

TUGAS AKHIR - TF091381

FABRIKASI DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS (DSSC) BERBASIS NANOROD ZnO (OKSIDA SENG) DENGAN VARIASI METODE PREPARASI PASTA

ROBERT MAHENDRA NRP. 2410 100 024

Dosen Pembimbing Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T. Dyah Sawitri, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK FISIKA Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2014



FINAL PROJECT - TF091381

FABRICATION OF ZnO (ZINC OXIDE) ON DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS (DSSC) BY VARIATION OF PASTE PREPARATION METHOD

ROBERT MAHENDRA NRP. 2410 100 024

Supervisor Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T. Dyah Sawitri, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS Faculty of Industrial Technology Sepuluh Nopember Institute of Technology Surabaya 2014

FABRIKASI DYE-SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) BERBASIS NANOROD ZnO (OKSIDA SENG) DENGAN VARIASI METODE PREPARASI PASTA

TUGAS AKHIR

Oleh : <u>Robert Mahendra</u> NRP : 2410 100 024

Surabaya, 03 Juni 2014 Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I,

Pembimbing II,

6

Dr.-Ing. Doty Dewi R., S.T., M.T. NIPN. 19740903 199802 2 001 Dyah Sawiri, S.T., M.T. NIPN. 19700101 199512 2 001

Ketua Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS

Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA NIPN. 19650309 199002 1 001

FABRIKASI DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS (DSSC) BERBASIS NANOROD ZnO (OKSIDA SENG) DENGAN VARIASI METODE PREPARASI PASTA

TUGAS AKHIR Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Bidang Studi Rekayasa Bahan Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

> Oleh: ROBERT MAHENDRA NRP. 2410 100 024

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir ;

1. Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T. (Pembimbing I)

2. Dyah Sawitri, S.T, M.T.

3. Ir. Zulkifli, M.Sc.

4. Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T. (Penguji II)

5. Dr. Gunawan N.

6. Ruri Agung W, S.T., M.T.

(Pembimbing II)

A (Penguji I)

(Penguji III)

(Penguji IV)

SURABAYA JUNI, 2014

FABRIKASI DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS (DSSC) BERBASIS NANOROD ZnO (OKSIDA SENG) DENGAN VARIASI METODE PREPARASI PASTA

Nama Mahasiswa NRP Jurusan Dosen Pembimbing : Robert Mahendra : 2410 100 024 : Teknik Fisika FTI-ITS : Dr.-Ing Doty Dewi Risanti, ST, MT Dyah Sawitri, ST, MT

Abstrak

Dye-sensitized Solar Cell (DSSC) berbasis nanorod ZnO dengan variasi metode preparasi pasta telah difabrikasi sesuai dengan metode Yonekawa dan Grätzel dengan variasi temperatur anil. Nanorod ZnO disintesis dengan metode kopresipitasi yaitu dengan mereaksikan prekursor Zinc Asetat dengan EG (ethylene glycol) pada temperatur 200°C selama 5 jam. Sintesis nanorod ZnO dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM. Preparasi fotoelektroda ZnO dilakukan berdasarkan metode yang dilakukan oleh Grätzel dan Yonekawa. Selain itu, dilakukan variasi temperatur anil pada fotoelektroda. Pewarna kulit manggis digunakan pada fabrikasi DSSC sebagai pewarna alami. DSSC difabrikasi dalam bentuk struktur sandwich menggunakan pasangan redoks I₃/I dan elektroda pembanding platina. Hasil karakterisasi ZnO menunjukkan ZnO memiliki ukuran partikel sebesar 70,48 nm (100), 106,99 nm (101), dan 106,45 nm (002) dengan ukuran partikel rata-rata sebesar 96,64 nm. Berdasarkan karakteristik kurva I-V dan IPCE, diperoleh bahwa efisiensi terbaik jika preparasi pasta dilakukan pada suhu 300°C dengan menggunakan metode Yonekawa vaitu sebesar 0,05% dengan IPCE 0,00825%, FF 0,4%, J sc 64µA/cm², Voc 275 mV).

