda TiO<sub>2</sub> terdoping nitrogen menunjukkan performa terbaik terdapat pada modul DSSC dengan penambahan amonia 7,5% dengan nilai rapat arus 0,784 mA/cm<sup>2</sup> dan efisiensi 0,18%

**Kata kunci:** band-gap, DSSC, efisiensi, TiO<sub>2</sub> terdoping nitrogen

CURRENT-VOLTAGE CHARACTERIZATION OF DYE SENSITIZED SOLAR CELL  
(DSSC) WITH TiO<sub>2</sub> DOPPED NITROGEN AND N749 DYE SENSITIZER.

Name : Bodi Gunawan  
Student Identity : 1114201011  
Supervisor : Endarko, M.Si., Ph.D

**ABSTRACT**

Nanocrystal N-doped TiO<sub>2</sub> as photoanode material in the dye-sensitized solar cell has been successfully characterized and analyzed. The anatase phase of N-doped TiO<sub>2</sub> synthesized by co-precipitation method. TiCl<sub>3</sub> as a precursor mixed with ammonia solution with various concentrations, namely, 2, 5 and 7.5%, and calcinated at temperature 400°C over 3 hours. X-ray diffraction (XRD) and UV-Vis spectroscopy were performed to analyze a crystal size and band gap of the samples. The XRD data showed that the crystal size of N-doped TiO<sub>2</sub> was 7.4 - 9.9 nm and the measured band gap around 2.64 eV, respectively. I-V characterization of solar cell module shown that the highest power conversion efficiency was the solar cell module that fabricated with 7.5% of ammonia solution with the short circuit current (*J<sub>sc</sub>*) and the efficiency was at 0.784 mA/cm<sup>-2</sup> and 0.18%, respectively.

**Keywords:** band-gap, DSSC, N-doped TiO<sub>2</sub>, power conversion efficiency.

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	i
<b>ABSTRAK</b> .....	ii
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	4
1.4. Batasan Masalah .....	4
1.5. Manfaat Penelitian .....	5
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
2.1. Sel Surya .....	7
2.2. <i>Dye-Sensitized Solar Cell</i> (DSSC) .....	7
2.3. Struktur DSSC .....	8
2.4. Fotoanoda .....	9
2.5. Dye .....	10
2.6. Prinsip Kerja <i>Dye-Sensitized Solar Cell</i> (DSSC) .....	11
2.7. Karakteristik Sel Surya .....	13
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	15
3.1. Alat dan Bahan .....	15
3.2. Diagram Alir Penelitian .....	15
3.3. Prosedur Kerja .....	16
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	23
4.1. Karakterisasi XRD Fotoanoda .....	23
4.2. Karakterisasi UV-Vis Fotoanoda .....	28

4.3. Karakterisasi Morfologi dan Komposisi Lapisan Tipis Fotoanoda	31
4.4. Karakterisasi I-V DSSC .....	34
<b>BAB 5. KESIMPULAN</b> .....	37
5.1. Kesimpulan .....	37
5.2. Saran .....	37
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	22
<b>LAMPIRAN</b> .....	45
<b>BIOGRAFI PENULIS</b> .....	63

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Susunan DSSC .....	8
2.2 Band gap beberapa semikonduktor .....	9
2.3 Struktur kimia dye N-749.....	11
2.4 Prinsip kerja DSSC .....	12
2.5 Karakteristik Arus dan Tegangan (I-V) sebuah sel surya .....	14
3.1 Diagram alir penelitian.....	15
3.2 Diagram Sintesis TiO <sub>2</sub> Dengan Pengotor Nitrogen .....	16
3.3 Pasta TiO <sub>2</sub> yang telah tedeposisi pada kaca ITO .....	19
4.1 Pola Difraksi Sinar-X (radiasi Cu-K $\alpha$ ) TiO <sub>2</sub> murni .....	23
4.2 Pola Difraksi Sinar-X (radiasi Cu-K $\alpha$ ) TiO <sub>2</sub> dengan penambahan NH <sub>3</sub> .....	25
4.3 Perbandingan FWHM pola difraksi Sinar-X (radiasi Cu-K $\alpha$ ) TiO <sub>2</sub> ....	26
4.4 Serbuk TiO <sub>2</sub> tak terdoping dan TiO <sub>2</sub> terdoping nitrogen .....	28
4.5 Grafik absorbansi masing-masing sampel .....	29
4.6 Grafik band gap masing-masing sampel .....	30
4.6 Struktur morfologi masing-masing sampel.....	32
4.7 SEM-EDX nilai persentase atom (at.%) masing-masing sampel.....	33
4.8 Grafik hubungan J-V pada masing-masing sampel DSSC .....	34

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Energi merupakan salah satu kebutuhan pokok umat manusia dan juga merupakan penggerak perekonomian suatu bangsa. Manusia telah memanfaatkan berbagai macam bentuk energi untuk memudahkan pekerjaan, misalnya: untuk memasak, mencuci, penerangan, komunikasi, distribusi, proses produksi dan lain sebagainya. Energi berperan penting terhadap kemajuan suatu bangsa, karena ketersediaan energi berpengaruh terhadap perkembangan ekonomi suatu daerah. Oleh karena itu ketersediaan energi secara berkelanjutan mutlak dibutuhkan untuk pembangunan perekonomian suatu bangsa (Stern, 2004).

Saat ini, energi fosil menduduki peringkat pertama sebagai sumber energi yang paling banyak dimanfaatkan oleh sebagian besar manusia. Data dari *Renewables 2010 Global Status Report* menunjukkan bahwa energi fosil menempati peringkat teratas sebagai sumber energi yang paling banyak dikonsumsi di seluruh dunia dengan persentase sebesar 69% kemudian disusul dengan *hydropower* sebesar 15%, energi nuklir 13% dan energi terbarukan *non-hydropower* sebesar 3% (REN21, 2010). Pemanfaatan energi fosil berlebihan secara berkelanjutan dapat memberikan efek negatif karena dalam prosesnya pembakaran energi fosil melepaskan gas CO<sub>2</sub> yang merupakan komponen utama penyebab efek rumah kaca. Gas CO<sub>2</sub> dalam kadar yang tepat dapat menjaga keseimbangan suhu di permukaan bumi karena tanpa gas ini maka suhu permukaan bumi berada di bawah nol derajat celcius, akan tetapi jika kadar CO<sub>2</sub> di atmosfer menjadi berlebih maka suhu permukaan bumi akan menjadi semakin meningkat. Data penelitian menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar fosil merupakan salah satu penyebab bertambahnya kadar CO<sub>2</sub> di atmosfer (REN21, 2010). Studi geologis pada batangan es yang diambil dari kutub utara menjelaskan bahwa kadar CO<sub>2</sub> 20 juta tahun yang lalu masih berada di batas aman dan terus meningkat sejak terjadinya revolusi industri. Selain sebagai salah satu penyebab *global warming*, energi fosil masuk dalam katagori sumber energi yang

tidak dapat diperbaharui sehingga dalam kurun waktu tertentu persediaan energi fosil akan habis. Oleh karena itu perlu dicari sumber energi alternatif yang mampu menggantikan peran energi fosil (EPA, 2013).

Dari berbagai macam bentuk sumber energi yang bisa dimanfaatkan, matahari merupakan salah satu sumber energi utama dan paling melimpah di bumi. Hal ini terlihat sangat jelas karena hampir seluruh bentuk energi yang terdapat di bumi sebenarnya berasal dari perubahan energi yang dipancarkan oleh matahari. Contohnya energi angin, energi ini diakibatkan oleh perbedaan tekanan udara di satu tempat dengan tempat yang lainnya. Perbedaan tekanan ini diakibatkan oleh perbedaan suhu dari kedua lokasi tersebut yang tak lain diakibatkan oleh radiasi panas dari matahari. Bahkan energi fosil sekalipun sejatinya juga merupakan koversi dari energi matahari yang terkumpul selama jutaan tahun hasil dari fotosintesis tumbuhan purba (REN21, 2010).

Sel surya merupakan salah satu solusi menghadapi krisis energi. Berbeda dengan energi fosil yang melepas gas rumah kaca tiap harinya ke atmosfer, sel surya tak menghasilkan hasil sampingan sehingga sel surya merupakan salah satu alternatif pilihan masa depan untuk mengurangi kadar karbondioksida sebagai penyebab efek rumah kaca. Diantara berbagai macam tipe sel surya, DSSC (*Dye sensitized solar cells*) merupakan salah satu sel surya yang cara kerjanya mirip dengan sistem fotosintesis pada tumbuhan. DSSC memiliki beberapa kelebihan antara lainnya pabrikasi yang relatif mudah, biaya pembuatan yang relatif lebih murah daripada sel surya konvensional yang lainnya serta kemudahan dalam modifikasi dan ramah lingkungan (O'regan dan Gratzel, 1991).

Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai fabrikasi dan optimasi efisiensi DSSC. Misalnya Nurisma Puspitasari dalam jurnalnya yang berjudul Studi Awal Pembuatan Prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) Menggunakan Ekstraksi Rosela (*Hibiscus Sabdariffa*) sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Luas Permukaan Lapisan TiO<sub>2</sub> dia melakukan fabrikasi DSSC dengan menggunakan bahan dye alami (Puspitasari, 2012). Begitu pula dengan S. Ananth dkk, dalam jurnalnya yang berjudul *Natural dye extract of lawsonia inermis seed as photo sensitizer for titanium dioxide based dye sensitized solar cells* dia melakukan

fabrikasi DSSC dengan menggunakan bahan dye yang berasal dari alam yaitu ekstrak dari buah *lawsonia inermis*. Dalam penelitiannya dia mencoba memodifikasi proses pembuatan TiO<sub>2</sub> dengan metode sol-gel untuk meningkatkan performa dari DSSC yang dihasilkan. Dia mencampurkan bahan dye selama proses pembuatan TiO<sub>2</sub> sedang berlangsung dengan harapan lebih banyak lagi dye yang terserap dalam partikel TiO<sub>2</sub>. Hasil pengukuran yang dilanjutkan memang menunjukkan bahwa DSSC dengan menggunakan material TiO<sub>2</sub> yang didapat dengan proses sol-gel yang telah dimodifikasi memiliki efisiensi yang lebih tinggi daripada DSSC dengan menggunakan material TiO<sub>2</sub> yang didapat dengan proses sol-gel konvensional (Ananth et al., 2014). Metode lain juga digunakan oleh Hadi Santoso dalam upaya meningkatkan jumlah dye yang terserap dalam partikel TiO<sub>2</sub>. Dalam tulisannya dia memodifikasi proses *dipping* substrat lapisan tipis TiO<sub>2</sub> konvensional dengan menambahkan komponen penggunaan alat ultrasonic cleaner saat proses perendaman. Penggunaan alat ultrasonic cleaner selama perendaman ternyata mempengaruhi jumlah dye yang terserap dalam partikel TiO<sub>2</sub>. Selain optimasi dalam jumlah penyerapan dye, Optimasi DSSC juga bisa dilakukan dengan memodifikasi struktur semikonduktor penyusun DSSC. Dengan menggunakan metode ultrasonifikasi ini, efisiensi yang bisa dicapai adalah 0,14% (Santoso, H., 2015). Mukhtar Effendi dalam jurnalnya mampu menurunkan *band gap* TiO<sub>2</sub> dengan cara melakukan doping nitrogen yang berasal dari urea dalam proses pembuatannya. Hasil yang didapat dalam penelitian ini mampu menggeser absorpsi cahaya dari TiO<sub>2</sub> yang semula pada spektrum ultraviolet bergeser ke spektrum cahaya tampak (Mukhtar, E., 2012).

Berdasarkan uraian dari beberapa riset di atas peneliti melakukan riset mengenai pengaruh penggunaan bahan semikonduktor TiO<sub>2</sub> yang terdoping nitrogen dengan menggunakan dye sintetis N-749 terhadap performa DSSC. Peneliti menggunakan metode sintesis TiO<sub>2</sub> berdasarkan riset Hadi Santoso dan membandingkannya dengan TiO<sub>2</sub> terdoping nitrogen sebagai fotoanode dari modul DSSC. Kedua metode tersebut akan dibandingkan kemampuan keluaran dan efisiensi yang dihasilkan.

## 1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah:

- a) Bagaimana membuat prototipe DSSC berbasis dye sintetis N-749 sebagai dye sensitizer yang dapat mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik.
- b) Bagaimana pengaruh penambahan dopan nitrogen pada semikonduktor  $\text{TiO}_2$  terhadap kinerja DSSC yang dihasilkan.

## 1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

- a) Membuat prototipe DSSC berbasis dye sintetis N-749 sebagai dye sensitizer yang dapat mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik
- b) Mengetahui pengaruh penambahan dopan nitrogen pada semikonduktor  $\text{TiO}_2$  terhadap kinerja DSSC yang dihasilkan

## 1.4. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa batasan masalah yakni :

- a) Bahan semikonduktor yang digunakan sebagai elektroda kerja adalah nanopartikel  $\text{TiO}_2$  dengan fase anatase, dan tidak dibahas secara rinci mengenai pengaruh zat-zat yang dipakai dalam proses pembuatan.
- b) Teknik pendeposisian pasta  $\text{TiO}_2$  pada kaca konduktif dilakukan menggunakan teknik doctor blade dengan ketebalan 10  $\mu\text{m}$  dan tidak dilakukan variasi teknik, ketebalan, dan luas permukaan  $\text{TiO}_2$  terdepresiasi.
- c) Dye yang digunakan adalah N-749 yang merupakan produk dari Sigma Aldrich dan tidak dilakukan variasi dye.
- d) Perkursor yang digunakan dalam mensintesis  $\text{TiO}_2$  adalah  $\text{TiCl}_3$  dan tidak dilakukan variasi dengan menggunakan perkursor yang lainnya.
- e) Sumber dopan nitrogen yang digunakan adalah amonia dan tidak dilakukan variasi sumber dopan yang lainnya.
- f) Kaca konduktif yang digunakan adalah kaca konduktif ITO.
- g) Proses dan karakterisasi arus dan tegangan (I-V) dilakukan di Laboratorium fotonik fisika ITB, dengan pengujian menggunakan Alat Keithley I-V meter

dibawah penyinaran sebuah lampu xenon, dan tidak dilakukan variasi sumber sinar lainnya.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

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

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

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

Energi surya adalah energi yang berupa panas atau sinar yang diradiasikan dari matahari. Atmosfer bumi menerima 174 petawatt (PW) radiasi dari matahari. Sekitar 30% dipantulkan kembali ke luar angkasa, sedangkan sisanya diserap oleh awan, lautan, dan daratan. Sebagian besar spektrum cahaya matahari yang sampai di permukaan Bumi berada pada jangkauan spektrum sinar tampak dan sekitar inframerah. Sebagian kecil berada pada rentang sekitar ultraviolet.

Sel surya adalah salah satu jenis sel fotofoltaik yang mampu menghasilkan energi dengan jalan mengubah energi cahaya langsung menjadi energi listrik. Efek fotofoltaik terjadi saat elektron berpindah dari pita valensi ke pita konduksi sehingga menghasilkan beda potensial antara 2 elektroda (Brabec dkk, 2001).

Dalam sel surya perpindahan elektron dari pita valensi ke pita konduksi diakibatkan oleh penyerapan energi foton oleh material semikonduktor. Saat energi foton diserap, energi tersebut menyebabkan elektron valensi dalam kristal tereksitasi menuju ke pita konduksi, yang mana hal ini menyebabkan elektron mampu bergerak bebas.

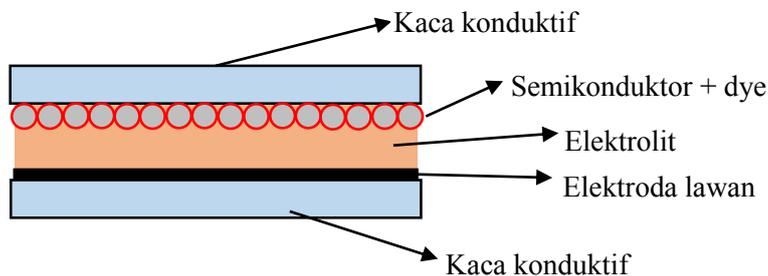
#### **2.2. *Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)***

*Dye-Sensitized Solar Cell* pertama kali dikembangkan oleh Grätzel pada tahun 1991. Berbeda dengan sumber energi lainnya DSSC memberikan alternatif sel surya yang murah, mudah, tidak beracun dan ramah lingkungan (Chiba, Y. 2006; Ito, S. 2008) dengan fleksibilitas aplikasi yang luas (Durr, M., 2005; Pitts, J. R., 2000). DSSC merupakan pengembangan atau modifikasi dari sel surya fotoelektrokimia dengan sistem yang baru. Sel surya fotoelektrokimia menggunakan efek fotovoltaiik untuk menghasilkan listrik, dimana efek fotovoltaiik tersebut didasarkan pada persambungan antara bahan semikonduktor dengan cairan elektrolit yang mengandung pasangan reduksi dan oksidasi. Sistem baru dari DSSC

ini adalah adanya dye atau zat warna sebagai sensitizer (membuat sel surya menjadi peka terhadap cahaya) untuk menyerap cahaya dan menginjeksikan elektron pada bahan semikonduktor (Smestad, 1998).

### 2.3. Struktur DSSC

*Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) tersusun dari 5 bahan utama yaitu: (1) substrat yang dilapisi oksida transparan konduktif; (2) Film tipis semikonduktor; (3) zat pemeka yang teradsorpsi pada permukaan film tipis semikonduktor; (4) elektrolit yang berisi pasangan redoks; (5) elektroda *counter* yang memiliki sifat elektrokatalitik sebagai tempat regenerasi elektron (Nazeerudin, M. K., 2011). Semua bahan tersebut disusun secara berlapis atau berbentuk *sandwich* dimana dua elektroda yaitu lapisan semikonduktor yang berperan sebagai elektroda mengapit elektrolit hingga membentuk sistem fotofoltaik (Maddu, 2010).



**Gambar 2.1** Susunan DSSC

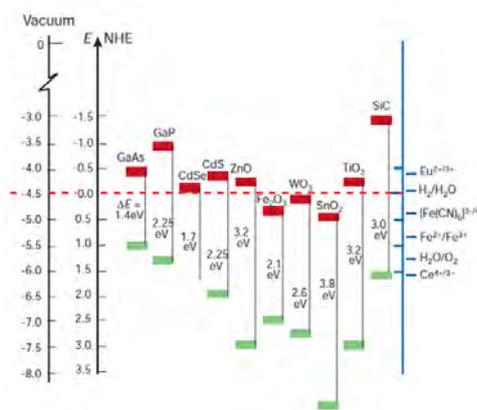
Kaca konduktif transparan merupakan tempat melekatnya material DSSC. Biasa pula disebut substrat. Substrat yang digunakan pada umumnya adalah kaca yang berlapis TCO agar dapat menghantar listrik. Oksida yang umum digunakan antara lain AZO (*Aluminium-doped Zinc Oxide*), FTO (*Fluorine-doped Tin Oxide*), ATO (*antimony-doped tin oxide*) dan ITO (*Indium-doped Tin Oxide*). Keunggulan dari kaca konduktif tersebut adalah sifatnya yang meskipun konduktif secara elektrik, dapat ditembus cahaya. Sifat ini penting karena tanpa cahaya yang mengenai penyerap cahaya, foton tidak akan mengeksitasi elektron pada lapisan penyerap cahaya. Tanpa adanya elektron yang tereksitasi, tidak akan terjadi

pemisahan elektron yang berarti tidak akan dihasilkan muatan listrik. Sifat penghantar listrik dari kaca kemudian dipergunakan untuk menghantarkan elektron menuju sirkuit dan kembali ke sel surya karena didalam logam juga ada elektron lepas (Puspitasari, 2012). Pada penelitian ini digunakan ITO, hal ini dikarenakan ITO memiliki nilai resistansi terkecil diantara kaca konduktif lainnya.

