

## EXECUTIVE SUMMARY

### HIBAH PENELITIAN KERJASAMA ANTAR PERGURUAN TINGGI (HIBAH PEKERTI)



**Sintesis dan karakterisasi core-shell ZnO/TiO<sub>2</sub> sebagai  
Material fotoanoda Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)**

Oleh:

**TPP :**

**Tanti Haryati, SSi, MSi (Ketua Peneliti)/NIDN : 0029108001**

**Tri Mulyono, SSi, MSi (Anggota)/NIDN : 0002106809**

**TPM :**

**Dr. Bambang Prijamboedi, M.Eng /NIDN : 0018126803**

**UNIVERSITAS JEMBER**

Desember 2013

## Abstrak

### Sintesis dan karakterisasi core-shell ZnO/TiO<sub>2</sub> sebagai Material fotoanoda Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

<sup>1</sup>Tanti haryati, <sup>2</sup>Bambang Prijamboedi, <sup>3</sup>Tri Mulyono

<sup>1,3</sup> Jurusan Kimia Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

<sup>2</sup> Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Bandung

Sumber Dana : Hibah Pekerti DIPA 2013 Universitas Jember

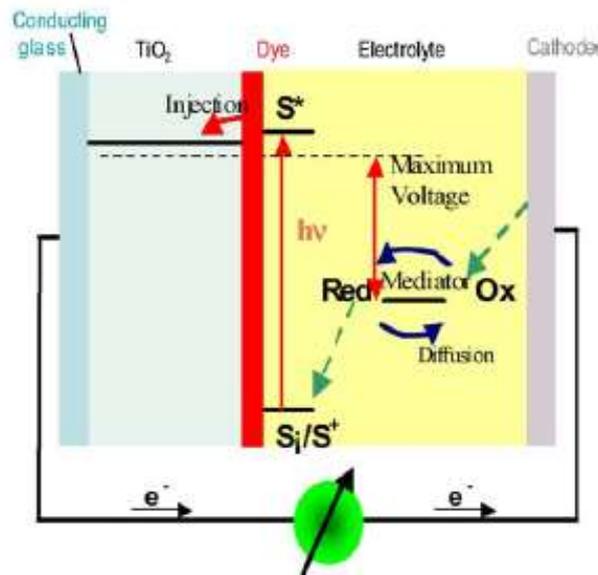
Sintesis *core* ZnO nanorods dilakukan melalui metode Hidrotermal pada suhu 90°C selama 6 jam dari larutan prekursor zink nitrat dan metenamin. Untuk memperoleh material fotoanoda yang memiliki mobilitas dan stabilitas yang baik maka dilakukan kombinasi antara *core* ZnO dengan *shell* TiO<sub>2</sub>. Deposisi nanopartikel TiO<sub>2</sub> pada ZnO nanorods menggunakan metode *spin-coating*. Namun sebelumnya TiO<sub>2</sub> disintesis dari larutan Titanium Isopropoksida (TTIP) dan etanol dengan metode sol-gel pada suhu ruangan. Hasil karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan adanya puncak kualitatif untuk TiO<sub>2</sub> dan ZnO dengan intensitas kristalinitas yang tinggi, sedangkan karakterisasi morfologi menggunakan SEM diperoleh ZnO nanorods yang memiliki ukuran sekitar 1µm dan gambar TiO<sub>2</sub> yang tidak begitu terlihat. Dan perhitungan Debye-Scherrer untuk mengetahui ukuran kristal TiO<sub>2</sub> yang dianalisa menggunakan XRD menunjukkan ukuran yang cukup kecil yakni 48.8 (core-shell dengan medan listrik eksternal) dan 49.5 (core-shell tanpa medan listrik eksternal)

Kata Kunci : core-shell ZnO/TiO<sub>2</sub>, difraksi sinar- X, SEM

## 1. Latar belakang Penelitian

*Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) adalah solar sel generasi ketiga yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan menjadi teknologi solar sel. Jika dibandingkan dengan solar sel berbasis silikon (generasi pertama), maka biaya produksi DSSC 5 kali lebih murah. Meskipun efisiensi konversi energi matahari menjadi energi listrik yang tercatat untuk DSSC lebih rendah dibandingkan solar sel berbasis silikon, namun masih terdapat potensi besar untuk meningkatkan nilai efisiensi dan stabilitas yang dimiliki solar sel generasi ketiga ini (Grätzel, 2005).

*Dye-sensitized Solar Cell* (DSSC) merupakan salah satu produk *photovoltaic cell* yang telah banyak diterima oleh kalangan luas sebagai sumber energi yang bersih dari polusi dan dapat diperbaharui. DSSC dikenalkan pertama kali pada tahun 1991 sebagai sebuah bentuk pendekatan terhadap alternatif peralatan *photovoltaic* dengan biaya produksi murah dan cukup efisien dalam mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Pada awal kemunculannya, telah dilakukan perangkaian DSSC dengan menggunakan  $\text{TiO}_2$  sebagai material *photoanode* dan dihasilkan efisiensi konversi hingga 11 % (Grätzel M, 2005).