Kata kunci : ZnO, Nanorod, DSSC, Kopresipitasi

FABRICATION OF ZnO (Zinc Oxide) NANOROD ON DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS (DSSC) BY VARIATION OF PASTE PREPARATION METHOD

Name	
NRP	
Departmen	ıt
Supervisor	•

: Robert Mahendra : 2410 100 024 : Teknik Fisika FTI-ITS : Dr.-Ing Doty Dewi Risanti, ST, MT Dyah Sawitri, ST, MT

Abstract

Dye-sensitized Solar Cells (DSSCs) based on nanorod ZnO have been successfully fabricated with paste preparation Yonekawa and Grätzel methods with various annealing temperature. ZnO nanorods were synthesized by co-precipitation method, at 200°C for 5 hours by using Zinc Acetate with EG (ethylene glycol). The synthesized ZnO nanorods were characterized by XRD and SEM in order to confirm phase purity and morphology of the samples. The sensitizer chosen was mangosteen pericarp extract with absorbance peak of 392.5 nm. The particle sizes obtained were 70.48 nm (100) plane, 106.99 nm (101) plane, dan 106.45 nm (002) plane with 96.64 nm being the average of particle size. The average nanorod diameter calculated using image-J software was found in the range of 90-150 nm. However, the resulted nanorods showed non-uniform vertical alignment. The experimental result shows that the best efficiency was obtained for temperature annealing of 300°C according to Yonekawa's method i.e 0.05% with IPCE = 0.00825%, FF = 0.4%, $J_{sc} = 264\mu A/cm^2$, $V_{oc} = 275 mV$.

Keywords : ZnO, Nanorod, DSSC, Co-precipitation

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "Fabrikasi Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanorod ZnO (Oksida Seng) Dengan Variasi Metode Preparasi Pasta".

Yang harus dipenuhi dalam Program Studi S-1 Teknik Fisika FTI-ITS.

Selama melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- a. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga laporan ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya.
- b. Keluarga (Bapak, Ibu, dan Kakak) yang telah memberikan bimbingan, motivasi, dan doa restu.
- c. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS.
- d. Dr.Ing Doty Dewi Risanti, ST, MT dan Dyah Sawitri, ST, MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan arahan.
- e. Dr.Ridho Hantoro, ST, MT selaku Kasie Tugas Akhir Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS.
- f. Lizda Johar Mawarani, ST selaku dosen wali.
- g. Ir. Zulkifli, M.Sc selaku kepala Laboratorium Rekayasa Bahan.
- h. Bapak dan Ibu dosen Rekayasa Bahan Teknik Fisika ITS yang telah banyak memberikan ilmunya.
- i. Semua Bapak/Ibu Dosen yang telah membimbing dan Karyawan Teknik Fisika yang telah membantu proses kuliah.
- j. Teman-teman seperjuangan TA bidang minat Rekayasa Bahan atas segala bantuannya.

- k. Teman-teman satu kos di Keputih 1D/ 62 yang telah membantu memberikan semangat dan doa.
- 1. Teman-teman Teknik Fisika angkatan 2010 yang telah banyak membantu selama proses perkuliahan dalam tindakan dan doa.
- m. Semua pihak yang telah membantu dalam kesuksesan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan dan pengembangan laporan penelitian ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua bidang keilmuan dan teknik.