Bahan semikonduktor yang paling sering digunakan adalah  $\text{TiO}_2$  yang memiliki sifat stabil, murah dan tersedia banyak di pasaran, tidak beracun, ramah lingkungan dan memberikan konversi efisiensi daya tertinggi dibanding bahan semikonduktor yang lain (Taylor, P., 2012). Zat pemeka atau dye senyawa organologam berbasis ruthenium menjadi bahan yang paling sering digunakan sebagai molekul pemeka. Sedangkan elektrolit berisi pasangan redoks  $\text{I}^-/\text{I}_3^-$  dengan berbagai kondisi optimasi. Komponen terakhir adalah logam platina yang sering digunakan sebagai elektroda lawan (Nazeerudin, M. K., 2011).

## 2.4. Fotoanoda

Oksida logam semikonduktor merupakan material yang digunakan dalam pembuatan fotoanoda. Syarat utama sebagai fotoanoda adalah semikonduktor tersebut memiliki nilai celah pita yang cukup lebar seperti  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  dll. Gambar di bawah ini memperlihatkan posisi celah pita beberapa semikonduktor dibandingkan dengan elektroda pembanding pada pH 1.



**Gambar 2.2** Band gap beberapa semikonduktor (Mukhtar, E. 2012)

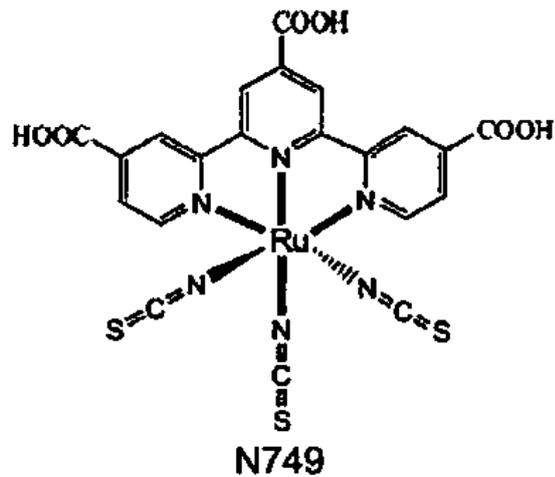
Bahan semikonduktor yang dipakai adalah  $\text{TiO}_2$ . Semikonduktor  $\text{TiO}_2$

merupakan semikonduktor yang paling sering digunakan karena sifatnya yang stabil, murah dan mudah didapat secara komersil, tidak beracun dan ramah lingkungan, serta memiliki nilai efisiensi konversi daya tertinggi diantara semua semikonduktor. Selain itu, banyak molekul dye yang dengan sifat fotoabsorpsi yang baik, memiliki posisi LUMO yang bersesuaian dengan tepi pita konduksi dari TiO<sub>2</sub> (Taylor, P., 2012).

Material TiO<sub>2</sub> adalah material semikonduktor tipe-n yang memiliki energi gap sebesar 3,2 eV dan menyerap sinar pada daerah ultraviolet. Material ini memiliki kemampuan yang baik dalam fotokimia dan fotoelektrokimia, selain itu material TiO<sub>2</sub> tidak beracun. TiO<sub>2</sub> yang bisa digunakan untuk aplikasi DSSC ini adalah TiO<sub>2</sub> dengan fase anatase dan campuran anatase - rutile. Akan tetapi, sebagian besar penelitian menggunakan TiO<sub>2</sub> fase anatase karena mempunyai kemampuan fotoaktif yang tinggi (Gratzel 2003, Maddu 2010). Kemampuan fotoaktif yang tinggi merupakan kemampuan penyerapan yang tinggi. Partikel dari TiO<sub>2</sub> umumnya berukuran mikro atau nano. TiO<sub>2</sub> yang terbentuk merupakan semikonduktor tipe-n yang berfungsi sebagai transpor elektron. TiO<sub>2</sub> hanya akan mengabsorpsi cahaya dengan panjang gelombang dibawah 400 nm, sehingga akan menyisakan sebagian besar spektrum untuk diserap oleh dye (Halme, 2002).

## **2.5. Dye**

Dye dalam DSSC amat berperan penting karena sebagai penangkap elektron tereksitasi dari foton. Dye yang efisien harus memiliki sifat optik dan karakteristik penyerapan yang intens pada daerah cahaya tampak dan memiliki sifat adsorpsi kimia yang kuat ke Permukaan TiO<sub>2</sub>. Selain itu, dye teroksidasi harus cepat diregenerasi untuk menghindari proses rekombinasi elektron. Untuk kebutuhan tersebut dihasilkan dye sintesis dari bahan kimia. Dye sintetis yang digunakan sebagai sensitizer adalah dye turunan dari Rhutenium kompleks, salah satunya adalah dye N-749 yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.

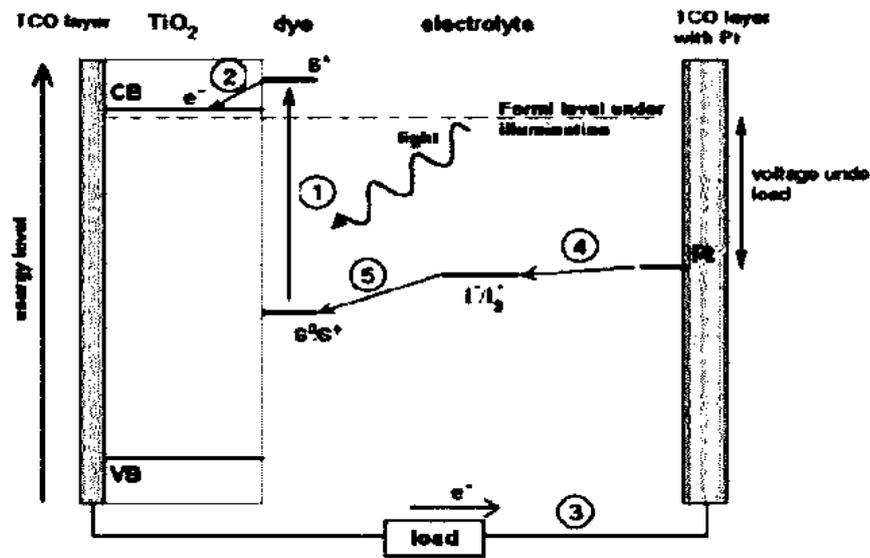


**Gambar 2.3** Struktur kimia dye N-749 (Bang S.Y, 2012)

Senyawa *ruthenium* memiliki gugus karboksil yang berfungsi untuk menempelkan diri pada permukaan semikonduktor oksida (Gratzel, 2003). Bagian COOH adalah yang menempel pada lapisan TiO<sub>2</sub>, sedangkan NCS adalah sebagai pendonor elektron. Dye N-749 merupakan pewarna yang kehijauan. Dye N-749 merupakan nama produk dari Sigma Aldrich. Dye ini mempunyai nama lain yakni Black dye, Ruthenium 620, dan lain-lain. Rumus empiris dari dye ini adalah C<sub>69</sub>H<sub>116</sub>N<sub>9</sub>O<sub>6</sub>RuS<sub>3</sub>. Penyerapan untuk dye N749 adalah sekitar 860 nm (Bang S.Y, 2012).

## 2.6. Prinsip Kerja *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Prinsip kerja pada DSSC secara skematik dapat ditunjukkan pada Gambar 2.4, dan proses yang terjadi di dalam DSSC dapat dijelaskan sebagai berikut (O'regan dan Gratzel, 1991; Smestad dan Grätzel, 1998) :

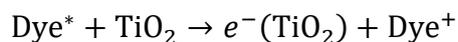


Gambar 2.4 Prinsip kerja DSSC (Halme, 2002)

1. Ketika foton menimpa elektroda kerja, energi foton diserap oleh dye yang ada pada permukaan TiO<sub>2</sub>. Sehingga foton dapat mengeksitasi elektron dari level HOMO (Highest Occupied Molecular Orbit) ke level LUMO (Lowest Unoccupied Molecular Orbit). Level LUMO berada pada sisi ligan dye yaitu COOH. Level ini dekat dengan level konduksi TiO<sub>2</sub> dan dye akan tereksitasi (Dye\*).



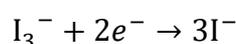
2. Tahap selanjutnya merupakan tahap pemisahan muatan, elektron berpindah dari dye ke TiO<sub>2</sub>. Perpindahan elektron dari dye ke TiO<sub>2</sub> meninggalkan hole dan menyebabkan dye teroksidasi (Dye<sup>+</sup>). Perpindahan elektron ini juga dipengaruhi oleh timbulnya medan listrik antara grup COOH di dye dengan lapisan TiO<sub>2</sub>. COOH melepaskan ion H<sup>+</sup> dan teradsorpsi ke lapisan TiO<sub>2</sub> sehingga dye bermuatan lebih negatif. Selain itu, perpindahan elektron disebabkan oleh level konduksi TiO<sub>2</sub> yang lebih rendah dari level LUMO dye.



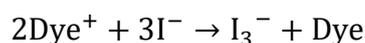
3. Selanjutnya elektron bergerak melalui struktur kristal TiO<sub>2</sub>-TCO menuju rangkaian luar dan elektron masuk ke elektroda karbon dan bergerak melalui elektrolit sebagai pembawa minoritas. Perjalanan elektron dari elektroda

karbon ke elektrolit dipercepat oleh dengan memanfaatkan karbon sebagai katalis.

4. Elektrolit redoks biasanya berupa elektrolit cair berupa pasangan iodide dan triiodide ( $I^-/I_3^-$ ) yang bertindak sebagai mediator elektron sehingga dapat menghasilkan proses siklus dalam sel. Adapun untuk mengatasi kebocoran elektrolit, elektrolit cair diubah bentuk menjadi elektrolit gel dengan memanfaatkan bahan polimer. Polimer tersebut sebagai semikonduktor tipe p yang dapat mentransfer hole. Triiodida dari elektrolit yang terbentuk akan menangkap elektron yang berasal dari rangkaian luar dengan bantuan molekul karbon sebagai katalis.



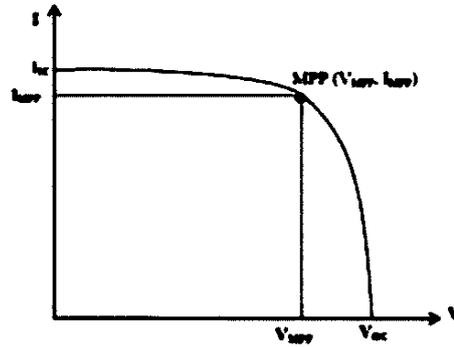
5. Pada persambungan elektrolit dengan dan molekul dye terjadi pergerakan hole dari molekul dye ke elektrolit dan pergerakan elektron dengan arah yang sebaliknya, sehingga dapat mereduksi dye, dimana satu ion iodide pada elektrolit mengantarkan elektron yang membawa energi menuju dye teroksidasi. Elektrolit menyediakan elektron pengganti untuk molekul dyeteroksidasi. Sehingga dye kembali ke keadaan awal dengan persamaan reaksi (reaksi reduksi)



Tegangan yang dihasilkan oleh sel surya  $TiO_2$  tersensitisasi dye berasal dari perbedaan tingkat energi fermi elektroda semikonduktor  $TiO_2$  dengan potensial redoks ( $I^-/I_3^-$ ) elektrolit. Sedangkan arus yang dihasilkan dari sel surya ini terkait langsung dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi dan bergantung pada intensitas penyinaran serta kinerja dye yang digunakan (Li B, Wang L, 2006).

## 2.7. Karakteristik Sel Surya

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama (Green, Martin, A, 1982). Karakteristik arus-tegangan sebuah sel surya ketika disinari digambarkan seperti Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Karakteristik Arus dan Tegangan (I-V) sebuah sel surya  
(Green,Martin.A, 1982)

Pada Gambar 2.5, diperlihatkan tegangan *open-circuit* ( $V_{oc}$ ), Arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ), *Maximum Power Point* (*MPP*), tegangan dan arus pada *MPP* ( $V_{MPP}$  dan  $I_{MPP}$ ). Ketika sel dalam kondisi *short circuit*, arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ) dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open-circuit* ( $V_{oc}$ ). Karakteristik penting lainnya dari sel surya yaitu *Fill factor* (*FF*) Unjuk kerja sel surya adalah faktor pengisian. *Fill factor* sel surya merupakan besaran tak berdimensi yang menyatakan perbandingan daya maksimum yang dihasilkan sel surya terhadap perkalian antara  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$ , menurut persamaan (Green,Martin.A, 1982) :

$$FF = \frac{V_{MPP}I_{MPP}}{V_{oc}I_{sc}} \quad (1)$$

Dengan menggunakan *fill factor* maka maksimum daya dari sel surya didapat dari persamaan :

$$P_{max} = V_{oc}I_{sc}FF \quad (2)$$

Sehingga efisiensi sel surya yang didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan dari sel ( $P_{max}$ ) dibagi dengan daya dari cahaya yang datang ( $P_{cahaya}$ ) (Green,Martin.A,1982) :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \times 100\% \quad (3)$$

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

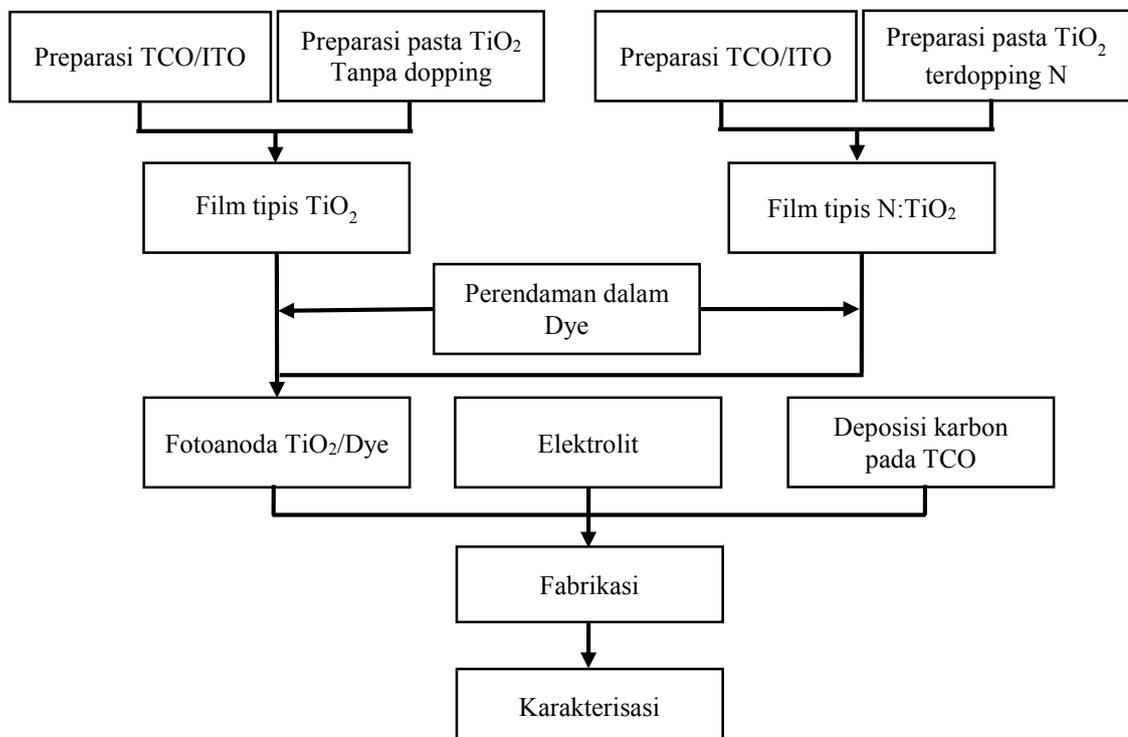
### 3.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah magnetic stirrer, furnace, spektrometer UV-Vis, pH meter digital, potensiostat, *hot-plate*, neraca digital, *ultrasonic-cleaner*, mikroskop, mortar, krusible, gelas kimia, gelas ukur, pipet, pinset, kabel listrik, dan penggaris

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah  $\text{TiCl}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$ , Serbuk dye sintetis N-749, Aquades, PEG 1000 (*Polyethylene Glycol*), KI, Acetonitril, Iodine, Amonia, HCl, Ethanol, Triton X-100, Asam Asetat, Pensil 8B, lem perak dan solder.

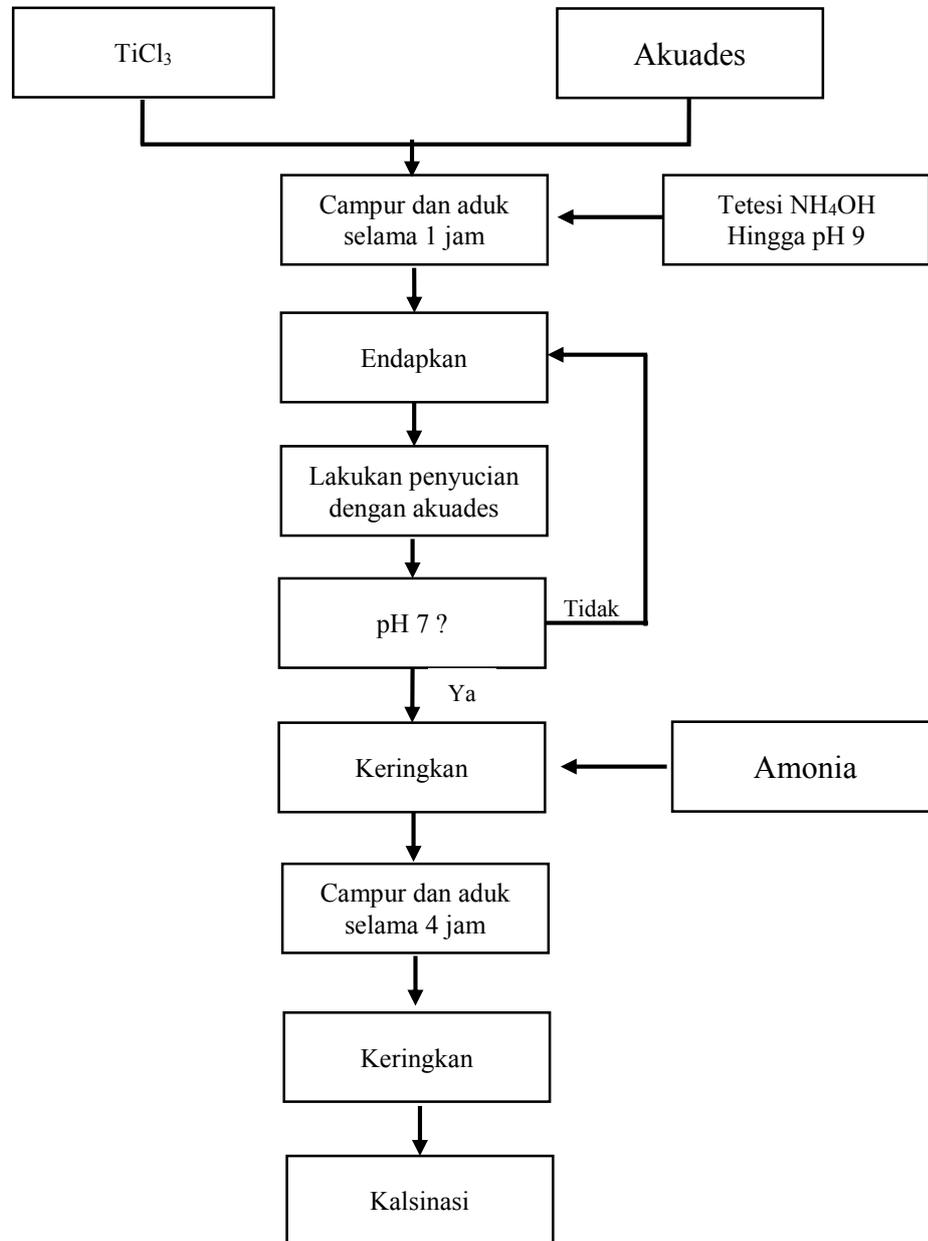
### 3.2. Diagram Alir Penelitian

Terdapat beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini. Langkah-langkah penelitian ini seperti digambarkan pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian

Proses sintesis TiO<sub>2</sub> terdoping nitrogen pada Gambar 3.1 akan diuraikan lebih jelas pada Gambar 3.2



**Gambar 3.2** Diagram Sintesis TiO<sub>2</sub> Dengan Pengotor Nitrogen

### 3.3. Prosedur Kerja

#### 3.3.1. Preparasi Kaca ITO

Tahap persiapan ini meliputi pembersihan kaca ITO dengan menggunakan ultrasonic cleaner. Alkohol 70% dituangkan pada gelas kimia sebanyak 200 ml.