Gambar 1. Rangkaian DSSC (Sumber: Grätzel M, 2005)

Berdasarkan gambar 2.1, dapat dijelaskan bahwa prinsip kerja dari DSSC diawali dengan penyerapan energi cahaya berupa foton oleh zat warna (*dye*). Penyerapan cahaya ini akan menyebabkan eksitasi elektron pada zat warna (*dye*) yang kemudian diinjeksikan menuju pita konduksi semikonduktor  $\text{TiO}_2$  (*mesoscopic*) dan berdifusi menuju permukaan  $\text{TiO}_2$ /*Conducting glass*. Zat warna (*dye*) diregenerasi oleh donasi elektron yang dihasilkan dari sistem redoks elektrolit (seperti pasangan iodida/triiodida). Ion iodida ( $\text{I}^-$ ) dalam elektrolit diregenerasi kembali dari hasil proses reduksi ion triiodida ( $\text{I}_3^-$ ) pada *counter electrode* (Grätzel M, 2005).

Salah satu semikonduktor yang sering digunakan sebagai material fotoanoda DSSC ialah ZnO nanorods. ZnO dipilih karena memiliki energi *band gap* yang besar (3.37 eV), fleksibilitas yang baik dalam hal metode sintesis dan memiliki mobilitas elektron yang tinggi, namun karena rendahnya stabilitas kimia ZnO mengakibatkan DSSC yang dibuat memiliki efisiensi yang rendah (Irannejad *et al.*, 2011). Oleh karena itu perlu dilakukan kombinasi dengan material semikonduktor lain yang stabil secara kimia, salah satunya dipilih TiO<sub>2</sub> karena memiliki stabilitas yang baik dan band gap energy (3.2 eV) yang mirip dengan ZnO.

Beberapa penelitian terhadap kombinasi *core-shell* ZnO/TiO<sub>2</sub> telah dilakukan oleh Irannejad *et al* (2011) dan Yamin F *et al* (2011). Dalam penelitiannya, Irannejad *et al* menggunakan teknik *Chemical Vapor Deposition* (CVD) untuk pelapisan ZnO dan diperoleh hasil struktur nanorods yang tidak seragam dengan efisiensi sebesar 3,8 %. Kelemahan dari metode CVD ini ialah memerlukan peralatan yang canggih untuk mendistribusikan nanopartikel TiO<sub>2</sub>. Dalam penelitian ini dilakukan sintesis *core-shell* ZnO/TiO<sub>2</sub> melalui metode Hidrotermal (*core* ZnO) dan metode sintesis *shell* TiO<sub>2</sub> menggunakan teknik sol-gel. Teknik sol-gel tersebut dipilih karena kelebihanannya dalam efisiensi energi yang dikonsumsi dan kemurnian hasil yang diperoleh. Sedangkan untuk metode deposisi *core-shell* digunakan metode *spin-coating*. Penelitian ini juga melakukan pengkajian karakteristik kristal yang dihasilkan dengan menggunakan SEM dan XRD terkait variasi parameter berupa rasio hidrolisis TiO<sub>2</sub> dan temperatur *annealing*. Rasio hidrolisis dalam sintesis *shell* TiO<sub>2</sub> akan menjadi penentu ukuran partikel yang akan melapisi ZnO nanorod, sedangkan temperatur *annealing* yang digunakan dalam proses sintesis ZnO akan berpengaruh terhadap kristalinitas *core-shell* ZnO/TiO<sub>2</sub> yang terbentuk pada substrat

## **2. Rumusan masalah**

Bagaimana pengaruh rasio hidrolisis TiO<sub>2</sub> dan suhu *annealing* terhadap karakteristik morfologi dan kristalinitas *core-shell* ZnO/TiO<sub>2</sub> yang disintesis.

## **3. Tujuan penelitian**

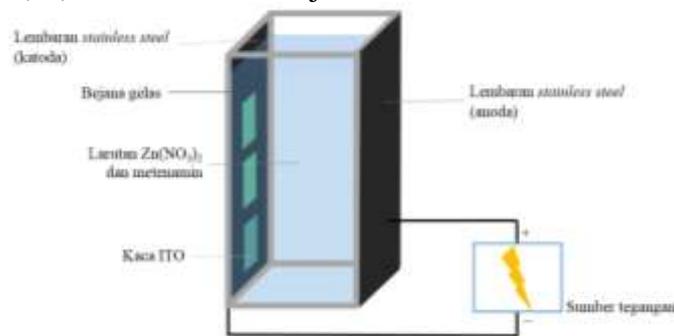
Mengetahui pengaruh rasio hidrolisis TiO<sub>2</sub> dan suhu *annealing* terhadap karakteristik morfologi dan kristalinitas *core-shell* ZnO/TiO<sub>2</sub> yang disintesis.

## **4. Metode Penelitian**

### **4.1 Sintesis nanorod ZnO pada kaca ITO**

1. Substrat kaca ITO (*Indium Tin Oxide*) dipotong dengan ukuran 1,5 x 1,25 cm
2. Kaca ITO dicuci dengan aseton, 2-propanol, dan aqua bidestilata menggunakan *ultrasonic cleaning bath* masing-masing selama 20 menit.
3. 30,356 g Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O dan 14,019 g metenamin masing-masing dilarutkan dalam 100 mL akuades untuk membuat larutan induk dengan masing-masing konsentrasi 1,0 M.