> Surabaya, Juni 2014 Penulis

DAFTAR ISI

		Hal
HALAM	AN JUDUL BAHASA INDONESIA	i
HALAM	AN JUDUL BAHASA INGGRIS	ii
LEMBAR	PENGESAHAN	iii
LEMBAR	PERSETUJUAN	iv
ABSTRA	K	v
ABSTRA		vi
KATA PH	ENGANTAR	vii
DAFTAR	ISI	ix
DAFTAR	GAMBAR	xi
DAFTAR	TABEL	XV
BAB I PE	ENDAHULUAN	
1.1	Latar belakang	1
1.2	Permasalahan	2
1.3	Tujuan	3
1.4	Batasan Masalah	3
BAB II D	ASAR TEORI	
2.1	Seng Oksida (ZnO)	5
2.2	Dye-sensitized Solar Cells (DSSC)	8
2.3	Pengukuran Arus-Tegangan (I-V) Sel	15
	Surya	
2.4	Perhitungan Incident Photon to Current	16
	Convertin Efficiency (IPCE)	10
BAB III N	METODOLOGI PENELITIAN	(mrsh)
3.1	Proses Sintesis ZnO	20
3.2	Preparasi Fotoelektroda ZnO	21
3.3	Ekstraksi dan Pencelupan dye	23
3.4	Fabrikasi Dye-Sensitized Solar Cells	25
	(DSSC)	
3.5	Karakterisasi Material ZnO	25
3.6	Karakterisasi UV-Vis Dye Kulit Manggis	32

3.7 3.8	Karakterisasi TGA-DSC Larutan Elektrolit Pengujian Performansi DSSC	34 36
BAB IV 1 4.1 4.2	HASIL DAN PEMBAHASAN Karakterisasi Nanorod ZnO Performansi DSSC	39 52
BAB V S		61
DAFTAR	R PUSTAKA	63
LAMPIR LAMPIR	AN A AN B	

х

DAFTAR GAMBAR

		Hal
Gambar 2.1	Struktur kristal ZnO	7
Gambar 2.2	Skema yang mempresentasikan sebuah DSSC	8
	pada nanopartikel dan nanorod dari DSSC	
Gambar 2.3	Skema ilustrasi mekanisme transfer elektron	10
	pada DSSC	
Gambar 2.4	Skema ilustrasi komponen DSSC	11
Gambar 2.5	TCO (Transparent Conducting Oxide)	12
Gambar 2.6	Kurva arus-tegangan pada DSSC	15
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	19
Gambar 3.2	(a) proses sintering menggunakan hot plate	20
	(b) larutan putih hasil reaksi ZnAc dan EG	
Gambar 3.3	Serbuk ZnO	21
Gambar 3.4	Ilustrasi pelapisan ZnO pada kaca FTO	22
Gambar 3.5	Proses pemanasan lapisan tipis ZnO pada Hot	22
	Plate	
Gambar 3.6	Serbuk kulit manggis yang telah dihaluskan	23
	menggunakan blender generation and the second se	
Gambar 3.7	Alat soklet	24
Gambar 3.8	Proses perendaman fotoelektroda pada hasil	24
	ekstraksi pewarna kulit manggis	
Gambar 3.9	Ilustrasi struktur sandwich DSSC dengan	25
	fotoelektroda ZnO	
Gambar 3.10	Prinsip dasar difraksi Sinar-X	26
Gambar 3.11	X-Ray Diffraction (XRD)	27
Gambar 3.12	Skema penentuan nilai FWHM	28
Gambar 3.13	Prinsip kerja Scanning Electron Microscopy	29
	(SEM)	
Gambar 3.14	Scanning Electron Microscope (SEM) Fei	30
	Inspect s50	
Gambar 3.15	Ilustrasi tip dan sampel yang berdekatan	32
	teriadi interaksi antar atom	