Kaca ITO berukuran  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  yang akan dibersihkan dimasukkan pada gelas kimia yang telah berisi alkohol 70%. Ultrasonic cleaner diisi aquades sampai batas yang ditentukan. Gelas kimia yang berisi alkohol dan kaca ITO dimasukkan ke ultrasonic cleaner kemudian diatur waktu 60 menit. Setelah 60 menit kaca di keringkan. Pembersihan kaca substrat ITO bertujuan agar kaca terbebas dari material-material yang tidak mampu dibersihkan dengan air saja.

### 3.3.2. Sintesis $\text{TiO}_2$

Sintesis  $\text{TiO}_2$  nanopartikel dan fase anatase dilakukan dengan metode kopresipitasi. Metode kopresipitasi dilakukan dengan mencampurkan asam dan basa sehingga memperoleh endapan bahan yang diinginkan. Kopresipitasi merupakan metode yang prosesnya menggunakan suhu rendah dan mudah untuk mengontrol ukuran partikel sehingga waktu yang dibutuhkan relatif lebih singkat. Sintesis serbuk  $\text{TiO}_2$  dilakukan dengan proses: 20 mL  $\text{TiCl}_3$  dicampurkan dengan 100 mL aquades dan diaduk selama 1 jam. Selama proses pengadukan, larutan tersebut kemudian ditetesi  $\text{NH}_4\text{OH}$  hingga larutan mencapai pH 9. Setelah mencapai pH 9 tercapai, hentikan penetesan  $\text{NH}_4\text{OH}$  dan biarkan terus diaduk hingga larutan menjadi warna putih pekat. Selanjutnya larutan tersebut di endapkan pada suhu kamar dan tertutup rapat selama 24 jam. Setelah mengendap, dilakukan pencucian yakni endapan yang ada dipisahkan dari larutannya dan diganti dengan memasukan 200 mL aquades. Setelah itu aduk dan kembali diendapkan. Lakukan proses ini secara berulang hingga didapatkan endapan dengan pH 7. Setelah mendapatkan pH 7, endapan tersebut dikeringkan lalu dikalsinasi pada suhu  $300^\circ\text{C}$  selama 3 jam hingga terbentuk serbuk  $\text{TiO}_2$  dengan fase anatase. Untuk mengetahui fase yang diperoleh beserta ukuran partikelnya, maka dilakukan uji XRD.

Selanjutnya untuk mendeposisian  $\text{TiO}_2$  ke kaca ITO, maka serbuk  $\text{TiO}_2$  harus dibuat pasta. Proses pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$  adalah sebagai berikut: 0,7 g serbuk  $\text{TiO}_2$  digerus halus dalam mortar, kemudian ditambahkan 1,4 mL aquades yang tetap digerus dalam mortar selama 10 menit. Selanjutnya ditambahkan 0,3 g PEG-1000, 0,7 mL asam asetat dan 0,7 mL triton X-100. (Kook, Lee Jin. 2009). Pasta  $\text{TiO}_2$  yang sudah terbentuk dimasukkan ke dalam botol kemudian ditutup rapat.

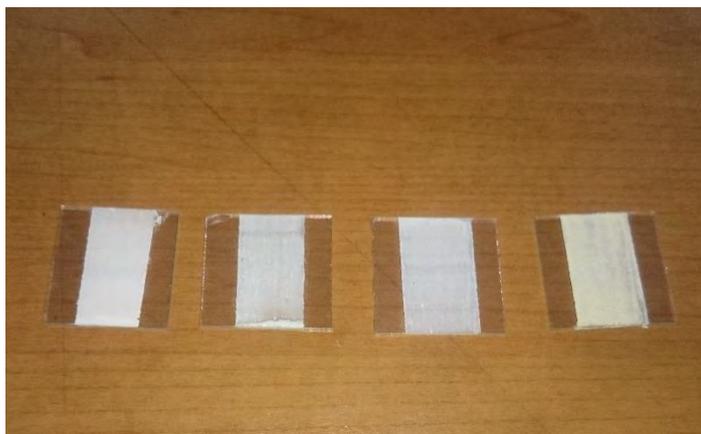
### 3.3.3. Sintesis TiO<sub>2</sub> Dopan Nitrogen

Dopan nitrogen bertujuan untuk mempersempit lebar pita celah energi dari TiO<sub>2</sub> sehingga jika sebelumnya TiO<sub>2</sub> hanya mampu menyerap pada spektrum ultraviolet akan bergeser ke spektrum cahaya tampak. Proses sintesis TiO<sub>2</sub> terdoping nitrogen dilakukan dengan cara: 20 mL TiCl<sub>3</sub> dicampurkan dengan 100 ml aquades dan diaduk selama 1 jam. Selama proses pengadukan, larutan tersebut kemudian ditetesi NH<sub>4</sub>OH hingga larutan mencapai pH 9. Setelah mencapai pH 9 tercapai, hentikan penetesan NH<sub>4</sub>OH dan biarkan terus diaduk hingga larutan menjadi warna putih pekat. Selanjutnya larutan tersebut diendapkan pada suhu kamar dan tertutup rapat selama 24 jam. Setelah mengendap, dilakukan pencucian yakni endapan yang ada dipisahkan dari larutannya dan diganti dengan memasukan 200 mL aquades. Setelah itu aduk dan kembali diendapkan. Lakukan proses ini secara berulang hingga didapatkan endapan dengan pH 7. Setelah mendapatkan pH 7, larutkan aduk endapan tersebut ke dalam 100 mL larutan amonia dengan konsentrasi larutan 2%, 5% dan 7,5% selama 4 jam. Setelah proses pengadukan selesai endapkan kembali lalu saring menggunakan kertas saring. Hasil endapan tersebut lalu dikeringkan dengan suhu pengeringan 80°C lalu dikalsinasi pada suhu 300°C selama 3 jam hingga terbentuk serbuk TiO<sub>2</sub> terdoping nitrogen berwarna kuning pucat dengan fase anatase. Serbuk tersebut kemudian digerus dengan mortar selama 1 jam untuk menghomogenkan ukuran kemudian disimpan untuk proses selanjutnya.

### 3.3.4. Pendeposisian Pasta TiO<sub>2</sub>

Pendeposisian pasta TiO<sub>2</sub> pada kaca ITO adalah proses pelapisan pasta TiO<sub>2</sub> pada permukaan konduktif dari kaca ITO, banyak teknik pendeposisian, salah satunya adalah doktor blade yang memiliki keunggulan yakni mudah dalam mengontrol ketebalan yang diinginkan. Pada penelitian ini TiO<sub>2</sub> dideposisi pada Kaca ITO dengan menggunakan metode Doktor Blade. Pada sisi kaca ITO berukuran 2 × 2 cm<sup>2</sup> dibentuk area pembatas dari plastik setebal 10 µm untuk mendapatkan area pendeposisian pasta TiO<sub>2</sub> dengan ukuran luasan 1 × 1 cm<sup>2</sup> juga sebagai kontrol ketebalan lapisan TiO<sub>2</sub>

Setelah pasta  $\text{TiO}_2$  terdeposisi kemudian dipanaskan pada suhu  $400\text{ }^\circ\text{C}$  selama 15 menit. Setelah 15 menit elektroda kerja didinginkan pada suhu ruangan. Proses pemanasan dalam langkah kerja ini bertujuan ingin menghilangkan bahan-bahan campuran yang digunakan dalam pelarut, sehingga setelah pemanasan hanya tersisa semikonduktor yang melekat pada kaca sebelum dilakukan perendaman pada larutan dye. Setelah dilakukan deposisi, lapisan  $\text{TiO}_2$  terdeposisi akan di uji XRD untuk mengetahui apakah terjadi perubahan pada fasa dan ukuran  $\text{TiO}_2$ .



**Gambar 3.3** Pasta  $\text{TiO}_2$  yang telah tedeposisi pada kaca ITO

### 3.3.5. Pembuatan Larutan Dye

Larutan dye yang digunakan dalam penelitian ini adalah dye berbasis bahan sintetis yakni dye N-749. Dimana 6,8 miligram serbuk dye dilarutkan kedalam 10 mL ethanol dan di aduk menggunakan stirrer selama 10 menit. Larutan dye yang sudah terbentuk dimasukkan ke dalam botol kemudian ditutup rapat.

### 3.3.6. Karakterisasi Absorbansi Larutan Dye

Untuk mengetahui daya absorbansi larutan dye yang digunakan maka dilakukan karakterisasi absorbansi dengan menggunakan spektrometer UV. Disiapkan dua buah cuvet, sebuah cuvet diisi larutan dye dan cuvet lainnya diisi ethanol untuk mengkalibrasi spektrometer Uv-Vis. Kemudian keduanya di letakan ke dalam alat spektrometer UV dan diprogram untuk mengetahui grafik absorbansi terhadap panjang gelombang.

### 3.3.7. Perendaman Elektroda kerja

Perendaman elektroda kerja bertujuan agar dye melekat pada semikonduktor TiO<sub>2</sub>. Perendaman dilakukan dengan cara elektroda kerja direndam pada 10 ml larutan dye selama 12 jam.

### 3.3.8. Pembuatan Elektrolit Gel

Elektrolit yang digunakan adalah berupa elektrolit gel berbasis polimer PEG (polyethylene glycole) dengan berat molekul (BM) 1000. 7 g PEG 1000, 25 mL kloroform dan elektrolit cair dicampurkan dan diaduk secara homogen dengan magnetik stirrer sambil dipanasi 80<sup>0</sup>C hingga diperoleh elektrolit bersifat gel. Elektrolit cair sendiri dibuat dari 3 g KI dan 1,5 g I<sub>2</sub> yang dilarutkan kedalam 10 mL acetonitril.

### 3.3.9. Pembuatan Elektroda Karbon

Elektroda karbon dibuat dengan menggunakan *black carbon*. Ambil 1 g *black carbon* halus campurkan dengan 10 mL etanol lalu aduk hingga homogen. Pendeposisian karbon pada kaca ITO dilakukan dengan teknik *screen printing* dan dikeringkan pada suhu 150<sup>0</sup>C selama 30 menit.

### 3.3.10. Pabrikasi DSSC

Pada fotoanoda TiO<sub>2</sub> dilakukan proses *sealing* yaitu menutupi sebagian permukaan konduktif sehingga menyisakan ruang elektrolit diatas permukaan TiO<sub>2</sub>. *Spacer* yang digunakan gasket. Elektroda TiO<sub>2</sub> yang telah dilapisi *spacer* ditetesi larutan elektrolit sehingga bagian yang kosong di atas TiO<sub>2</sub> terpenuhi dengan elektrolit. Letakkan elektroda lawan (Elektroda *counter*) persis di atas lapisan TiO<sub>2</sub> dan jepit dengan menggunakan penjepit hingga tertutup sempurna.

### 3.3.11. Karakterisasi Arus dan Tegangan (I-V) pada DSSC

Karakterisasi arus dan tegangan (I-V) akan dilakukan di Lab.Fotonik Fisika

ITB menggunakan alat Keithley I-V meter. Data keluaran dan alat I-V meter merupakan nilai arus dan tegangan. Perlakuan yang diberikan adalah memberikan tegangan input hingga 10 V dengan skala 0,5 V pada kondisi disinari lampu xenon 5,4 A dengan rapat daya 100 mW/cm<sup>2</sup>. Data output dari alat tersebut adalah nilai arus dan tegangan output. Kemudian dapat dibuat grafik hubungan antara tegangan dan arus. Dari grafik hubungan tersebut dapat diketahui karakteristik Sel DSSC yang dibuat dengan menganalisa parameter sel-surya seperti ; tegangan *open-circuit* ( $V_{oc}$ ), Arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ), *Maximum Power Point* (*MPP*), tegangan dan arus pada *MPP* ( $V_{MPP}$  dan  $I_{MPP}$ ), *Fill factor* (*FF*) dan Efisiensi.

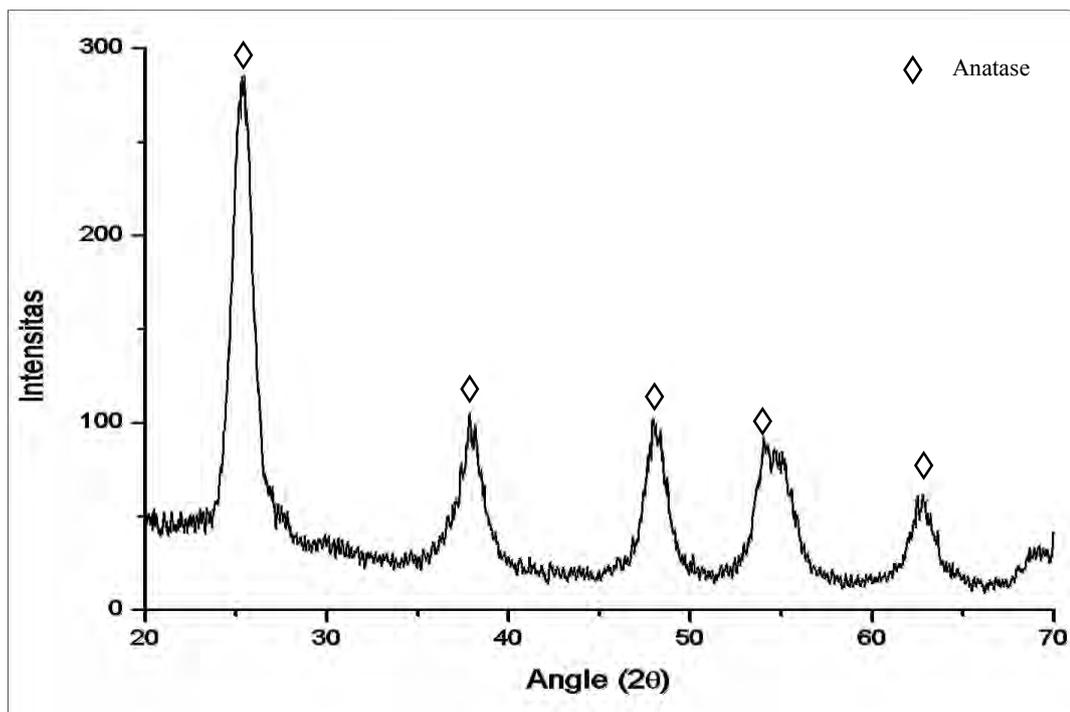
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Karakterisasi XRD fotoanoda

Fotoanoda yang dipakai dalam penyusunan DSSC ini adalah semikonduktor  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2$  terdoping nitrogen ( $\text{N}:\text{TiO}_2$ ). Fotoanoda  $\text{TiO}_2$  diperoleh melalui sintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi dengan menggunakan  $\text{TiCl}_3$  sebagai prekursor dan ammonia sebagai sumber dopan atom nitrogen. Uji XRD diterapkan pada masing-masing sampel  $\text{TiO}_2$  baik yang terdoping nitrogen maupun yang tidak terdoping. Hasil pola difraksi  $\text{TiO}_2$  yang dikalsinasi  $400^\circ\text{C}$  selama 3 jam ditunjukkan pada Gambar 4.1.



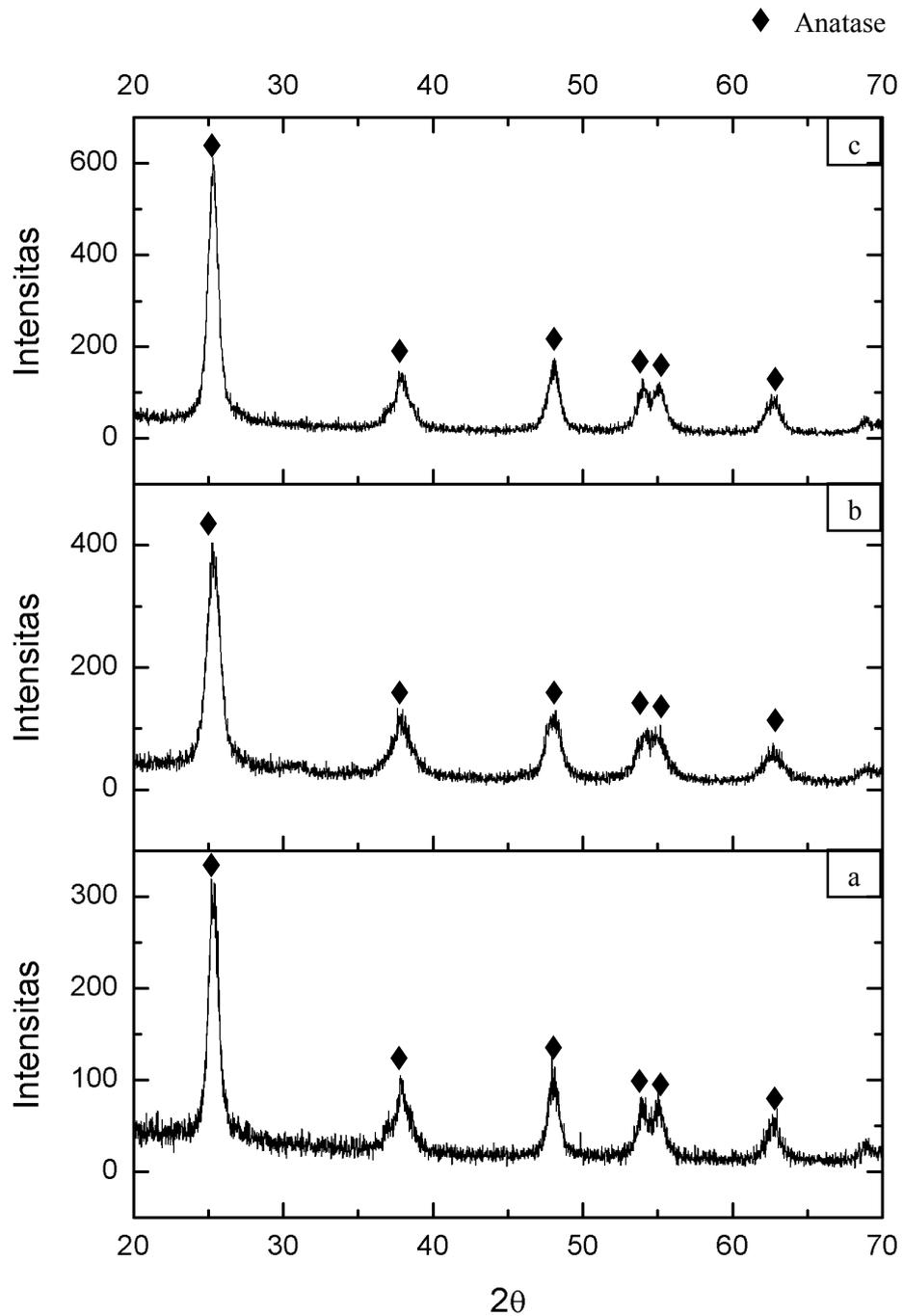
**Gambar 4.1** Pola Difraksi Sinar-X (radiasi  $\text{Cu-K}\alpha$ )  $\text{TiO}_2$  murni

Uji XRD bertujuan untuk mengetahui fasa masing-masing sampel serta menentukan ukuran kristal dengan menggunakan persamaan scherrer.  $\text{TiO}_2$  memiliki tiga fasa yaitu Anatase, Rutile, dan Brookite dengan struktur kristal untuk Anatase dan Rutile adalah tetragonal sedangkan untuk Brookite adalah

orthorombik. Dalam pemanfaatannya sebagai bahan fotoanode DSSC, TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan diharapkan memiliki sifat fotokatalis yang baik. Dari ketiga fase yang dimiliki TiO<sub>2</sub>, fase brookite memiliki sifat fotokatalis yang paling tinggi, disusul dengan fase anatase kemudian rutile (Ju-Young Park, 2009). Namun sampai saat ini hanya fase rutile dan anatase yang mampu disintesis dengan mudah pada suhu rendah (Zheng, 2001). Oleh karena itu sampai saat ini penelitian tentang sintesis TiO<sub>2</sub> banyak terfokus pada fase anatase dan rutile. Dari kedua fase tersebut, fase anatase memiliki sifat fotokatalis yang lebih baik dari pada fase rutil. Selain memiliki sifat fotokatalis yang baik, TiO<sub>2</sub> fase anatase juga memiliki kemampuan mengadsorpsi pewarna yang lebih banyak dan koefisien difusi elektronnya tinggi. (Zhang, H, 2000). Oleh karena itu dalam riset ini diharapkan fase TiO<sub>2</sub> yang terbentuk adalah fase anatase.