4. 20 mL  $Zn(NO_3)_2$  dan 20 mL metenamin dari larutan induk diencerkan menjadi 100 mL untuk membuat masing-masing larutan dengan konsentrasi 200 mM.
5. Substrat ITO direkatkan pada dinding bagian dalam bejana. (permukaan yang kontak dengan dinding bejana adalah permukaan non konduktif)
6. Kedua larutan hasil pengenceran dicampurkan dalam bejana tersebut dan ditutup rapat.
7. Kedua sisi bagian luar bejana diletakkan elektroda berupa lembaran *stainless steel* dengan posisi katoda (-) pada permukaan tempat substrat. Elektroda dihubungkan dengan sumber tegangan DC 5 kV (medan listrik 2,5 kV/cm). (Gambar 4.1 menunjukkan ilustrasi skematik sistem reaksinya)



Gambar 4.1 Desain skematik proses sintesis nanorod ZnO

8. Bejana dimasukkan ke dalam oven dan dipanaskan pada suhu  $90^{\circ}C$  selama 8 jam.
9. Substrat ITO yang terlapisi ZnO yang dihasilkan dicuci dengan aqua bidestilata untuk menghilangkan residu garam

#### 4.2 Hidrolisis TTIP

$TiO_2$  yang akan digunakan berasal dari titanium tetraisopropoksida (TTIP). Berikut prosedur hidrolisis TTIP:

1. Dicampurkan 1.3 mL TTIP dan 8.7 mL Etanol ke dalam gelas beker dan diaduk secara simultan.
2. Ditambahkan larutan penghidrolisis berupa larutan HCl encer dengan tetesan ke dalam larutan TTIP. R<sub>w</sub>, merupakan rasio jumlah mol TTIP terhadap jumlah mol air dengan variasi: 1:1; 1:3; dan 1:4. Kemudian siaduk selama 30 menit.

#### 4.3 Pencelupan ITO-ZnO pada hasil hidrolisis TTIP

*Core-shell* ZnO/ $TiO_2$  dibuat dengan teknik *spin-coating*.

1. Kaca ITO-ZnO ditempelkan pada alat *spin-coater*.
2. Ditetesi dengan larutan hasil hidrolisis TTIP hingga semua permukaan kaca tertutupi
3. Dibiarkan larutan berada diatas permukaan kaca ITO selama 40 detik kemudian diputar alat *spin* untuk meratakan larutan
4. Kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu sekitar  $80^{\circ}C$ .

5. Diulangi proses diatas sebanyak 5 kali untuk mendapatkan ketebalan yang sesuai
6. Diannealing pada suhu 450°C menggunakan *furnace*.

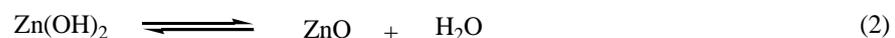
#### 4.4 Karakterisasi

Material *core-shell* ZnO/TiO<sub>2</sub> dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD, Cu K $\alpha$  radiation,  $\lambda = 1.5418$  A) untuk memperoleh informasi mengenai tingkat kristalinitas dari material yang dianalisis, dari data XRD dilakukan perhitungan ukuran partikel menggunakan analisa Debye-scherrer. Selain itu juga dilakukan analisa menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM, 10 kV dan 20 kV) dengan perbesaran 2500, 5000 dan 10.000 kali untuk memperoleh morfologi material *core-shell*.