Berdasarkan hasil pengukuran XRD seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1, pola spektral XRD cocok dengan data PDF No. 21-1272. Dengan puncak 101, 004, 200, 211 dan 204 berada pada sudut difraksi 25,32°; 37,82°; 48,08°; 55,11° dan 62,73°. Data di atas bersesuaian dengan pola difraksi TiO<sub>2</sub> fase anatase. Analisis lanjutan adalah mengolah data XRD menggunakan perangkat lunak MAUD yang bekerja dengan metode koreksi March-Dollase. Hasil pengolahan dengan perangkat lunak MAUD dengan nilai signifikansi 1,3 menunjukkan bahwa sampel yang didapatkan merupakan TiO<sub>2</sub> fase anatase bentuk kristal tetragonal dengan parameter kisi  $a = 3.7775092$  amstrong dan  $c = 9.474072$  amstrong serta ukuran kristal yang didapat adalah 5,9677567 nm.

Sampel selanjutnya yang juga dilakukan analisis XRD adalah sampel TiO<sub>2</sub> terdoping nitrogen. Sampel ini terdiri dari 3 macam dengan tingkat konsentrasi NH<sub>3</sub> sebagai sumber dopan nitrogen yang berbeda pada masing-masing sampel yaitu 2%, 5%, dan 7.5%. NH<sub>3</sub> yang dipakai sebagai sumber dopan ini merupakan NH<sub>3</sub> liquid yang terlarut dalam air dengan konsentrasi 25%. Hasil *plotting* XRD untuk masing-masing sampel adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Pola Difraksi Sinar-X (radiasi Cu-K $\alpha$ ) TiO<sub>2</sub> dengan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi (a) 2% (b) 5% dan (c) 7,5%

Berdasarkan hasil pengukuran XRD seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2, pola spektral XRD dari ketiga sampel cocok dengan data PDF No. 21-

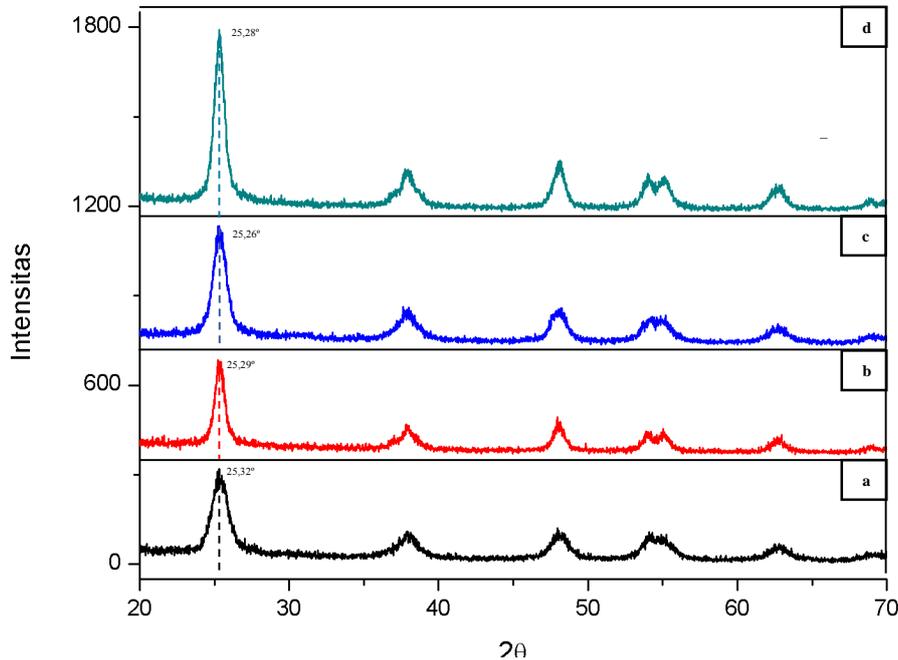
1272. Dengan puncak 101, 004, 200, 211 dan 204 pada sampel TiO<sub>2</sub> dengan perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 2% berada pada sudut difraksi 25,29°; 37,74°; 48,06°; 55,02° dan 62,69°. Untuk TiO<sub>2</sub> dengan perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 5% berada pada sudut difraksi 25,26°; 37,59°; 48,01°; 55,00° dan 62,66°. Untuk TiO<sub>2</sub> dengan perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 7,5% berada pada sudut difraksi 25,28°; 37,86°; 48,07°; 55,00° dan 62,75°. Ketiga data di atas bersesuaian dengan pola difraksi TiO<sub>2</sub> fase anatase.

Sekilas tidak terdapat perbedaan yang mencolok antara TiO<sub>2</sub> tanpa perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> dengan TiO<sub>2</sub> dengan perlakuan penambahan NH<sub>3</sub>. Tidak ada muncul puncak baru pada pola spektral XRD antara TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub> dengan perlakuan penambahan NH<sub>3</sub>, hal ini menunjukkan bahwa dengan perlakuan doping nitrogen tidak menghasilkan fasa baru pada sampel. Namun terdapat sedikit pergeseran sudut puncak pada pola spektral XRD pada sampel TiO<sub>2</sub> dengan perlakuan penambahan NH<sub>3</sub>, hal ini terlihat pada data yang telah dipaparkan sebelumnya di atas terutama pada puncak 101 yang memiliki intensitas paling tinggi, terlihat nilai sudut bragg bergeser sedikit mengecil seiring bertambahnya konsentrasi NH<sub>3</sub> yang diberikan. Menurut hukum Bragg yang dirumuskan seperti persamaan di bawah ini terlihat bahwa ada pengaruh besar sudut bragg terhadap lebar kisi difraksi.

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (1)$$

Dengan mengkorelasikan data pergeseran sudut pada puncak data difraksi dengan persamaan Bragg, terlihat bahwa kisi difraksi atau dalam hal ini adalah kisi kristal dari tiap-tiap sampel melebar seiring perlakuan penambahan NH<sub>3</sub>. Dengan melebarnya kisi kristal maka ukuran kristal akan semakin membesar atau dengan kata lain proses penambahan NH<sub>3</sub> menyebabkan terjadinya pertumbuhan ukuran kristal.

Selain pergeseran puncak, perbedaan intensitas pada puncak 101 antara TiO<sub>2</sub> tanpa perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> dengan TiO<sub>2</sub> dengan perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> juga mengindikasikan pertumbuhan ukuran kristal seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.3. Intensitas TiO<sub>2</sub> dengan perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> memiliki intensitas yang lebih tinggi daripada TiO<sub>2</sub> tanpa perlakuan penambahan NH<sub>3</sub>. Perbedaan ketinggian puncak pada masing-masing sampel berindikasi pada



**Gambar 4.3** Perbandingan Intensitas dan FWHM pola difraksi Sinar-X radiasi Cu-K $\alpha$  (a) TiO<sub>2</sub> tanpa penambahan NH<sub>3</sub>, (b) TiO<sub>2</sub> dengan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 2%, (c) TiO<sub>2</sub> dengan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 5% dan (d) TiO<sub>2</sub> dengan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 7,5%

perbedaan nilai FWHM (*full width at half the maximum intensity*) yang mana semakin tinggi puncak maka semakin kecil nilai FWHM. Menurut persamaan yang dikemukakan oleh Scherrer mengenai ukuran kristal berkaitan dengan pola puncak difraksi, besarnya ukuran kristal berbanding terbalik dengan nilai FWHM. Secara matematis ditulis dengan

$$d = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2)$$

Dengan  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-x, K adalah konstanta scherrer,  $\beta$  adalah lebar FWHM dan  $\theta$  adalah sudut bragg. Berdasarkan persamaan di atas jelas terjadi pertumbuhan ukuran kristal antara TiO<sub>2</sub> tanpa perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> dengan TiO<sub>2</sub> dengan perlakuan penambahan NH<sub>3</sub>.

Kedua metode di atas hanya mampu mengkonfirmasi adanya pertumbuhan ukuran kristal tanpa mengetahui seberapa besar ukuran kristal dari masing-masing sampel. Oleh karena itu dibutuhkan analisis lebih lanjut terhadap data difraksi yang peroleh. Analisis lebih lanjut adalah dengan menggunakan perangkat lunak MAUD.

Perangkan lunak ini melakukan analisis semi-kuantitatif terhadap data XRD sehingga diperoleh ukuran kristal dari masing-masing sampel. Hasil pengolahan dengan perangkat lunak MAUD dengan nilai signifikansi berada di bawah 1,2 menunjukkan data seperti pada Tabel 4.1.

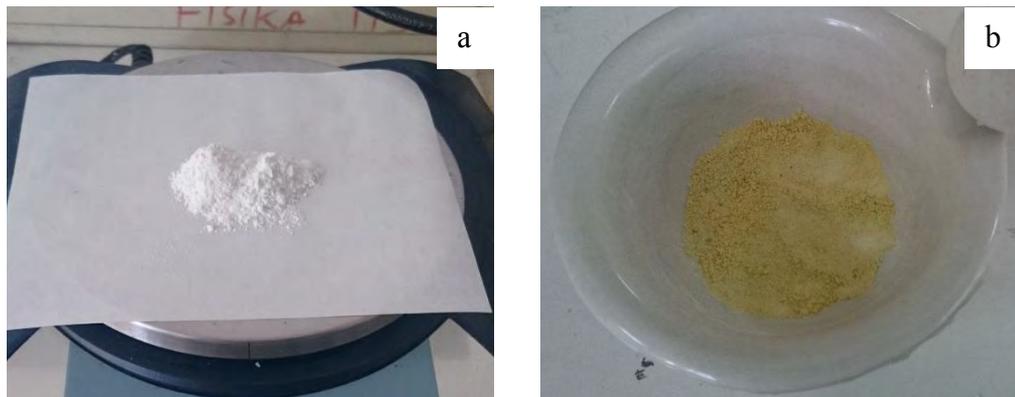
**Tabel 4.1.** Tabel hasil pengolahan dengan perangkat lunak MAUD mengenai ukuran kristal masing-masing sampel.

Sampel	Ukuran kristal (nm)
TiO <sub>2</sub> tanpa penambahan NH <sub>3</sub>	5,967756
TiO <sub>2</sub> tanpa penambahan NH <sub>3</sub> konsentrasi 2%	7,475828
TiO <sub>2</sub> tanpa penambahan NH <sub>3</sub> konsentrasi 5%	9,979274
TiO <sub>2</sub> tanpa penambahan NH <sub>3</sub> konsentrasi 7,5%	9,267348

Dari tabel tersebut terlihat jelas bahwa ukuran kristal bertambah seiring dengan penambahan NH<sub>3</sub>. Semakin besarnya ukuran kristal seiring penambahan NH<sub>3</sub> yaitu dari ukuran 5,97 – 9,98 nm. Hal ini salah satunya mengindikasikan adanya intersisi atau doping atom nitrogen pada struktur kristal TiO<sub>2</sub> sehingga ukuran kristal membesar mengingat jari-jari atom oksigen lebih kecil dari pada atom nitrogen sehingga saat proses doping terjadi maka ukuran kristal akan membesar. Untuk mengkonfirmasi adanya intersisi atom nitrogen diperlukan karakterisasi bahan lebih lanjut menggunakan SEM-EDX yang akan di bahas pada pembahasan berikutnya.

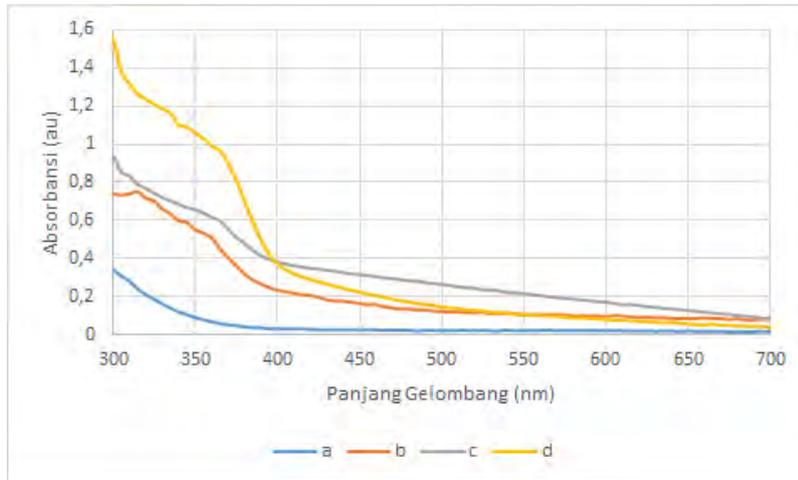
#### 4.2 Karakterisasi UV-Vis fotoanoda

Selain melalui analisis spektral XRD, material TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub> terdoping secara visual mudah terbedakan. Material TiO<sub>2</sub> murni umumnya berwarna putih sedangkan material TiO<sub>2</sub> terdoping nitrogen akan berwarna kuning pucat (Guidong Yang, 2010). Dari hasil sintesis didapatkan bahwa material TiO<sub>2</sub> yang terdoping nitrogen berwarna kuning dan sangat kontras dengan material TiO<sub>2</sub> murni yang berwarna putih. Hal ini terlihat dari Gambar 4.4



**Gambar 4.4** Serbuk (a)  $\text{TiO}_2$  tak terdoping dan (b)  $\text{TiO}_2$  terdoping nitrogen setelah dikalsinasi  $400^\circ\text{C}$  selama 3 jam

Seperti yang telah diketahui, walaupun proses mekanisme doping nitrogen masih menjadi perdebatan hingga kini (R. Asahi, 2001), para peneliti sepakat substitusi atom nitrogen terhadap atom oksigen pada  $\text{TiO}_2$  mengakibatkan penyempitan *band gap* yang diakibatkan oleh percampuran antara atom N dan atom O (Fan Dong, 2008). Proses doping atom nitrogen akan menggeser pita valensi  $\text{TiO}_2$  sehingga menyebabkan penyempitan nilai *band gap* dan juga menyebabkan kekosongan atom oksigen. Kedua hal tersebut menyebabkan peningkatan kemampuan absorpsi  $\text{TiO}_2$  pada rentang cahaya tampak (Hiroshi Irie, 2003). Untuk mengetahui sejauh mana peningkatan absorpsi  $\text{TiO}_2$  setelah didoping nitrogen, dilakukan pengukuran menggunakan alat UV-Vis. Pengukuran dilakukan dengan melarutkan masing-masing serbuk  $\text{TiO}_2$ , baik yang terdoping maupun yang tidak terdoping nitrogen dengan konsentrasi 0,06 g/L. Selanjutnya sampel dimasukkan ke dalam kuvet dengan lebar 1 cm. Hasil pengukuran UV-Vis dari keempat sampel ditunjukkan oleh Gambar 4.5

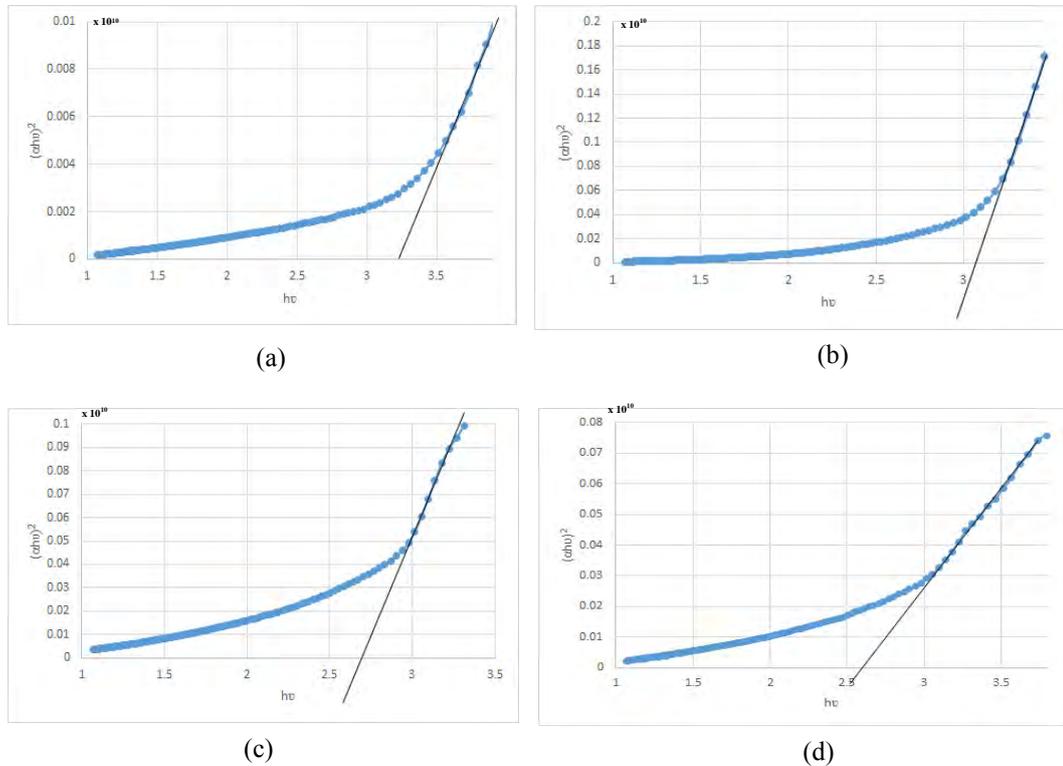


**Gambar 4.5** Grafik absorbansi material (a) TiO<sub>2</sub> tanpa perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> (b) TiO<sub>2</sub> dengan perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 2% (c) TiO<sub>2</sub> dengan perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 5% (d) TiO<sub>2</sub> dengan perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 7,5%

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.5a, daya absorbansi sampel TiO<sub>2</sub> tanpa perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> menurun drastis di panjang gelombang pada 350 nm yang merupakan daerah panjang gelombang ultraviolet. Sedangkan sampel *b*, *c*, dan *d* yang merupakan TiO<sub>2</sub> dengan perlakuan penambahan NH<sub>3</sub>, kemampuan absorbansi bergeser hingga ke daerah cahaya tampak yaitu daerah cahaya biru dan violet dan menurun pada panjang gelombang 400 nm sampai 600 nm. Dari data di atas jelas bahwa perlakuan doping nitrogen mampu meningkatkan absorbansi material TiO<sub>2</sub>.

Untuk telaah lebih lanjut dilakukan perhitungan untuk menentukan besarnya band gap pada masing-masing sampel. Untuk menentukan nilai band gap masing-masing sampel dibuat grafik hubungan antara energi ( $hv$ ) terhadap fungsi  $(\alpha hv)^2$  dan menentukan titik potong garis singgung terhadap sumbu  $hv$  (Rosendo, 2011). Untuk memperoleh nilai  $\alpha$  yang juga sering disebut koefisien absorbansi menggunakan persamaan Beer-Lambert yang nilainya berbanding lurus dengan absorbansi dan berbanding terbalik dengan jarak cairan yang di tembus yang dalam hal ini adalah lebar kuvet yaitu 0,01 m serta berbanding terbalik dengan konsentrasi

larutan. Hasil plotting hubungan antara energi ( $h\nu$ ) terhadap fungsi  $(\alpha h\nu)^2$  untuk masing-masing sampel diperlihatkan pada Gambar 4.6.