### 5. Hasil dan Pembahasan

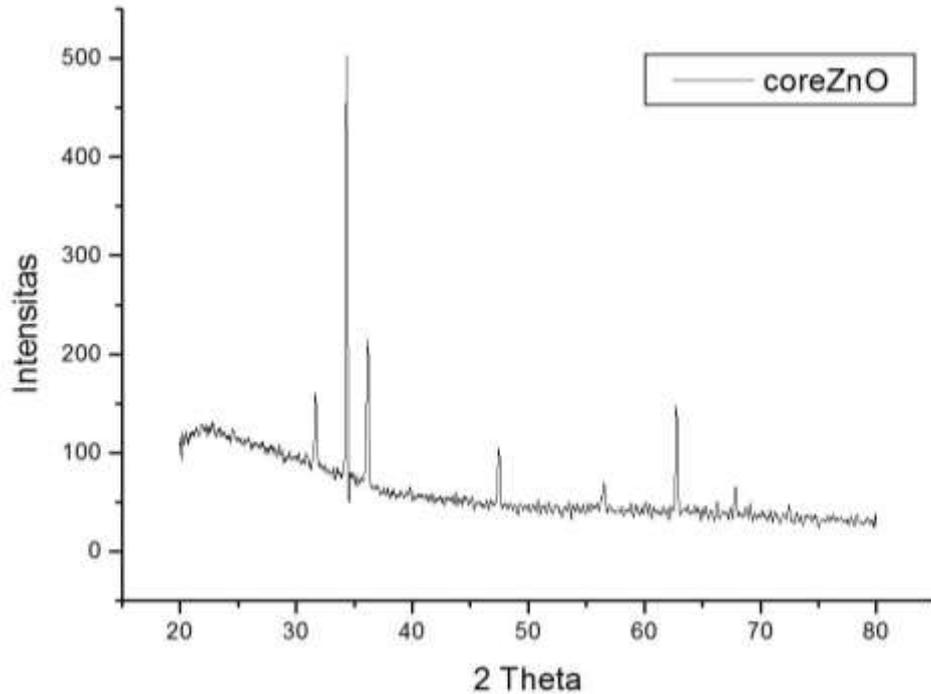
#### 5.1 Sintesis dan karakterisasi ZnO

Proses pembentukan nanorod ZnO dari prekursor larutan Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> berawal dari pergerakan ion hidrat Zn(OH<sub>2</sub>)<sub>4</sub><sup>2+</sup> menuju katoda. Pada larutan dengan pH dibawah 7, ion Zn<sup>2+</sup> berada dalam bentuk molekul hidrat yaitu dikelilingi oleh molekul air, Zn(OH<sub>2</sub>)<sub>4</sub><sup>2+</sup>. Dengan adanya medan listrik eksternal yang tinggi, molekul Zn(OH<sub>2</sub>)<sub>4</sub><sup>2+</sup> akan cenderung untuk bergerak menuju elektroda negatif (katoda) dan akan terakumulasi di daerah sekitar elektroda tersebut. Perubahan dari ion hidrat menjadi oksida melalui proses yang dinamakan hidrolisis, dimana ion hidrat akan kehilangan molekul air. Pada proses ini, molekul air tidak selalu dilepaskan namun pada pH yang tinggi (konsentrasi OH<sup>-</sup> tinggi) beberapa molekul air pada ion hidrat hanya akan melepaskan ion H<sup>+</sup>. Ion OH<sup>-</sup> akan mengikat ion H<sup>+</sup> yang dilepas sehingga membentuk H<sub>2</sub>O. Setelah hidrolisis, Zn(OH<sub>2</sub>)<sub>4</sub><sup>2+</sup> akan berubah menjadi molekul berbeda. Pada pH diatas 7, spesies yang paling dominan adalah Zn(OH)<sub>2</sub> yang kemudian dilanjutkan oleh proses dehidrasi lebih lanjut (dengan pemanasan 90°C) akan membentuk zink oksida seperti didiskripsikan pada reaksi kesetimbangan berikut:



pH lingkungan sekitar yang tinggi diberikan oleh metenamin yang merupakan basa lemah, dimana pada suhu tinggi metenamin akan terdekomposisi menghasilkan ion OH<sup>-</sup>.

Proses sintesis *core* ZnO berlangsung selama 6 jam. Hal ini ditujukan untuk mendapatkan ketebalan lapis tipis yang diinginkan. Sedangkan untuk konsentrasi campuran zink nitrat dan metenamin yang dibuat masing-masing sebesar 100 mM seperti yang telah dilakukan dalam penelitian Maryanti (2008) karena dianggap kerapatan kristal yang dihasilkan cukup baik untuk mendeposisi TiO<sub>2</sub> sebagai *shell* dan penyerapan *dye*. Karakterisasi ZnO yang pertama dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan diperoleh pola-pola difraksi sebagai berikut :



Gambar 5.1 Pola kristal ZnO

Hasil analisa XRD pada gambar menunjukkan puncak-puncak intensitas kristal yang cukup tinggi, namun pertumbuhan kristalnya tidak hanya terjadi pada sumbu c melainkan juga terjadi pada sumbu-sumbu yang lain.

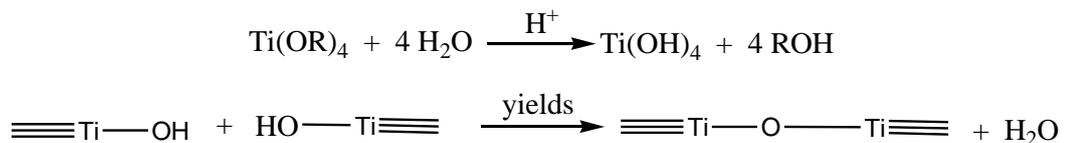
### 5.2 Hidrolisis dari Titanium Isopropoksida (TTIP) dengan Menggunakan Metode Sol-Gel

Pada proses hidrolisis TTIP ini menggunakan rasio hidrolisis 1 : 3 sebagai permulaan. Ketika hidrolisis terjadi telah terbentuk larutan sol seperti gambar 3.2 dibawah ini :



Gambar 5.2 proses terbentuknya larutan sol dari TTIP

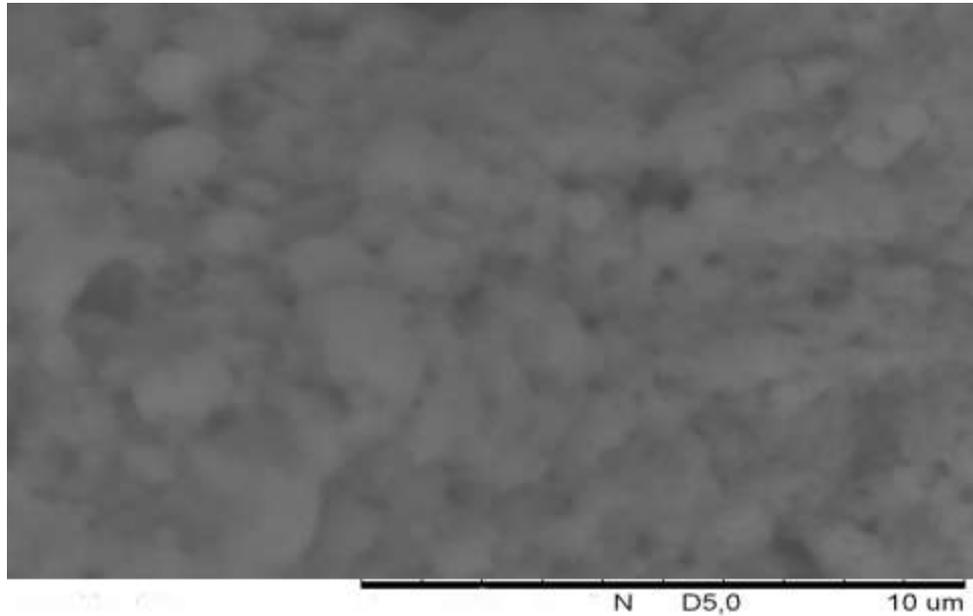
Ketika terbentuk larutan sol, mekanisme reaksi yang terjadi adalah