**Gambar 4.6** Grafik hubungan antara  $(h\nu)$  terhadap fungsi  $(\alpha h\nu)^2$  pada sampel (a)  $\text{TiO}_2$  tanpa perlakuan penambahan  $\text{NH}_3$  (b)  $\text{TiO}_2$  dengan perlakuan penambahan  $\text{NH}_3$  konsentrasi 2% (c)  $\text{TiO}_2$  dengan perlakuan penambahan  $\text{NH}_3$  konsentrasi 5% (d)  $\text{TiO}_2$  dengan perlakuan penambahan  $\text{NH}_3$  konsentrasi 7,5%

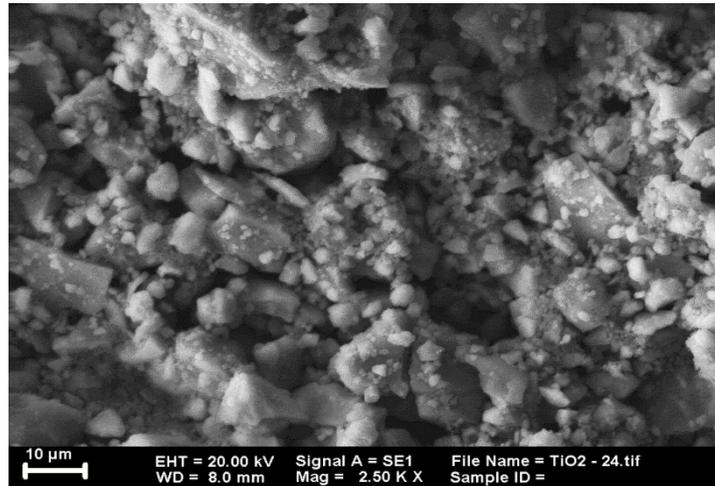
Dari Gambar 4.6 didapatkan bahwa nilai band gap untuk sampel  $\text{TiO}_2$  tanpa perlakuan penambahan  $\text{NH}_3$  adalah 3,2 eV sedangkan untuk sampel  $\text{TiO}_2$  dengan perlakuan penambahan  $\text{NH}_3$  dengan konsentrasi 2%, 5% dan 7,5% secara berurutan adalah 3,0 eV, 2,7 eV, dan 2,5 eV. Dari gambar 4.6 terlihat bahwa doping nitrogen terhadap  $\text{TiO}_2$  mampu mempersempit band gap. Analisis perhitungan lebih lanjut dilakukan untuk mengetahui spektrum cahaya yang mampu diserap dengan nilai *band gap* yang bersesuaian dengan nilai di atas.

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (3)$$

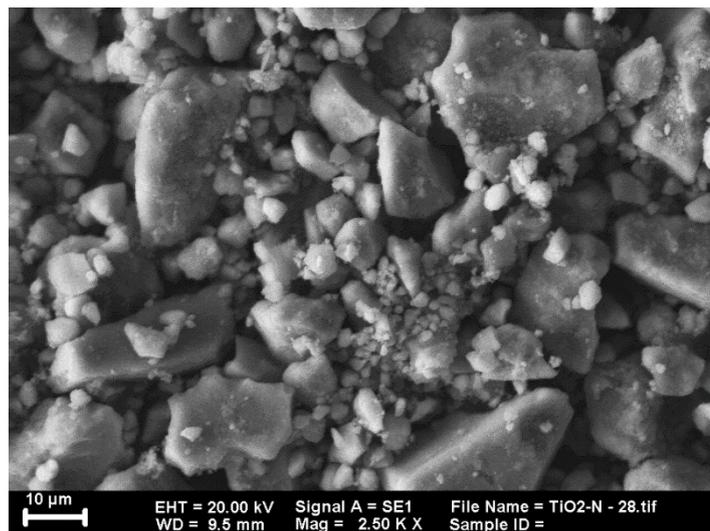
Dengan menggunakan persamaan di atas didapat panjang gelombang yang bersesuaian dengan nilai *band gap* dari TiO<sub>2</sub> tanpa perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> dan TiO<sub>2</sub> dengan perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> dengan konsentrasi 2, 5 dan 7,5% secara berurutan adalah 388, 414, 460, dan 497 nm. Dari data ini tampak bahwa TiO<sub>2</sub> tanpa perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> hanya mampu bekerja di daerah sinar ultraviolet yaitu daerah dengan panjang gelombang di bawah 400 nm dan TiO<sub>2</sub> dengan perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> mampu bekerja pada rentang daerah cahaya tampak yaitu antara 400 – 800 nm.

### 4.3 Karakterisasi Morfologi dan Komposisi Lapisan Tipis Fotoanoda

Analisis menggunakan SEM-EDX dilakukan pada sampel TiO<sub>2</sub> baik yang terdoping maupun yang tidak terdoping untuk mengetahui struktur morfologi dan analisa semi kuantitatif dari lapisan tipis TiO<sub>2</sub> yang telah terdeposisi ke kaca ITO. Lapisan tipis didapatkan dengan mendeposisikan pasta TiO<sub>2</sub> dengan metode *doctor blade* serta menggunakan pembatas plastik *warp* dengan ketebalan 10 µm. Kemudian sampel di *annealing* pada suhu 400°C. Gambar 4.7 merupakan hasil SEM permukaan lapisan tipis TiO<sub>2</sub> pada kaca konduktif ITO. Tidak terdapat perbedaan struktur morfologi yang berarti antara sampel lapisan tipis TiO<sub>2</sub> tak terdoping dengan TiO<sub>2</sub> terdoping nitrogen. Tak terdeteksi retakan pada kedua sampel lapisan tipis TiO<sub>2</sub>. Hal ini baik karena retakan menyebabkan terputusnya ikatan antar partikel TiO<sub>2</sub> sehingga kemungkinan terjadinya rekombinasi elektron atau kembalinya elektron ke dalam elektrolit semakin besar. Kristal TiO<sub>2</sub> berbentuk sferikal dominan terdapat pada kedua lapisan tipis ini, namun juga terdapat aglomerasi pada kedua sampel terutama terlihat jelas pada sampel TiO<sub>2</sub> terdoping nitrogen. Aglomerasi partikel-partikel TiO<sub>2</sub> disebabkan saat pencampuran partikel TiO<sub>2</sub> dan PEG sebagai *binder* serta triton yang tidak tercampur secara merata. Akibat pencampuran basah tidak merata ini partikel-partikel yang memiliki muatan yang sama cenderung untuk berkumpul menjadi satu sehingga saat sampel di *annealing* pada suhu 400°C akan menyebabkan terjadinya penggumpalan partikel TiO<sub>2</sub> (Widyastuti, 2008). Fenomena aglomerasi sebisa mungkin dihindari karena akan mengurangi kinerja DSSC yang dihasilkan karena aglomerasi menyebabkan luas permukaan kontak atau *specific surface area* TiO<sub>2</sub> menjadi menurun sehingga



(a)



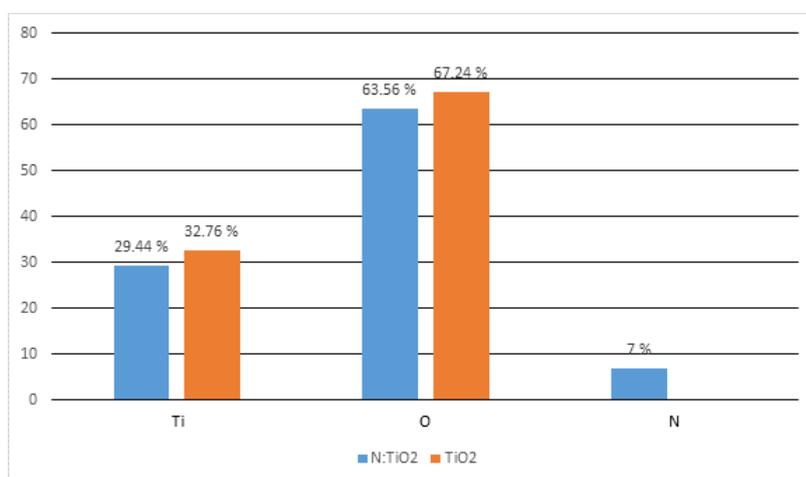
(b)

**Gambar 4.6** Struktur morfologi lapisan tipis (a)  $\text{TiO}_2$  tak terdoping (b)  $\text{TiO}_2$  terdoping nitrogen dengan menggunakan SEM

penyerapan *dye* oleh partikel  $\text{TiO}_2$  menjadi berkurang. Hal ini berdampak fotoanode yang dihasilkan menjadi kurang optimal dalam menyerap cahaya atau foton yang datang.

Analisis semi kuantitatif mengenai komposisi unsur penyusun lapisan tipis dengan menggunakan SEM-EDX juga dilakukan untuk mengetahui persentase

unsur penyusun serta mengkonfirmasi apakah nitrogen benar-benar telah terdoping pada material  $\text{TiO}_2$ . Secara visual komposisi unsur penyusun lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  terlihat pada Gambar 4.7

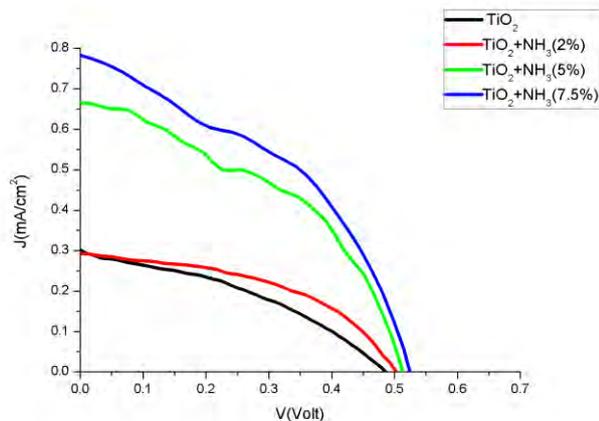


**Gambar 4.7** SEM-EDX nilai at % sampel  $\text{TiO}_2$  tak terdoping dan  $\text{TiO}_2$  terdoping nitrogen

Gambar 4.7(a) mengkonfirmasi adanya unsur Ti dan O dalam sampel lapisan tipis. Hal ini wajar karena lapisan tipis yang dideposisikan merupakan  $\text{TiO}_2$  yang fasa kristalnya telah dikofirmasi dari data XRD sebelumnya. Sedangkan pada gambar 4.7(b) mengkonfirmasi adanya unsur N, Ti, dan O. Namun demikian, walaupun pola spektral XRD menunjukkan bahwa sampel (b) tersebut merupakan fasa Anatase  $\text{TiO}_2$  yang serupa dengan sampel (a) tapi pada kenyataannya hasil analisis semikuantitatif SEM-EDX memperlihatkan adanya pengotor atom N yang tak mengubah struktur kristal  $\text{TiO}_2$ , tidak menghasilkan fasa baru ataupun menimbulkan puncak baru pada pola spektral XRD. fakta ini menunjukkan adanya dopan N yang menyusup pada struktur kristal  $\text{TiO}_2$ . Analisis semi kuantitatif dari gambar 4.7(b) menunjukkan bahwa hanya 7% atom N pada sampel (b) tersebut. Ini lebih kecil dibandingkan dengan dengan atom Ti sebesar 29,44% dan atom O sebesar 63,56%.

#### 4.4 Karakterisasi I-V DSSC

Karakterisasi I-V bertujuan untuk mengetahui efisiensi dari DSSC yang menggunakan fotoanode  $\text{TiO}_2$  terdoping nitrogen. Karakterisasi dilakukan di laboratorion fotonik fisika ITB dengan menggunakan *solar simulator*. *Solar simulator* menggunakan sumber cahaya lampu xenon 5,4 A dengan daya pancaran  $100 \text{ mW/cm}^2$ . Hasil karakterisasi I-V dari masing-masing sampel lalu di plot untuk menentukan daya maksimum yang bisa dihasilkan oleh sel surya tersebut. Grafik hubungan antara rapat arus dan tegangan dari masing-masing sampel DSSC diperlihatkan pada Gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Grafik hubungan J-V pada masing-masing sampel DSSC

Sekilas terlihat bahwa terdapat peningkatan performa dari DSSC yang menggunakan fotoanode  $\text{TiO}_2$  terdoping nitrogen dibanding dengan DSSC yang hanya menggunakan fotoanode  $\text{TiO}_2$ . Hal ini dikarenakan tingkat dan jangkauan absorbansi  $\text{TiO}_2$  terdoping nitrogen lebih lebar dibanding dengan  $\text{TiO}_2$  tak terdoping sehingga  $\text{TiO}_2$  terdoping nitrogen mampu menkonversi cahaya menjadi listrik lebih besar dibandingkan dengan  $\text{TiO}_2$ .

Analisis selanjutnya adalah menghitung besarnya efisiensi DSSC pada masing-masing sampel. Untuk mengetahui besar efisiensi, perlu diketahui daya maksimum yang mampu diberikan oleh sel surya. Daya maksimum adalah besar nilai perkalian antara rapat arus  $J$  dan tegangan  $V$  yang menghasilkan nilai paling besar. Berdasar Gambar 4.8, daya maksimum merupakan luas maksimum dari segi empat di bawah

kurva J-V. Nilai efisiensi dari masing-masing sampel DSSC diperlihatkan pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2.** Tabel perbandingan kinerja DSSC dengan variasi fotoanoda

Sampel	Effisiensi (%)	Voc (Volt)	Jsc (mA/cm <sup>2</sup> )	FF
Sampel A (TiO <sub>2</sub> )	0,055 %	0,48	0.308	0.36
Sampel B (TiO <sub>2</sub> + NH <sub>3</sub> (2%))	0,070 %	0,49	0.295	0.48
Sampel C (TiO <sub>2</sub> + NH <sub>3</sub> (5%))	0,169 %	0,51	0,646	0.52
Sampel D (TiO <sub>2</sub> + NH <sub>3</sub> (7.5%))	0,179 %	0,51	0,784	0.45

Ada 4 data utama yang didapatkan dari karakterisasi arus-tegangan pada modul DSSC, yaitu  $V_{oc}$ ,  $V_{MMP}$ ,  $J_{sc}$ , dan  $J_{MMP}$ . Besar  $V_{oc}$  dan  $J_{sc}$  menunjukkan kemampuan solar sel dalam mengkonversi foton menjadi arus listrik sedangkan  $V_{MMP}$  dan  $J_{MMP}$  menunjukkan seberapa besarnya daya listrik yang mampu dihasilkan oleh modul DSSC per luasan 1 cm<sup>2</sup>. Berdasarkan data dari Tabel 4.2, Terjadi peningkatan nilai tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) dan rapat arus *short circuit* ( $J_{sc}$ ) antara sampel tidak terdoping nitrogen dengan sampel yang terdoping nitrogen. Tapi pada sampel B yaitu sampel dengan perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 2 %, nilai tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) relatif sama dengan sampel A yang tidak terdoping nitrogen, bahkan nilai rapat arus *short circuit* ( $J_{sc}$ ) pada sampel B lebih kecil daripada sampel A. Namun karena nilai *fill factor* sampel B lebih tinggi daripada sampel A maka nilai efisiensi sampel B lebih dari pada sampel A. Kesamaan profil J-V antara sampel A dan sampel B kemungkinan dikarenakan nilai konsentrasi dopan NH<sub>3</sub> yang begitu kecil sehingga fraksi atom nitrogen yang terdoping ke material TiO<sub>2</sub> sangat kecil sehingga sifat fisis material TiO<sub>2</sub> masih sama dengan sampel A. Hal ini juga terlihat dari hasil pengukuran UV-vis yang memperlihatkan bahwa sampel B nilai absorbansinya turun drastis di panjang gelombang 300 nm yang masih merupakan perbatasan antara panjang gelombang ultraviolet dan cahaya tampak. Sampel C dan sampel D mulai menampakkan pengaruh akibat doping nitogen pada material TiO<sub>2</sub>. Nilai tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) dan rapat arus *short circuit* ( $J_{sc}$ ) berada di atas sampel A. Begitu juga dengan nilai efisiensi sampel C dan D yang

jauh lebih tinggi daripada sampel A. Jadi secara umum DSSC dengan menggunakan fotoanode TiO<sub>2</sub> terdoping nitrogen memiliki performa yang lebih baik dibanding hanya menggunakan fotoanode TiO<sub>2</sub>.

Dari semua sampel yang menggunakan fotoanoda TiO<sub>2</sub> terdoping nitrogen, sampel D dengan perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 7,5% memiliki efisiensi yang paling tinggi diantara yang lainnya. Namun nilai *fill factor* sampel D lebih kecil daripada sampel C. *Fill factor* adalah faktor pengisian dari sel surya yang merupakan perbandingan antara daya maksimum yang dihasilkan sel surya dengan hasil kali antara  $V_{oc}$  dan  $J_{sc}$  sel surya tersebut. *Fill factor* merupakan ukuran kuantitatif kualitas sistem sel surya, sehingga semakin besar harga fill factor maka kinerja sel surya akan semakin baik, dan akan memiliki efisiensi konversi energi yang semakin tinggi. Maddu dalam tulisannya menyatakan bahwa salah satu yang mempengaruhi nilai *Fill factor* adalah kualitas larutan elektrolit (Maddu, 2012).

Ada beberapa faktor yang menyebabkan nilai *Fill factor* sampel D lebih kecil daripada sampel C salah satunya adalah saat merakit *sandwich* DSSC. Dalam perakitannya, terutama saat pemberian larutan elektrolit, kemungkinan masuknya gelembung udara ke dalam *sandwich* DSSC sangat besar. Hal ini mengakibatkan saat *sandwich* DSSC disegel, udara akan terjebak dan volume larutan elektrolit dalam masing-masing sampel tidak sama sehingga proses transfer elektron dalam masing-masing *sandwich* DSSC (Maddu, 2012). Selain hal tersebut faktor lain yang mempengaruhi kemungkinan adalah nilai absorbansi dari kedua material fotoanode yang di pakai. Pada data uji UV-Vis menunjukkan bahwa nilai absorbansi sampel D lebih kecil daripada sampel C saat berada di daerah cahaya tampak. Hal ini kemungkinan menyebabkan nilai *fill factor* sampel D lebih kecil dari pada sampel C.

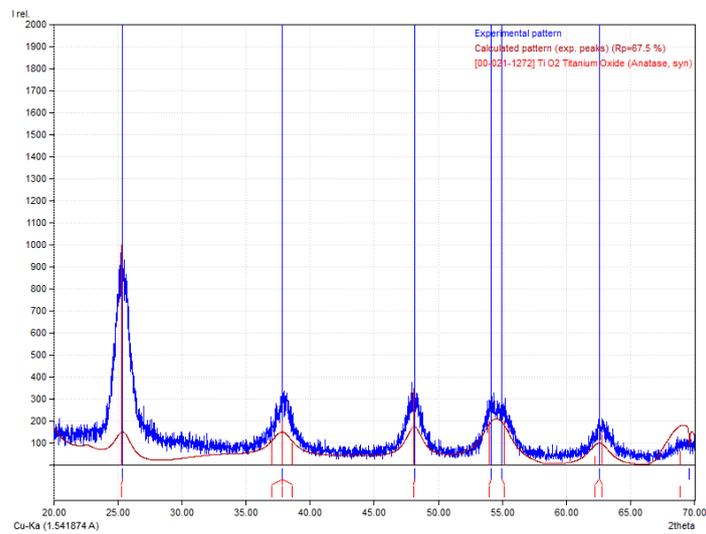
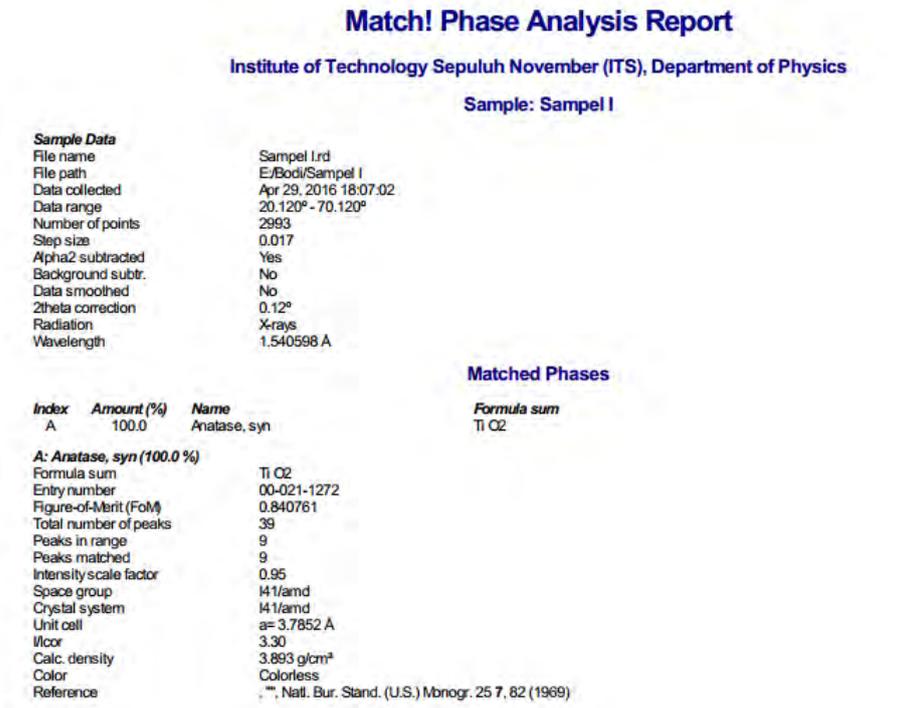
Secara umum modul DSSC dengan menggunakan fotoanoda TiO<sub>2</sub> terdoping nitrogen memiliki efisiensi optimum sebesar 0,179% dengan *fill factor* 0,54. Tentu nilai efisiensi ini masih sangat kecil untuk diaplikasikan ataupun dibandingkan dengan sel surya konvensional yang efisiensinya mampu mencapai 20%. Namun dengan kelebihan berupa kemudahan merakit serta bahan yang digunakan tidak beracun menjadikan DSSC layak untuk diteliti dan dikembangkan lebih lanjut dalam berbagai komponen mulai dari optimasi di bidang fotoanoda, elektroda

pembanding, elektrolit, *dye*, maupun dalam hal *packaging* untuk mengoptimalkan efisiensi sebagai alternatif solar sel yang murah dan ramah lingkungan.

# LAMPIRAN A

## Olah Data XRD Dengan Perangkat Lunak Match! Dan MAUD

### 1. Sampel TiO<sub>2</sub> tanpa penambahan NH<sub>3</sub>



Refined parameters:

0 default.par:Sample\_x:TiO2\_Sample-1:\_riet\_par\_background\_pol0 value:102.97234  
error:4.9302564  
1 default.par:Sample\_x:TiO2\_Sample-1:\_riet\_par\_background\_pol1 value:-3.7382927  
error:0.36041066  
2 default.par:Sample\_x:TiO2\_Sample-1:\_riet\_par\_background\_pol2 value:0.047862943  
error:0.008478328  
3 default.par:Sample\_x:TiO2\_Sample-1:\_riet\_par\_background\_pol3 value:-1.7743342E-4  
error:6.285233E-5  
4 default.par:Sample\_x:Anatasio:\_cell\_length\_a value:3.7775092 error:4.3496836E-4  
5 default.par:Sample\_x:Anatasio:\_cell\_length\_c value:9.474072 error:0.0020040246  
6 default.par:Sample\_x:Anatasio:Distributions:unknown:\_riet\_par\_distribution\_size\_variance  
value:0.1289843 error:0.032421913  
7 default.par:Sample\_x:Anatasio:Distributions:unknown:\_riet\_par\_distribution\_strain\_decay  
value:0.286239 error:0.23328522  
8 default.par:Sample\_x:Anatasio:Isotropic:\_riet\_par\_cryst\_size value:59.677567 error:1.4377397  
9 default.par:Sample\_x:Anatasio:Isotropic:\_riet\_par\_rs\_microstrain value:0.005617197  
error:7.7564974E-4  
10 default.par:Sample\_x:Anatasio:Atomic Structure:Ti:\_atom\_site\_B\_iso\_or\_equiv  
value:11.459024 error:0.2642836  
11 default.par:Sample\_x:Anatasio:Atomic Structure:O:\_atom\_site\_B\_iso\_or\_equiv value:-  
1.6462553 error:0.24909027

Refinement final output indices:

Global Rwp: 0.2000323  
Global Rp: 0.1525276  
Global Rwpb (no background): 0.20144624  
Global Rpb (no background): 0.15009366  
Total Energy: 0.0

Refinement final output indices for single samples:

Sample Sample\_x :  
Sample Rwp: 0.2000323  
Sample Rp: 0.1525276  
Sample Rwpb (no background): 0.20144624  
Sample Rpb (no background): 0.15009366

Refinement final output indices for single datasets:

DataSet TiO2\_Sample-1 :  
DataSet Rwp: 0.2000323  
DataSet Rp: 0.1525276  
DataSet Rwpb (no background): 0.20144624  
DataSet Rpb (no background): 0.15009366

Refinement final output indices for single spectra:

Datafile Sampel I.xy : Rwp: 0.2000323, Rp: 0.1525276, Rwpb: 0.20144624, Rpb: 0.15009366

## 2. Sampel TiO<sub>2</sub> dengan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 2%

### Match! Phase Analysis Report

Institute of Technology Sepuluh November (ITS), Department of Physics

Sample: Sampel II

#### Sample Data

File name	Sampel II.rtd
File path	E:/Bod/Sampel II
Data collected	Apr 29, 2016 18:07:02
Data range	20.040° - 70.040°
Number of points	2993
Step size	0.017
Alpha2 subtracted	Yes
Background subtr.	No
Data smoothed	No
2theta correction	0.04°
Radiation	Xrays
Wavelength	1.540598 Å

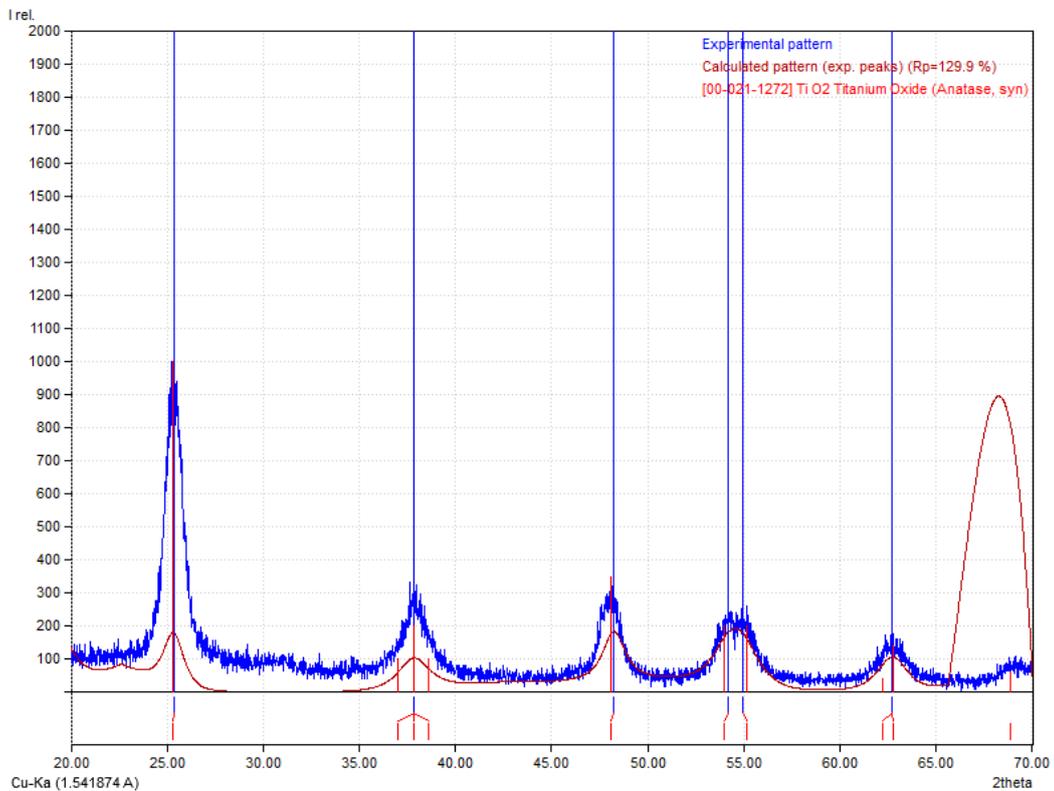
#### Matched Phases

Index	Amount (%)	Name
A	100.0	Anatase, syn

Formula sum
Ti O2

#### A: Anatase, syn (100.0 %)

Formula sum	Ti O2
Entry number	00-021-1272
Figure-of-Merit (FoM)	0.855147
Total number of peaks	39
Peaks in range	9
Peaks matched	9
Intensity scale factor	0.97
Space group	I41/amd
Crystal system	I41/amd
Unit cell	a= 3.7852 Å
Volume	3.30
Calc. density	3.893 g/cm <sup>3</sup>
Color	Colorless
Reference	„“, Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. 25 7, 82 (1969)



Refined parameters:

0 default.par:Sample\_x:TiO2\_Sample-2:\_riet\_par\_background\_pol0 value:111.12229  
error:4.342466  
1 default.par:Sample\_x:TiO2\_Sample-2:\_riet\_par\_background\_pol1 value:-4.3763804  
error:0.31505308  
2 default.par:Sample\_x:TiO2\_Sample-2:\_riet\_par\_background\_pol2 value:0.06529002  
error:0.0072714095  
3 default.par:Sample\_x:TiO2\_Sample-2:\_riet\_par\_background\_pol3 value:-3.314196E-4  
error:5.309478E-5  
4 default.par:Sample\_x:Anatase:\_cell\_length\_a value:3.7812855 error:3.0030197E-4  
5 default.par:Sample\_x:Anatase:\_cell\_length\_c value:9.488525 error:0.0014223456  
6 default.par:Sample\_x:Anatase:\_riet\_par\_phase\_scale\_factor value:0.94989014 error:0.011367737  
7 default.par:Sample\_x:Anatase:Distributions:unknown:\_riet\_par\_distribution\_size\_variance  
value:0.07376036 error:0.015035744  
8 default.par:Sample\_x:Anatase:Distributions:unknown:\_riet\_par\_distribution\_strain\_decay  
value:0.5404444 error:0.08948305  
9 default.par:Sample\_x:Anatase:Isotropic:\_riet\_par\_cryst\_size value:74.75828 error:1.5182676  
10 default.par:Sample\_x:Anatase:Isotropic:\_riet\_par\_rs\_microstrain value:0.0056209504  
error:3.3229485E-4  
11 default.par:Sample\_x:Anatase:Atomic Structure:Ti:\_atom\_site\_B\_iso\_or\_equiv value:4.120247  
error:0.12818304  
12 default.par:Sample\_x:Anatase:Atomic Structure:O:\_atom\_site\_B\_iso\_or\_equiv value:6.341718  
error:0.22329907

Refinement final output indices:

Global Rwp: 0.17517155  
Global Rp: 0.13198367  
Global Rwpb (no background): 0.17392078  
Global Rpb (no background): 0.12213535  
Total Energy: 0.0

Refinement final output indices for single samples:

Sample Sample\_x :  
Sample Rwp: 0.17517155  
Sample Rp: 0.13198367  
Sample Rwpb (no background): 0.17392078  
Sample Rpb (no background): 0.12213535

Refinement final output indices for single datasets:

DataSet TiO2\_Sample-2 :  
DataSet Rwp: 0.17517155  
DataSet Rp: 0.13198367  
DataSet Rwpb (no background): 0.17392078  
DataSet Rpb (no background): 0.12213535

Refinement final output indices for single spectra:

Datafile Sampel II.xy : Rwp: 0.17517155, Rp: 0.13198367, Rwpb: 0.17392078, Rpb: 0.12213535

### 3. Sampel TiO<sub>2</sub> dengan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 5%

#### Match! Phase Analysis Report

Institute of Technology Sepuluh November (ITS), Department of Physics

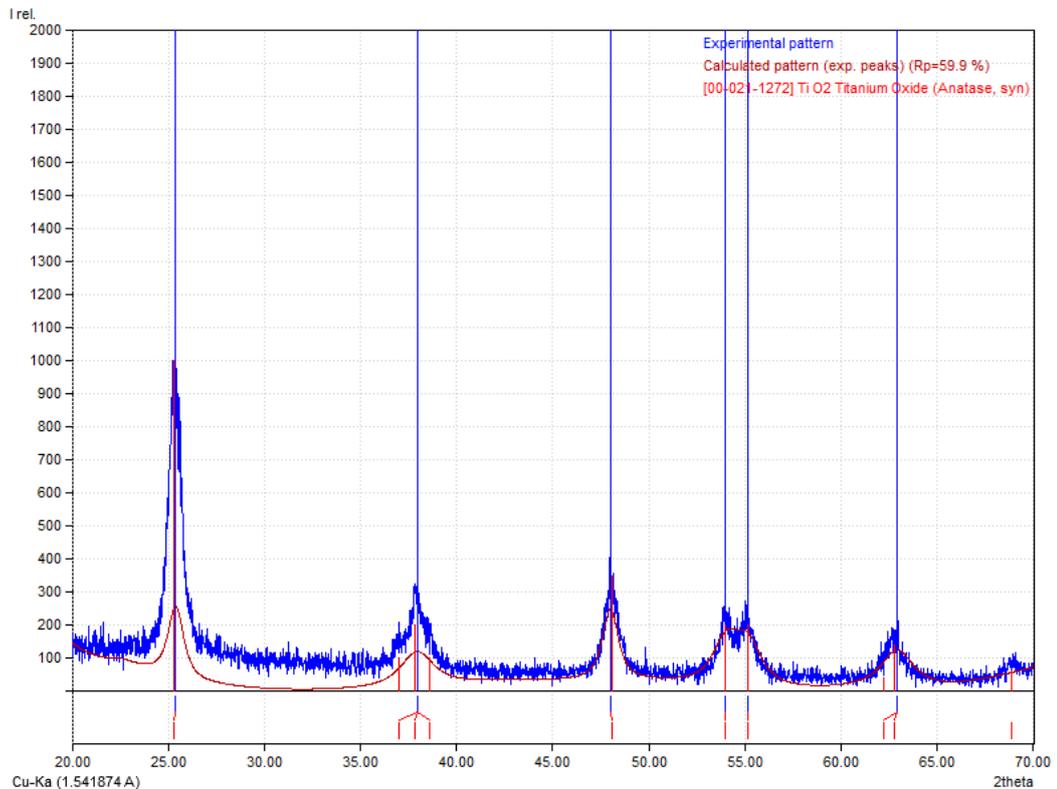
Sample: Sampel III

**Sample Data**  
 File name: Sampel III.rd  
 File path: E:/Bodi/Sampel III  
 Data collected: Apr 29, 2016 18:07:02  
 Data range: 20.010° - 70.010°  
 Number of points: 2993  
 Step size: 0.017  
 Alpha2 subtracted: Yes  
 Background subtr.: No  
 Data smoothed: No  
 2theta correction: 0.01°  
 Radiation: X-rays  
 Wavelength: 1.540598 Å

#### Matched Phases

Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	100.0	Anatase, syn	Ti O2

**A: Anatase, syn (100.0 %)**  
 Formula sum: Ti O2  
 Entry number: 00-021-1272  
 Figure-of-Merit (FoM): 0.849038  
 Total number of peaks: 39  
 Peaks in range: 9  
 Peaks matched: 9  
 Intensity scale factor: 0.93  
 Space group: I41/amd  
 Crystal system: I41/amd  
 Unit cell: a= 3.7852 Å  
 V/cor: 3.30  
 Calc. density: 3.893 g/cm<sup>3</sup>  
 Color: Colorless  
 Reference: J., Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. 25 7. 82 (1969)



Refined parameters:

0 default.par:Sample\_x:TiO2\_sample-3:\_riet\_par\_background\_pol0 value:81.750694  
error:4.4835234  
1 default.par:Sample\_x:TiO2\_sample-3:\_riet\_par\_background\_pol1 value:-2.4654095  
error:0.33338574  
2 default.par:Sample\_x:TiO2\_sample-3:\_riet\_par\_background\_pol2 value:0.025322756  
error:0.008303218  
3 default.par:Sample\_x:TiO2\_sample-3:\_riet\_par\_background\_pol3 value:-6.7019704E-5  
error:6.314486E-5  
4 default.par:Sample\_x:Anatase:\_cell\_length\_a value:3.7814906 error:2.957673E-4  
5 default.par:Sample\_x:Anatase:\_cell\_length\_c value:9.492029 error:0.0012722296  
6 default.par:Sample\_x:Anatase:\_riet\_par\_phase\_scale\_factor value:0.56601924 error:0.00913331  
7 default.par:Sample\_x:Anatase:Distributions:unknown:\_riet\_par\_distribution\_size\_variance  
value:0.13439786 error:0.029706348  
8 default.par:Sample\_x:Anatase:Distributions:unknown:\_riet\_par\_distribution\_strain\_decay  
value:0.7301726 error:0.19298157  
9 default.par:Sample\_x:Anatase:Isotropic:\_riet\_par\_cryst\_size value:99.79274 error:2.4435704  
10 default.par:Sample\_x:Anatase:Isotropic:\_riet\_par\_rs\_microstrain value:0.004090276  
error:9.189992E-4  
11 default.par:Sample\_x:Anatase:Atomic Structure:Ti:\_atom\_site\_B\_iso\_or\_equiv  
value:3.407973 error:0.70506847  
12 default.par:Sample\_x:Anatase:Atomic Structure:O:\_atom\_site\_B\_iso\_or\_equiv  
value:5.7174935 error:0.708205

Refinement final output indices:

Global Rwp: 0.19307232  
Global Rp: 0.14613913  
Global Rwpb (no background): 0.20137197  
Global Rpb (no background): 0.14405341  
Total Energy: 0.0

Refinement final output indices for single samples:

Sample Sample\_x :  
Sample Rwp: 0.19307232  
Sample Rp: 0.14613913  
Sample Rwpb (no background): 0.20137197  
Sample Rpb (no background): 0.14405341

Refinement final output indices for single datasets:

DataSet TiO2\_sample-3 :  
DataSet Rwp: 0.19307232  
DataSet Rp: 0.14613913  
DataSet Rwpb (no background): 0.20137197  
DataSet Rpb (no background): 0.14405341

Refinement final output indices for single spectra:

Datafile Sampel III.xy : Rwp: 0.19307232, Rp: 0.14613913, Rwpb: 0.20137197, Rpb: 0.14405341