Dari reaksi diatas tahap hidrolisis terbentuk sol menghasilkan titanium hidroksida, ketika pembentukan sol ini pengaruh pH sangatlah penting. Pengontrolan pH larutan tidak hanya dapat mengontrol reaksi kondensasi dan ukuran partikel tetapi juga stabilitas dari sol. Pada pH diatas 3 terjadi pengendapan  $\text{TiO}_2$ . Penurunan pH akan meningkatkan stabilitas sol dan menunda waktu gelasi. Dilaporkan bahwa sol  $\text{TiO}_2$  paling stabil adalah yang mendekati pH 1,3. Pengurangan pH lebih lanjut akan mempersingkat waktu gelasi dan mengurangi kestabilan sol. Kondisi asam (pH rendah) digunakan untuk menyelesaikan tahap hidrolisis dan kondensasi. Pada pH rendah, laju hidrolisis meningkat karena gugus OR yang melekat pada logam (M) terprotonasi oleh  $\text{H}_3\text{O}^+$  dan menjadikan muatan gugus OR lebih positif, oleh karena itu, ion logam menolak gugus OR karena muatan ion logam yang positif. Hal ini menggeser ion logam kearah gugus OH. Laju kondensasi juga berkurang dalam larutan yang bersifat asam karena pengurangan interaksi spesies yang terprotonasi.

Sedangkan reaksi berikutnya adalah reaksi kondensasi, yaitu terbentuk gel dimana molekul  $\text{TiO}_2$  terbentuk dalam jaringan atau network. Produk reaksi kondensasi ini seterusnya akan dilapisi pada film tipis *core* nanorods ZnO yang berfungsi sebagai *shell*. Sebelum dilapisi pada film tipis *core* nanorods ZnO terlebih dahulu dicoba dilapisi pada film tipis tanpa nanorods ZnO, lalu dipanaskan pada temperature  $450^\circ\text{C}$  selama kurang lebih 35 menit. Pemanasan ini

berfungsi untuk pembentukan kristal  $\text{TiO}_2$  anatase. Setelah itu dilakukan foto SEM untuk mengetahui morfologi dari  $\text{TiO}_2$  yang dihasilkan seperti gambar 3.3 dibawah ini :



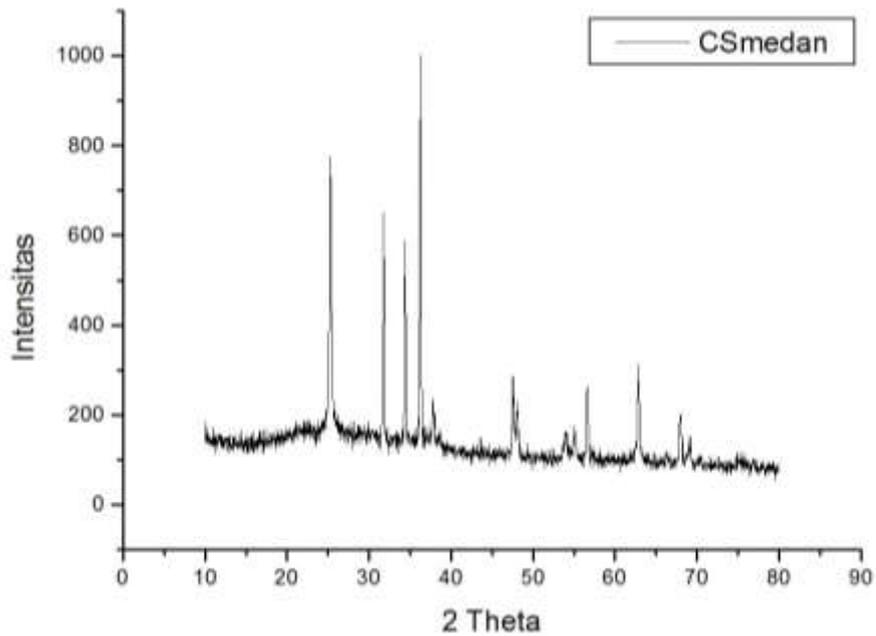
Gambar 5.3 foto SEM dari  $\text{TiO}_2$  pembesaran 10000 kali

Dari gambar diatas, morfologi dari  $\text{TiO}_2$  belum terbentuk fase kristalin dan ukurannya terlalu besar untuk pelapis dari *core* nanorods  $\text{ZnO}$  yang ukuran diameter 700-900 nm. Kendala utama adalah produk  $\text{TiO}_2$  yang dihasilkan belum berbentuk kristal