#### 4. Sampel TiO<sub>2</sub> dengan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 7,5%

### Match! Phase Analysis Report

Institute of Technology Sepuluh November (ITS), Department of Physics

Sample: D TiO2 4Mar

#### Sample Data

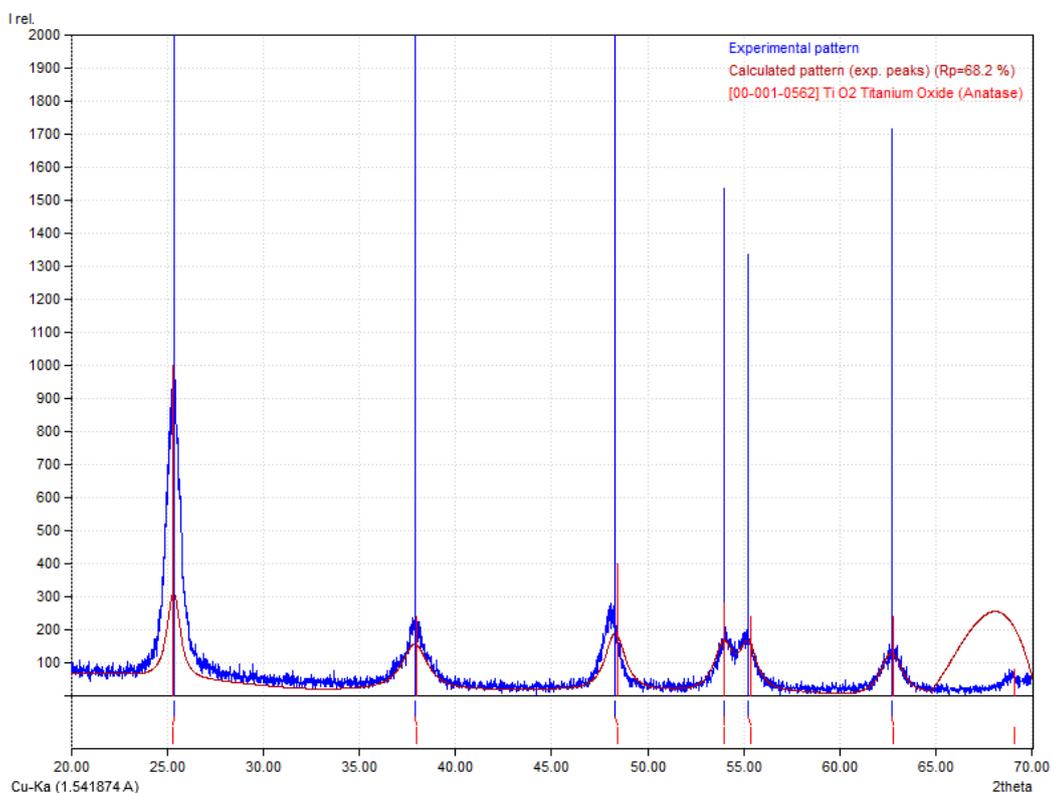
File name	D TiO2 4Mar.rd
File path	E:/Bodi/Sample IV
Data collected	Apr 30, 2016 12:53:39
Data range	20.060° - 70.060°
Number of points	2993
Step size	0.017
Alpha2 subtracted	Yes
Background subtr.	No
Data smoothed	No
2theta correction	0.06°
Radiation	X-rays
Wavelength	1.540598 Å

#### Matched Phases

Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	100.0	Anatase, syn	Ti O2

**A: Anatase, syn (100.0 %)**

Formula sum	Ti O2
Entry number	00-021-1272
Figure-of-Merit (FoM)	0.835977
Total number of peaks	39
Peaks in range	10
Peaks matched	10
Intensity scale factor	0.90
Space group	I41/amd
Crystal system	I41/amd
Unit cell	a= 3.7852 Å
V/cell	3.30
Calc. density	3.893 g/cm <sup>3</sup>
Color	Colorless
Reference	..., Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. 25 7, 82 (1969)



Refined parameters:

0 default.par:Sample\_x:TiO2\_Sample-4:\_riet\_par\_background\_pol0 value:96.3852 error:4.8426743  
1 default.par:Sample\_x:TiO2\_Sample-4:\_riet\_par\_background\_pol1 value:-3.5696282  
error:0.35531884  
2 default.par:Sample\_x:TiO2\_Sample-4:\_riet\_par\_background\_pol2 value:0.048693687  
error:0.008706848  
3 default.par:Sample\_x:TiO2\_Sample-4:\_riet\_par\_background\_pol3 value:-2.1365106E-4  
error:6.6271576E-5  
4 default.par:Sample\_x:Anatase:\_cell\_length\_a value:3.7825358 error:2.1217384E-4  
5 default.par:Sample\_x:Anatase:\_cell\_length\_c value:9.494743 error:9.4873604E-4  
6 default.par:Sample\_x:Anatase:\_riet\_par\_phase\_scale\_factor value:1.2645035 error:0.014191871  
7 default.par:Sample\_x:Anatase:Distributions:unknown:\_riet\_par\_distribution\_size\_variance  
value:0.22938305 error:0.025748638  
8 default.par:Sample\_x:Anatase:Distributions:unknown:\_riet\_par\_distribution\_strain\_decay  
value:0.09852213 error:1.168645  
9 default.par:Sample\_x:Anatase:Isotropic:\_riet\_par\_cryst\_size value:92.673485 error:1.6183641  
10 default.par:Sample\_x:Anatase:Isotropic:\_riet\_par\_rs\_microstrain value:0.002253957  
error:0.0018978589  
11 default.par:Sample\_x:Anatase:Atomic Structure:Ti:\_atom\_site\_B\_iso\_or\_equiv value:5.4099655  
error:0.41356963  
12 default.par:Sample\_x:Anatase:Atomic Structure:O:\_atom\_site\_B\_iso\_or\_equiv value:7.17517  
error:0.4243832

Refinement final output indices:

Global Rwp: 0.17649822  
Global Rp: 0.13192485  
Global Rwpb (no background): 0.17156994  
Global Rpb (no background): 0.121942945  
Total Energy: 0.0

Refinement final output indices for single samples:

Sample Sample\_x :  
Sample Rwp: 0.17649822  
Sample Rp: 0.13192485  
Sample Rwpb (no background): 0.17156994  
Sample Rpb (no background): 0.121942945

Refinement final output indices for single datasets:

DataSet TiO2\_Sample-4 :  
DataSet Rwp: 0.17649822  
DataSet Rp: 0.13192485  
DataSet Rwpb (no background): 0.17156994  
DataSet Rpb (no background): 0.121942945

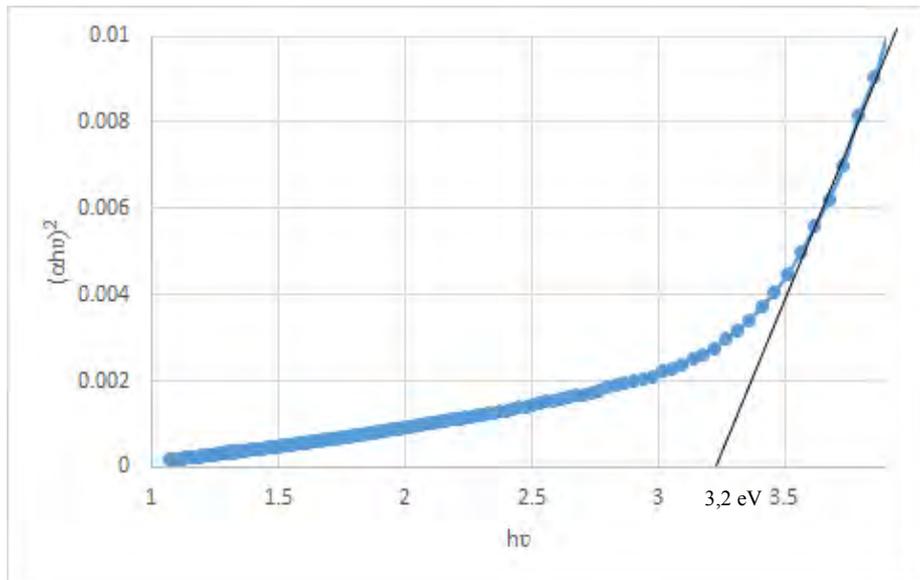
Refinement final output indices for single spectra:

Datafile D TiO2 4Mar.xy : Rwp: 0.17649822, Rp: 0.13192485, Rwpb: 0.17156994, Rpb:  
0.121942945

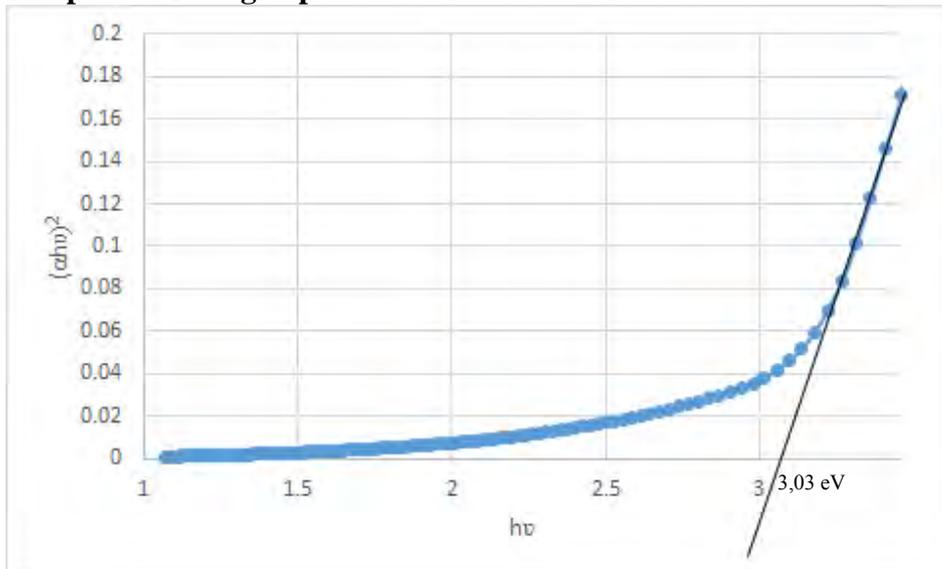
## LAMPIRAN B

### Olah Data Energi Gap Sampel TiO<sub>2</sub>

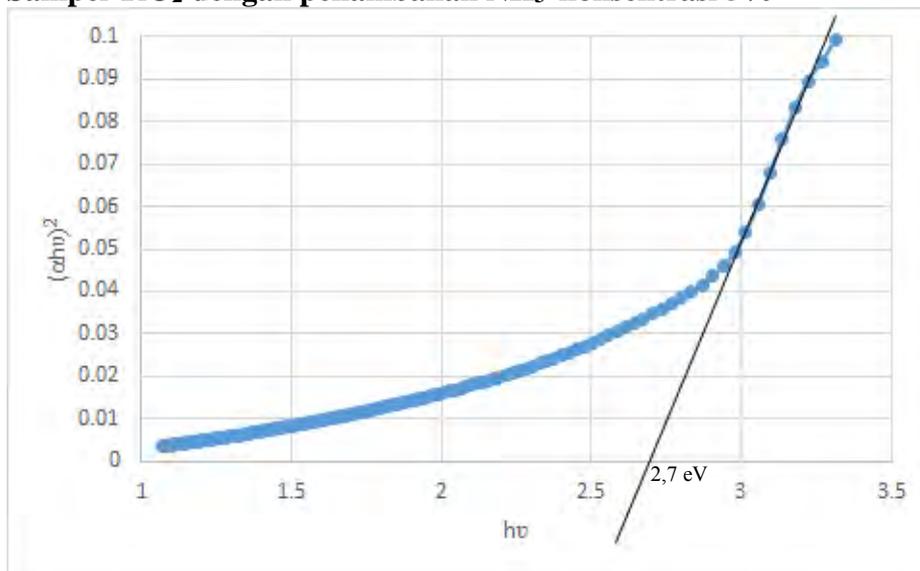
#### 1. Sampel TiO<sub>2</sub> tanpa penambahan NH<sub>3</sub>



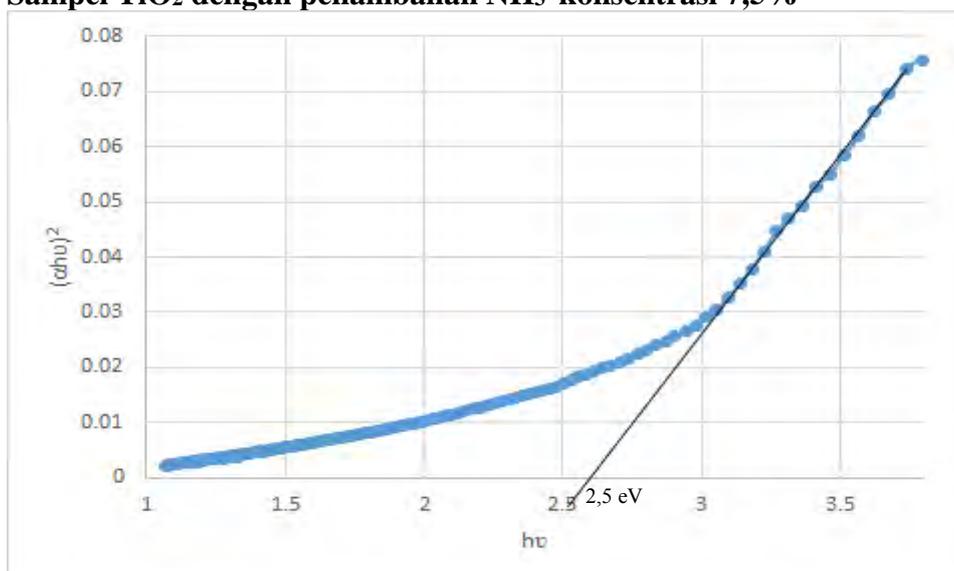
#### 2. Sampel TiO<sub>2</sub> dengan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 2%



**3. Sampel TiO<sub>2</sub> dengan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 5%**



**4. Sampel TiO<sub>2</sub> dengan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 7,5%**



## LAMPIRAN C

### Olah Data Karakteristik Arus, Tegaangan dan Efisiensi DSSC Perbandingan Elektroda Kerja

#### 1. Fotoanoda Tio<sub>2</sub> tanpa penambahan NH<sub>3</sub>

V (Volt)	I (Ampere)	J (mA/cm <sup>2</sup> )	P (mW/cm <sup>2</sup> )
0.000981	0.000307531	0.307531236	0.000301662
0.010707	0.000293179	0.29317946	0.003139166
0.020684	0.000279511	0.2795111	0.005781281
0.030876	0.000282245	0.282244772	0.00871467
0.040936	0.000282245	0.282244772	0.011553911
0.050929	0.000277461	0.277460848	0.01413071
0.060422	0.000280195	0.280194516	0.016929885
0.070648	0.000278144	0.278144264	0.019650322
0.080757	0.000265159	0.265159324	0.021413581
0.090717	0.000263109	0.263109068	0.023868461
0.100727	0.000261742	0.261742232	0.026364383
0.110436	0.000265843	0.26584274	0.029358679
0.120629	0.000261742	0.261742232	0.031573704
0.130705	0.000252858	0.2528578	0.033049818
0.140748	0.000246707	0.24670704	0.034723522
0.150541	0.000244657	0.244656784	0.036830881
0.160534	0.000256958	0.256958308	0.041250518
0.17066	0.000251491	0.251490964	0.042919451
0.180736	0.000235772	0.235772352	0.04261259
0.190679	0.000230305	0.230305008	0.043914346
0.200722	0.000233039	0.23303868	0.046775971
0.210781	0.000243973	0.243973368	0.051425052
0.220608	0.000227571	0.227571336	0.050203999
0.230551	0.00021322	0.21321956	0.04915791
0.24076	0.000213903	0.21390298	0.051499291
<b>0.250853</b>	<b>0.000206385</b>	<b>0.20638538</b>	<b>0.051772361</b>
0.260879	0.000207752	0.207752216	0.054198198
0.270589	0.000196134	0.196134112	0.05307169
0.280632	0.0001893	0.189299932	0.053123547
0.290458	0.000182466	0.182465752	0.052998628
0.300651	0.000176998	0.176998412	0.053214693
0.31081	0.000169481	0.169480812	0.052676349
0.320453	0.000170848	0.170847648	0.054748681
0.330363	0.000164697	0.164696888	0.05440973
0.340539	0.000148978	0.148978276	0.050732899

0.350632	0.000135993	0.135993336	0.047683576
0.360391	0.000134627	0.1346265	0.048518235
0.370401	0.00013326	0.133259664	0.049359506
0.380627	0.000123008	0.123008392	0.046820314
0.390503	0.000103189	0.103189272	0.040295749
0.400579	9.84053E-05	0.098405348	0.039419158
0.410589	8.33702E-05	0.083370152	0.034230863
0.421015	9.2938E-05	0.092938004	0.03912828
0.430825	6.8335E-05	0.06833496	0.029440376
0.440701	5.19329E-05	0.051932928	0.022886883
0.450894	4.30485E-05	0.043048496	0.019410289
0.460836	3.55309E-05	0.0355309	0.016373934
0.470979	2.93801E-05	0.029380136	0.013837433
0.480689	5.46051E-06	0.005460508	0.002624806

$$V_{MPP} = 0.250853 \text{ volt}$$

$$J_{MPP} = 0.20638538 \text{ mA/cm}^2$$

$$V_{oc} = 0.480689 \text{ volt}$$

$$J_{sc} = 0.307531236 \text{ mA/cm}^2$$

$$FF = 0.36$$

$$\eta = 0,055 \%$$

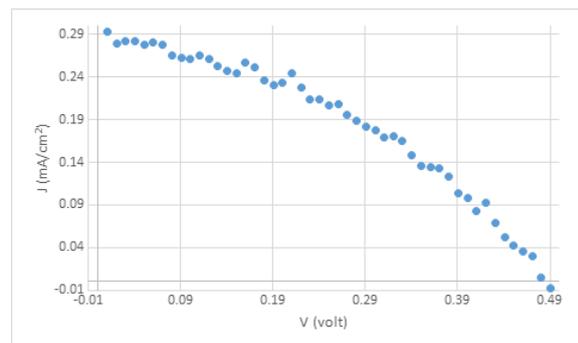
### Perhitungan dengan menggunakan rumus

$$J = \frac{I \times 1000}{A}$$

$$FF = \frac{V_{MPP} I_{MPP}}{V_{oc} I_{sc}}$$

$$P_{max} = V_{oc} I_{sc} FF$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \times 100\%$$



**2. Fotoanoda Tio<sub>2</sub> dengan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 2%**

<b>V (Volt)</b>	<b>I (Ampere)</b>	<b>J (mA/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>P (mW/cm<sup>2</sup>)</b>
0.001157	0.00029523	0.295229712	0.000341614
0.013029	0.000283612	0.283611608	0.003695078
0.02486	0.000293863	0.293862876	0.007305498
0.036952	0.000285662	0.28566186	0.010555666
0.049083	0.000287712	0.287712116	0.014121765
0.061054	0.000280878	0.280877936	0.017148845
0.072946	0.000279511	0.2795111	0.020389208
0.085117	0.000274044	0.274043756	0.023325863
0.097089	0.00027336	0.27336034	0.026540218
0.10904	0.00027131	0.271310084	0.029583719
0.120672	0.000276094	0.276094012	0.033316806
0.133063	0.000276777	0.276777428	0.036828871
0.144995	0.000263109	0.263109068	0.038149402
0.157166	0.000257642	0.257641728	0.040492509
0.168818	0.00026721	0.267209576	0.045109693
0.180769	0.000265843	0.26584274	0.048056162
0.192881	0.00027131	0.271310084	0.052330426
0.204992	0.000250808	0.250807548	0.051413509
0.217183	0.000243973	0.243973368	0.052986913
0.228915	0.000252174	0.252174384	0.057726454
0.241026	0.000248757	0.248757292	0.059957022
0.252898	0.000236456	0.236455772	0.059799127
0.265029	0.000231672	0.231671844	0.061399776
0.276961	0.000234406	0.234405516	0.064921086
0.288752	0.000226205	0.2262045	0.06531704
<b>0.301003</b>	<b>0.000231672</b>	<b>0.231671844</b>	<b>0.069734021</b>
0.312815	0.000209119	0.209119052	0.065415579
0.324806	0.000206385	0.20638538	0.067035306
0.336798	0.000203652	0.203651708	0.068589471
0.348949	0.000192034	0.192033604	0.067009983
0.360901	0.000189983	0.189983352	0.068565131
0.372572	0.000184516	0.184516008	0.068745574
0.384744	0.000176998	0.176998412	0.06809903
0.396855	0.00015923	0.159229544	0.063191056
0.409066	0.000138727	0.138727008	0.056748556
0.420698	0.000140094	0.14009384	0.058937212
<b>0.43251</b>	<b>0.000131893</b>	<b>0.131892828</b>	<b>0.057044924</b>
0.444841	0.000116174	0.116174216	0.05167904
0.456852	8.33702E-05	0.083370152	0.038087847