### 5.3 Sintesis dan karakterisasi *core-shell* $\text{ZnO}/\text{TiO}_2$

Sintesis *core-shell*  $\text{ZnO}/\text{TiO}_2$  dilakukan dalam 2 metoda yang berbeda yakni pada sintesis *core*  $\text{ZnO}$  yang akan digunakan.  $\text{ZnO}$  pertama merupakan *core* yang disintesis menggunakan medan listrik eksternal sedangkan  $\text{ZnO}$  kedua disintesis tanpa medan listrik. Sedangkan sintesis *shell*  $\text{TiO}_2$  tetap sama. Hal ini dilakukan untuk membedakan hasil karakterisasi kristal keduanya karena diduga bahwa proses annealing saat sintesis  $\text{TiO}_2$  akan berpengaruh pada kristalinitas dari  $\text{ZnO}$  dan  $\text{TiO}_2$ .

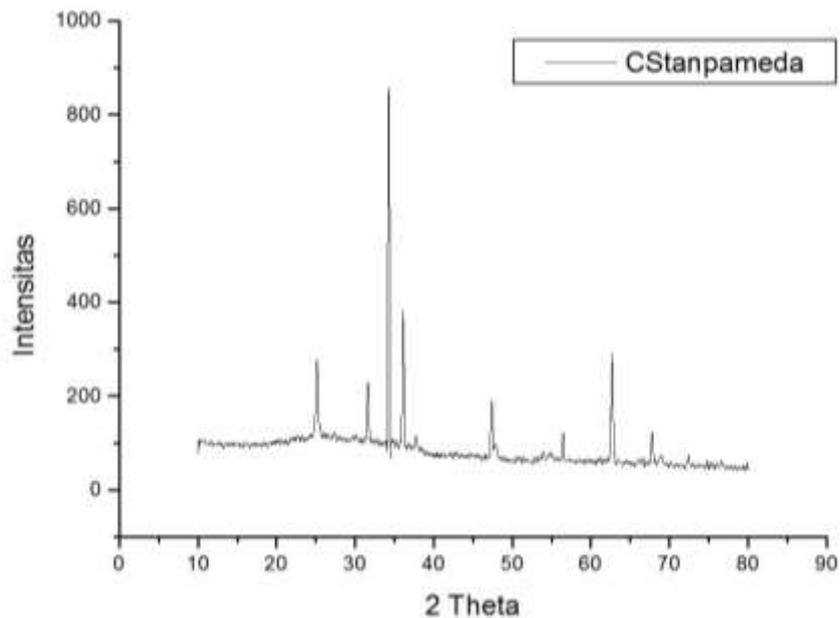
Hasil analisa XRD terhadap sampel *core-shell*  $\text{ZnO}/\text{TiO}_2$  dengan sintesis  $\text{ZnO}$  menggunakan medan listrik eksternal diperoleh data pola-pola kristal sebagai berikut :



Gambar 5.4 Pola kristal *core-shell* dengan medan listrik

Terlihat terdapat puncak signal  $\text{TiO}_2$  yang cukup tinggi pada sudut  $25.2^\circ$  yang berarti  $\text{TiO}_2$  terdeposisi dengan baik pada *core* ZnO. Selain itu juga terdapat puncak-puncak ZnO yang cukup tinggi pada sudut  $31.7143$  (100),  $34.3689$  (002) dan  $36.1991$  (101).

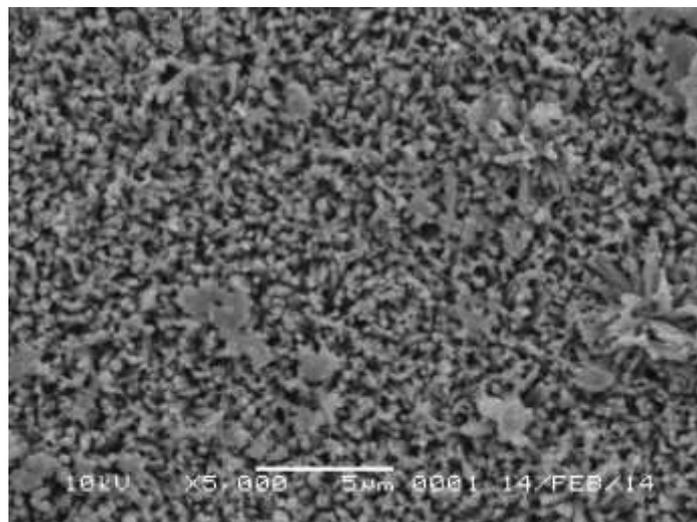
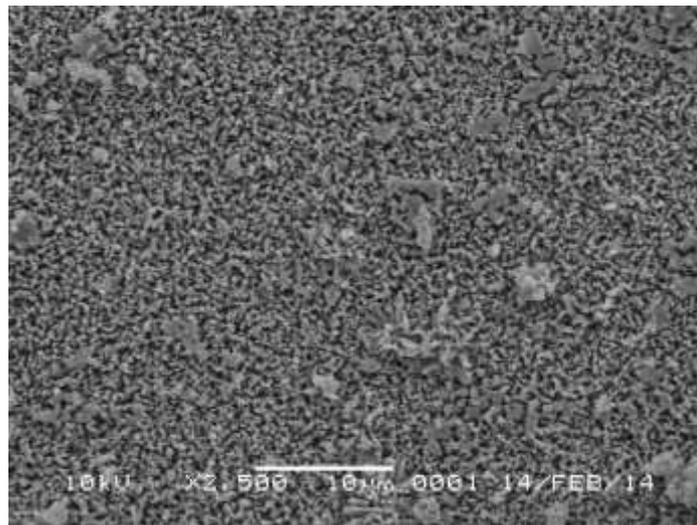
Karakterisasi XRD juga dilakukan untuk *core-shell* ZnO/ $\text{TiO}_2$  yang disintesis tanpa medan listrik eksternal dan hasilnya sebagai berikut :

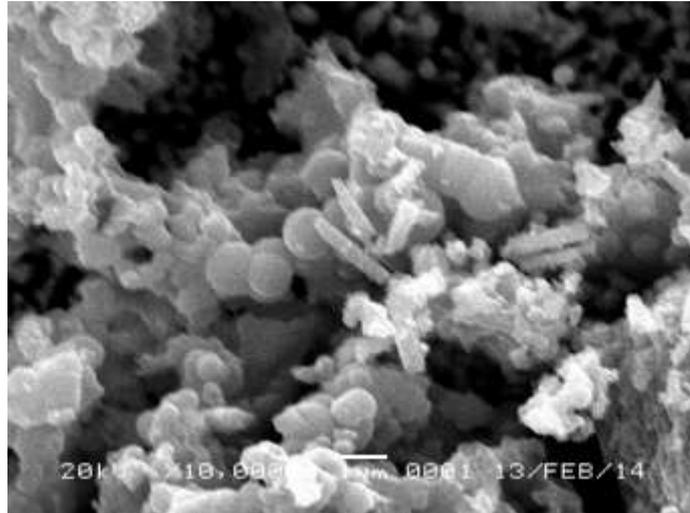


Gambar 5.5 Pola kristal *core-shell* tanpa medan listrik

Berdasarkan hasil analisa XRD untuk sampel *core-shell* tanpa medan listrik menunjukkan adanya puncak untuk  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{ZnO}$  seperti halnya sintesis *core-shell* menggunakan medan listrik. Namun terdapat perbedaan yang cukup besar pada puncak  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{ZnO}$  pada sudut  $25.2^\circ$  dan  $34.3689^\circ$  (002). Perbedaan untuk  $\text{TiO}_2$  mengindikasikan adanya kekurangan saat sintesis namun dapat diatasi dengan lapis tipis  $\text{TiO}_2$  pada saat akan diannealing. sedangkan untuk  $\text{ZnO}$ . Perbedaan intensitas tertinggi ini akan membawa pengaruh terhadap keberlanjutan metode yang digunakan dalam sintesis  $\text{ZnO}$  karena pada penelitian ini diharapkan terbentuk kristal  $\text{ZnO}$  nanorods yang tumbuh merata pada sumbu c dan *core* tanpa medan listrik eksternal menunjukkan puncak hkl (002) yang lebih tinggi daripada saat digunakan medan listrik. Oleh karena itu sintesis *core-shell* selanjutnya dilakukan tanpa pemberian medan listrik eksternal.

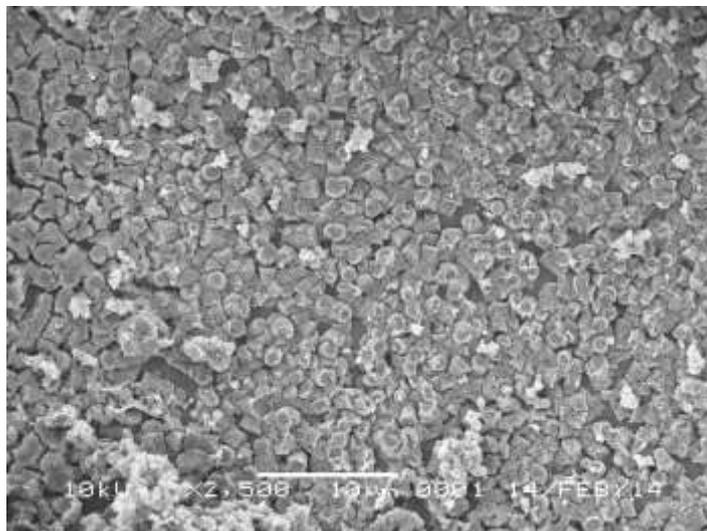
Analisa menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk *core-shell*  $\text{ZnO}/\text{TiO}_2$  yang disintesis menggunakan medan listrik eksternal pada gambar menunjukkan hasil morfologi yang tidak begitu jelas dengan ukuran kristal yang masih besar.