0.469064	6.15008E-05	0.06150078	0.028847778
0.480615	4.85158E-05	0.04851584	0.023317458
0.492687	2.39128E-05	0.023912792	0.011781516

$$V_{MPP} = 0.301003 \text{ volt}$$

$$J_{MPP} = 0.231671844 \text{ mA/cm}^2$$

$$V_{oc} = 0.492687 \text{ volt}$$

$$J_{sc} = 0.295229712 \text{ mA/cm}^2$$

$$FF = 0.48$$

$$\eta = 0,070 \%$$

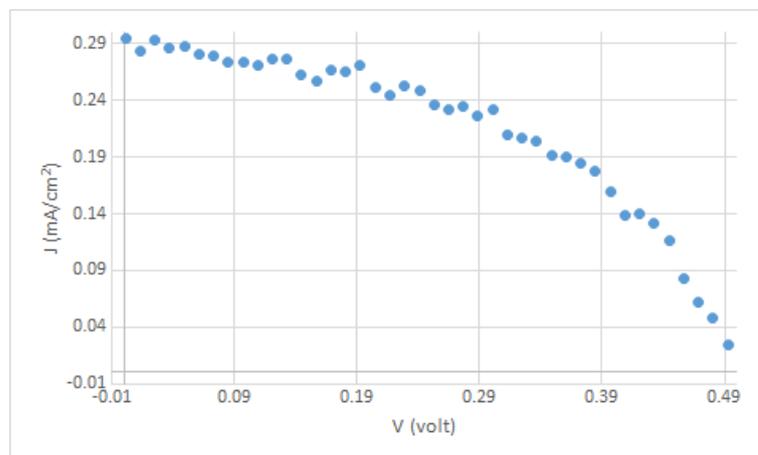
### Perhitungan dengan menggunakan rumus

$$J = \frac{I \times 1000}{A}$$

$$FF = \frac{V_{MPP} I_{MPP}}{V_{oc} I_{sc}}$$

$$P_{max} = V_{oc} I_{sc} FF$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \times 100\%$$



### 3. Fotoanoda Tio<sub>2</sub> dengan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 5%

V (Volt)	I (Ampere)	J (mA/cm <sup>2</sup> )	P (mW/cm <sup>2</sup> )
0.001446	0.000645762	0.645761612	0.000934023
0.016286	0.000642345	0.64234452	0.010461107
0.031075	0.000676515	0.67651542	0.021022908
0.04619	0.000685058	0.68505814	0.031642503
0.061354	0.000638927	0.63892742	0.039200569
0.076318	0.000609882	0.60988216	0.046545017
0.091182	0.000640636	0.640635972	0.058414764
0.106397	0.000666264	0.66626414	0.070888252
0.121361	0.000613299	0.613299252	0.074430584
0.1363	0.000558626	0.55862582	0.076140874
0.15084	0.00056546	0.56546	0.085293959
0.166329	0.000592797	0.592796712	0.098599234
0.181243	0.000582545	0.58254544	0.10558245
0.196457	0.000529581	0.529580552	0.104040042
0.211022	0.000505661	0.50566092	0.106705612
0.225961	0.000498827	0.49882674	0.112715598
0.241101	0.000474907	0.474907112	0.114500404
0.25624	0.000490284	0.49028402	0.125630299
0.271479	0.000526163	0.526163472	0.142842322
0.286144	0.000512495	0.512495112	0.146647159
0.301283	0.00045953	0.45953022	0.138448522
0.316122	0.000421942	0.421942232	0.133385289
0.331286	0.000415108	0.41510804	0.137519627
0.346201	0.00044757	0.447570392	0.154949191
<b>0.36094</b>	<b>0.000468073</b>	<b>0.46807294</b>	<b>0.168946346</b>
0.376254	0.000415108	0.41510806	0.15618619
0.391019	0.000333098	0.3330979	0.130247531
0.406008	0.000310887	0.310886812	0.126222559
0.420997	0.000338224	0.338223532	0.142391226
0.436187	0.000292093	0.29209282	0.127406965
0.451126	0.000216917	0.216916852	0.097856814
0.465716	0.000186163	0.186163052	0.086699021
0.48093	0.000169078	0.169077612	0.081314439
0.496069	0.000122947	0.1229469	0.06099013
0.511333	2.21428E-05	0.022142752	0.01132232

$$V_{MPP} = 0.36094 \text{ volt}$$

$$J_{MPP} = 0.46807294 \text{ mA/cm}^2$$

$$V_{oc} = 0.511333 \text{ volt}$$

$$J_{sc} = 0.645761612 \text{ mA/cm}^2$$

$$FF = 0.52$$

$$\eta = 0,169 \%$$

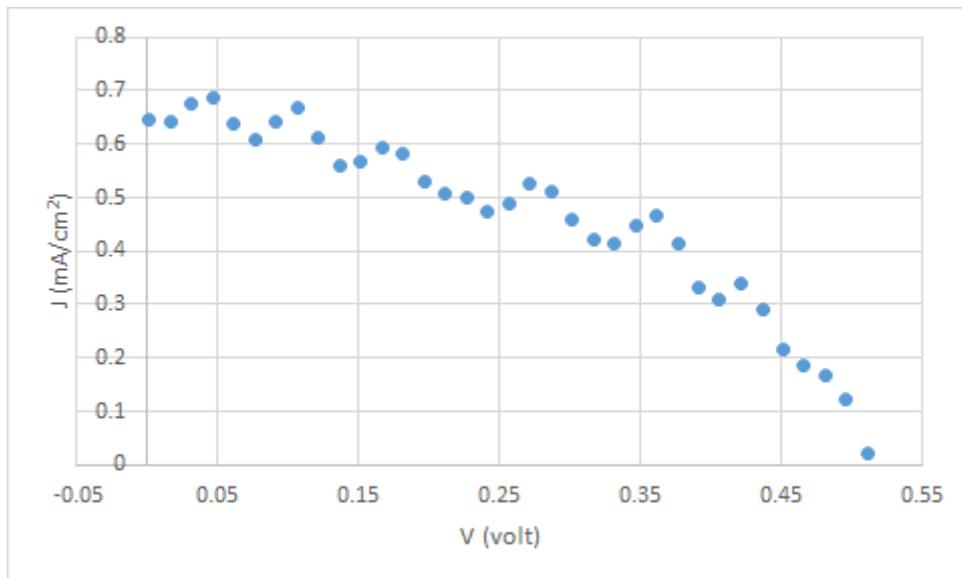
**Perhitungan dengan menggunakan rumus**

$$J = \frac{I \times 1000}{A}$$

$$FF = \frac{V_{MPP} I_{MPP}}{V_{oc} I_{sc}}$$

$$P_{max} = V_{oc} I_{sc} FF$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \times 100\%$$



#### 4. Fotoanoda TiO<sub>2</sub> dengan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 7,5%

V (Volt)	I (Ampere)	J (mA/cm <sup>2</sup> )	P (mW/cm <sup>2</sup> )
0.001649	0.000784188	0.784188	0.001293035
0.018566	0.000770652	0.770652	0.014307796
0.035426	0.000764072	0.764072	0.027067879
0.052656	0.000759952	0.759952	0.040016069
0.069943	0.00074464	0.74464	0.052082528
0.087003	0.000719156	0.719156	0.062568425
0.103948	0.000699216	0.699216	0.072682107
0.121292	0.000690708	0.690708	0.083777456
0.138351	0.000681516	0.681516	0.094288755
0.155382	0.000660708	0.660708	0.102662366
0.171958	0.000632548	0.632548	0.108771402
0.189615	0.000608252	0.608252	0.115333681
0.206617	0.000595132	0.595132	0.122964595
0.223961	0.000594588	0.594588	0.133164813
0.240565	0.000599504	0.599504	0.144219773
0.257596	0.000595228	0.595228	0.153328363
0.274855	0.000573668	0.573668	0.157675357
0.292113	0.00054474	0.54474	0.159125863
0.309486	0.000526416	0.526416	0.162918401
0.326204	0.000523612	0.523612	0.17080413
0.343462	0.000520668	0.520668	0.178829838
<b>0.360379</b>	<b>0.000498256</b>	<b>0.498256</b>	<b>0.179561129</b>
0.377666	0.00045706	0.45706	0.172616223
0.394669	0.000415736	0.415736	0.164078036
0.411472	0.000383684	0.383684	0.157875162
<b>0.42893</b>	<b>0.000350288</b>	<b>0.350288</b>	<b>0.150248995</b>
0.445761	0.000306032	0.306032	0.136417252
0.462849	0.00025644	0.25644	0.118693053
0.479937	0.000206512	0.206512	0.099112756
0.497253	0.000146832	0.146832	0.073012606
0.514284	0.000064788	0.064788	0.033319402

$$V_{MPP} = 0.360379 \text{ volt}$$

$$J_{MPP} = 0.000498256 \text{ mA/cm}^2$$

$$V_{oc} = 0.514284 \text{ volt}$$

$$J_{sc} = 0.784188 \text{ mA/cm}^2$$

$$FF = 0.45$$

$$\eta = 0,179 \%$$

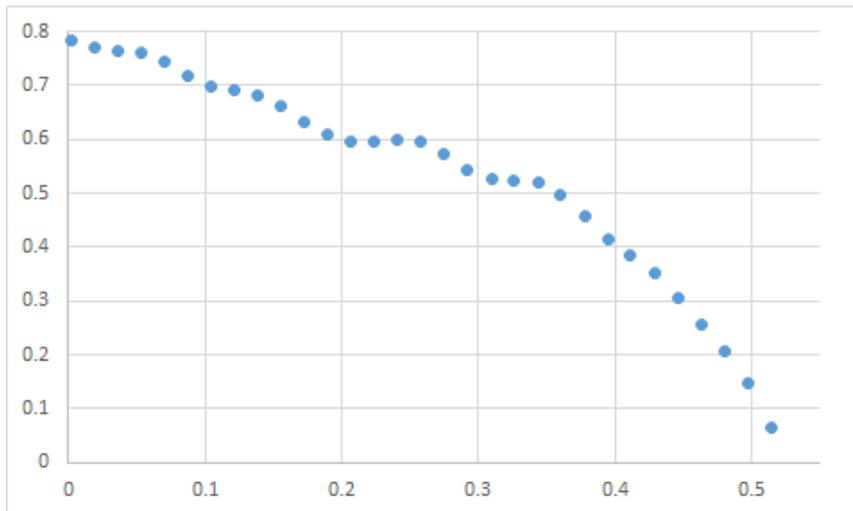
**Perhitungan dengan menggunakan rumus**

$$J = \frac{I \times 1000}{A}$$

$$FF = \frac{V_{MPP} I_{MPP}}{V_{oc} I_{sc}}$$

$$P_{max} = V_{oc} I_{sc} FF$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \times 100\%$$



## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa TiO<sub>2</sub> berhasil disintesis menggunakan metode kopresipitasi dengan menggunakan perkursor TiCl<sub>3</sub> dan H<sub>3</sub> sebagai sumber dopan nitrogen. Doping nitrogen pada material TiO<sub>2</sub> mampu menggeser daya absorbansi TiO<sub>2</sub> dari sinar ultraviolet menjadi ke cahaya tampak serta mampu mempersempit band gap TiO<sub>2</sub>. Selanjutnya, fotoanode berbahan TiO<sub>2</sub> terdoping nitrogen mampu meningkatkan performa DSSC, hal ini terlihat dari nilai efisiensi yang dihasilkan dari masing-masing sampel. Pada TiO<sub>2</sub> tanpa perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> nilai efisiensinya adalah 0,055%, sementara itu pada TiO<sub>2</sub> dengan perlakuan penambahan NH<sub>3</sub> konsentrasi 2, 5 dan 7,5% menghasilkan nilai efisiensi berturut-turut sebesar 0,070 %, 0,169 % dan 0,179 %

#### **5.2 Saran**

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh TiO<sub>2</sub> terdoping nitrogen dengan menggunakan sumber dopan yang lainnya. Untuk bagian elektroda lawan, jika menggunakan *black carbon* akan lebih baik jika ditambahkan *Metyl Selulose* sebagai pengikat karena daya ikat *black carbon* terhadap kaca ITO sangat lemah sehingga mudah terkelupas saat perakitan *sandwich* DSSC.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ananth, S., P. Vivek, T. Arumanayagam, and P. Murugakoothan. (2014). “*Natural Dye Extract of Lawsonia Inermis Seed as Photo Sensitizer for Titanium Dioxide Based Dye Sensitized Solar Cells.*” *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 128 420–26.
- Bang S.Y et al. (2012). “*Evaluation Of Dye Aggregation And Effect Of Deoxycholic Acid Concentration On Photovoltaic Performance Of N749-Sensitized Solar Cell*”. Solar Cell Center, Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul, South Korea
- Brabec. C. J., Sariciftci. N. S., Hummelen J. C. (2001). “*Plastic Solar Cells*” *Adv. Funct. Mater*, 11, 15-26.
- Chiba, Y., Islam, A., Watanabe, Y., Komiya, R., Koide, N., Han, L. (2006), “*Dye-Sensitized Solar Cells with Conversion Efficiency of 11.1%*”, *Japanese Journal of Applied Physics*, 45(25), L638–L640.
- Durr, M., Schmid, A., Obermaier, M., Rosselli, S., Yasuda, A., Nelles G. (2005), “*Low-temperature fabrication of dye-sensitized solar cells by transfer of composite porous layers*”, *Nature Mater*, 4, 607–611.
- EPA, 2013, “*Getting to the Core: The Link Between Temperature and Carbon Dioxide*”, United State Enviromental Protection Agency.
- Fan Dong., Weirong Zhao., Zhongbiao Wu. (2008). “*Characterization and photocatalytic activities of C, N and S co-doped TiO<sub>2</sub> with 1D nanostructure prepared by the nano-confinement effect*”, *Nanotechnology*, 19, 365607.
- Green, Martin. A. (1982), “*Solar Cells Operating Principles Technology and System Application*”, Prentice Hall, Inc, Evylewood Cliffs.

- Guidong Yang., Zheng Jiang., Huahong Shi., Tiancun Xiao., Zifeng Yan. (2010), “*Preparation of highly visible-light active N-doped TiO<sub>2</sub> photocatalyst*”, J. Mater. Chem., , 20, 5301–5309
- Halme, Janne. (2002), “*Dye-Sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cells : Technical review and Preliminary Test*”, Master’s thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Technology, Helsinki University Of Technology.
- Hiroshi Irie., Yuka Watanabe., and Kazuhito Hashimoto. (2003). “*Nitrogen-Concentration Dependence on Photocatalytic Activity of TiO<sub>2-x</sub>N<sub>x</sub> Powders*”, J. Phys. Chem. B, 107 (23), 5483–5486
- Ito, S., Murakami, T. N., Comte, P., Liska, P., Grätzel, C., Nazeeruddin, K., Grätzel, M. (2008), “*Fabrication of thin film dye sensitized solar cells with solar to electric power conversion efficiency over 10%*”, Thin Solid Films, 516(14), 4613–4619.
- Ju-Young Park, Changhoon Lee, Kwang-Woo Jung, and Dongwoon Jung. (2009). “*Structure Related Photocatalytic Properties of TiO<sub>2</sub>*”, Bull. Korean Chem. Soc. Vol. 30, No. 2
- Kook, Lee Jin, Jeong Bo-Hwa, Jang Sung-il, Kim Young-Guen, Jang YongWook, Lee Su-Bin, Kim Mi-Ra. (2009), “*Preparations of TiO<sub>2</sub> pastes and its application to light-scattering layer for dye-sensitized solar cells*”, Journal of Industrial and Engineering Chemistry 15 724-729
- Li B, Wang L, Kang B, Wang P & Qiu Y. (2006), “*Review of Recent Progress in Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells*”. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 90:549-573.

- Maddu, A., Zyhri, M., Irmasyah. (2010), “*Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosensitizer Pada Sel Surya TiO<sub>2</sub> Nanokristal Tersensitisasi Dye*”, MST 11.
- Maddu, A., Zyhri, M., Irmasyah. (2012), “*The Use Of Polymer Gel Electrolyte Containing I<sup>-</sup>/I<sub>3</sub><sup>-</sup> Redox Couple To Assembly A Solid State Dye Sensitized TiO<sub>2</sub> Solar Cell*”, LIPI Nomor 536/D.
- Mukhtar, E. (2012) “*Analisis Sifat Optik Lapisan Tipis TiO<sub>2</sub> Doping Nitrogen yang Disiapkan dengan Metode Spin Coating*”, Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVI HFI.
- Nazeeruddin, M. K., Baranoff, E., Grätzel, M. (2011), “*Dye-sensitized solar cells: A brief overview*”, *Solar Energy*, 85(6), 1172–1178.
- O’Regan B., Gratzel, M. (1991), “*A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films*”, *Nature*, 353, 737—740.
- Pitts, J. R., Gregg, B. A. (2000), “*Low-Temperature Sintering of TiO<sub>2</sub> Colloids: Application to Flexible Dye-Sensitized*”, *Langmuir*, 16(8), 5626– 5630
- Puspitasari, Nurrisma. (2012). “*Studi Awal Pembuatan Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstraksi Rosela (Hibiscus Sabdariffa) sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Luas Permukaan Lapisan TiO<sub>2</sub>*”. ITS. Surabaya.
- R. Asahi, T. Morikawa, T. Ohwaki, K. Aoki and Y. Taga. (2001), “*Visible-Light Photocatalysis in Nitrogen-Doped Titanium Oxides*”, *Science*, 293, 269.
- REN21. 2010. *Renewables 2010 Global Status Report*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. Paris.

- Santoso, H. 2015. “*Peningkatan Kinerja Dye-Sensitized Solar Cells menggunakan Metode Ultrasonikasi*” ITS. Surabaya.
- Smestad, G.P. Gratzel, M. (1998), *Demonstrating Eletron and Nanotechnology*, J. Chem.Educ, 75 (6), hal 1-6
- Stern, David I. 2004. *Econimic Growth and Energy*. Encyclopedia of Energy , Volume 2. Elsevier.
- Taylor, P., Jena, A., Mohanty, S. P., Kumar, P., Naduvath, J., Lekha, P., Gondane, V. (2012), “*Dye Sensitized Solar Cells : A Review Dye Sensitized Solar Cells*”, Transactions of the Indian Ceramic Society, 71, 37–41
- Widyastuti, E.S. Siradj, D. Priadi, A. Zulfia. (2008) “*Kompaktibilitas Komposit Isotropik Al/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan Variabel Waktu Tahan Sinter*”, Makara, Sains. Vol. 12 113-119
- Zhang, H., Jillian F. Banfield. (2005). “*Size dependence of the kinetic rate constant for phase transformation in TiO<sub>2</sub> nanoparticles*” American Chemical Society, 17, 3421-3425.
- Zheng, Y., Shi, E., Chi, S.;Li, W., Hu, X. J. (2000), “*Hydrothermal Preparation of Nanosized Brookite Powders*”. Am. Ceram. Soc, 83, 2634.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIOGRAFI PENULIS



Bodi Gunawan, lahir di kota Bondowoso pada tanggal 26 September 1988, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara pasangan Alm. Supardi dan Lilik Syafa'atun Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Kejayan 1, SMPN 1 Pujer, SMAN 1 Tenggarang, S1 Pendidikan Fisika Universitas Jember dan

Pascasarjana S2 Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember angkatan 2014 dengan NRP 1114201011. Di Jurusan Fisika, penulis mengambil bidang minat instrumentasi. Selama menjadi mahasiswa S2 Fisika ITS, penulis mengikuti publikasi artikel ilmiah dalam seminar *International Conference on Engineering, Science and Nanotechnology (ICESNANO)* dan kegiatan ini diselenggarakan oleh kolaborasi Universitas Sebelas Maret (UNS) Indonesia dan Universiti Tun Hussein Onn (UTHM) Malaysia. Akhir kata apabila ada kritik dan saran, dapat dikirim ke email: [mail4bodi@gmail.com](mailto:mail4bodi@gmail.com)