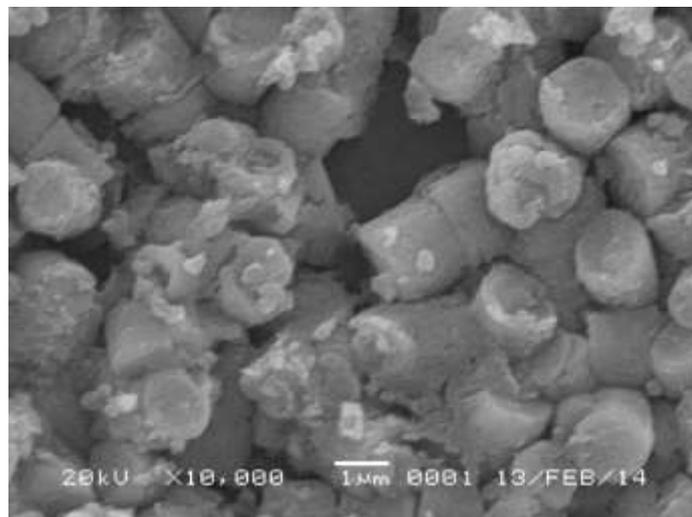
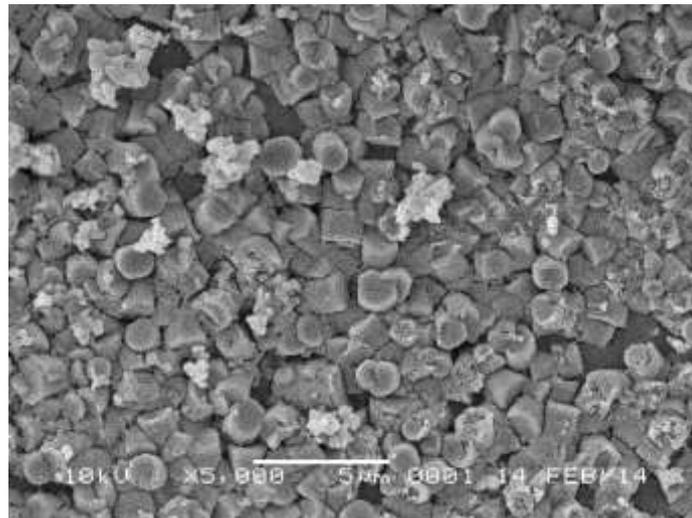




Gambar 5.7 Foto SEM core-shell dengan medan listrik(perbesaran 2500, 5000 dan 10.000 kali)

Analisa SEM untuk core-shell tanpa medan listrik menunjukkan morfologi yang lebih tersusun rata dibandingkan dengan yang disintesis dengan medan listrik. Namun untuk kristal  $\text{TiO}_2$  tidak begitu tampak yang dimungkinkan karena kecilnya ukuran kristalnya. Berikut meru[akan foto penampang atas dari core-shell tanpa medan listrik :





Gambar 5.8 Foto SEM core-shell tanpa medan listrik(perbesaran 2500, 5000 dan 10.000 kali)

Perhitungan untuk mengetahui ukuran kristal dilakukan menggunakan persamaan Debye-Scherrer berikut :

$$D = \frac{K \lambda}{B \cos \theta}$$

dengan D adalah ukuran (diameter) kristallites,  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan,  $\theta$  adalah sudut Bragg, B adalah FWHM satu puncak yang dipilih, dan K adalah konstanta material yang nilainya kurang dari satu. Nilai yang umumnya dipakai untuk K adalah  $\approx 0,9$ . Berdasarkan perhitungan terhadap hasil XRD kedua sampel (*core-shell* dengan dan tanpa medan listrik) diperoleh besar ukuran untuk TiO<sub>2</sub> pada *core-shell* dengan medan listrik sebesar 48.8 nm dan untuk ukuran kristal TiO<sub>2</sub> pada *core-shell* tanpa medan listrik sebesar 49.5 nm.

## 6. Kesimpulan

Karakteristik kristal *core-shell* ZnO/TiO<sub>2</sub> yang disintesis menunjukkan

- 1) Ukuran *core* ZnO yang cukup besar (~1 μm) berdasarkan hasil foto SEM pada perbesaran 2500, 5000 dan 10.000 kali
- 2) Pola kristal yang dihasilkan dari analisa XRD untuk sampel *core-shell* ZnO/TiO<sub>2</sub> yang disintesis tanpa medan listrik eksternal memiliki signal ZnO yang lebih tinggi pada hkl 002 dibandingkan dengan *core-shell* ZnO/TiO<sub>2</sub> dengan penerapan medan listrik.
- 3) Perhitungan Debye-scherrer terhadap hasil XRD untuk signal TiO<sub>2</sub> diperoleh ukuran kristal sebesar 48.8 nm (dengan medan listrik) dan 49.5 nm (tanpa medan listrik)

## Refferensi

- Grätzel, M. 2005. *Photovoltaic performance and long-term stability of dye-sensitized meosocopic solar cells*. Switzerland: Académie des sciences.
- Irannejad A, Janghorban, TanH. Huang, C.K. Lim, P.Y. Tan. X, Fang, C.S. Chua, S. Maleksaeedic, Hejazid, Shahjamali, Ghaffarib. 2011. *Effect of the TiO<sub>2</sub> shell thickness on the dye-sensitized solar cells with ZnO–TiO<sub>2</sub> core–shell nanorod electrodes*. Electrochimica Acta: Elsevier.
- Maryanti, E. 2008. Studi pengaruh medan listrik pada pertumbuhan Kristal ZnO. Tesis. Bandung: ITB
- Yamin Feng, Xiaoxu Ji, Jinxia Duan, Jianhui Zhu, JianJiang, HaoDing, Gaoxiang Meng, Ruimin Ding, JinpingLiu, AnzhengHuc, Xintang Huang. 2011. *Synthesis of ZnO@TiO<sub>2</sub> core–shell long nanowire arrays and their application on dye-sensitized solar cells*. China: Elsevier.