Gambar 3.16	Prinsip Kerja UV-Vis Spectrofotometer (SEM)	33
Gambar 3.17	UV-Vis 1100 Spectrophotometer	34
Gambar 3.18	Analisis Thermogravimetri (TGA)	34
Gambar 3.19	TGA-DSC Metler Toledo Star e-system	35
Gambar 3.20	Rangkaian hambatan untuk menghasilkan arus	36
Gambar 3.21	Ilustrasi skema pengambilan data IPCE	37
Gambar 4.1	Hasil karakterisasi XRD serbuk nanorod ZnO	39
Gambar 4.2	Hasil karakterisasi XRD fotoelektroda	40
	dengan metode (a) Yonekawa dan (b) Grätzel	
Gambar 4.3	XRD lapisan tipis ZnO pada FTO berbasis (a)	42
	metode Yonekawa dan (b) metode Grätzel	
	dengan temperatur anil 100°C, 200°C, 300°C, 400°C	
Gambar 4.4	Ukuran partikel pada hkl (100), (101), dan	45
	(002) dengan variasi temperatur anil 100°C,	
	200°C, 300°C, dan 400°C berbasis metode	
	(a) Yonekawa dan (b) Grätzel	
Gambar 4.5	Kurva parameter kisi nanorod ZnO dengan variasi temperatur anil 100°C, 200°C, 300°C,	47
	dan 400°C berbasis metode (a) Yonekawa	
	dan (b) Grätzel	
Gambar 4.6	Kurva regangan kisi nanorod ZnO dengan	<mark>49</mark>
	variasi temperatur annil 100°C, 200°C,	
	300°C, dan 400°C berbasis metode	
	Yonekawa dan Grätzel	
Gambar 4.7	Karakterisasi SEM hasil sintesis nanorod	50
	ZnO dengan perbesaran (a)10000x dan (b)	
	50000x	
Gambar 4.8	a) dan (b) Karakterisasi AFM nanorod ZnO	51
	berbasis metode Yonekawa pada temperatur	

Gambar 4.9	Plot Kurva I-V DSSC pada Metode	52
	Yonekawa menggunakan pewarna kulit	
	manggis	
Gambar 4.10	Plot Kurva I-V DSSC pada Metode Grätzel menggunakan pewarna kulit manggis	53
Gambar 4.11	Spektrum penyerapan Uv-Vis pewarna kulit manggis	55
Gambar 4.12	Kurva IPCE dari DSSC struktur sandwich berbasis nanorod ZnO dengan metode Yonekawa	55
Gambar 4.13	Kurva IPCE dari DSSC struktur <i>sandwich</i> berbasis nanorod ZnO dengan metode Grätzel	56
Gambar 4.14	Pengaruh <i>dye loading</i> terhadap performansi DSSC	58
Gambar 4.15	Pengaruh <i>lifetime</i> terhadap performansi DSSC	58
Gambar 4.16	Kurva TGA-DSC dari elektrolit	59
Gambar 4.17	Pengurangan nilai volume elektrolit	60



DAFTAR TABEL

	Hal
Parameter fisik ZnO	5
Ukuran partikel untuk puncak (100), (101), dan (002)	43
Nilai c/a nanorod ZnO dengan variasi temperatur anil 100°C, 200°C, 300°C, dan 400°C berbasis metode Yonekawa dan Grätzel	46
Performansi DSSC nanorod ZnO berdasarkan metode preparasi pasta dan temperatur anil	57
	Parameter fisik ZnO Ukuran partikel untuk puncak (100), (101), dan (002) Nilai c/a nanorod ZnO dengan variasi temperatur anil 100°C, 200°C, 300°C, dan 400°C berbasis metode Yonekawa dan Grätzel Performansi DSSC nanorod ZnO berdasarkan metode preparasi pasta dan temperatur anil



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keterbatasan pasokan energi di alam kini marak dibicarakan di semua kalangan, termasuk di Indonesia. Krisis ini diakibatkan adanya konsumsi energi yang kian menanjak seiring berjalannya waktu. Diperkirakan penggunaan tersebut akan semakin meningkat bahkan mencapai 70% dari tahun 2000 sampai tahun 2030 kelak (Jatmiko, 2011). Pasokan energi terbesar berasal dari bahan bakar fosil, yaitu sekitar 80% digunakan untuk kebutuhan energi. Di tengah permasalahan yang ada, salah satu energi terbarukan muncul sebagai solusi, adalah sel surya. Sel surya yang beredar merupakan sel surya konvensional yang berbasis silikon. Dikarenakan material yang digunakan tidak dapat diperbaharui dan proses pembuatan yang rumit (Anggoro, 2012), maka pada tahun 1991 berkembang teknologi berbasis bahan organik disebut Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) yang diperkenalkan oleh Grätzel dan O'Regan (Grätzel, 2003). Pada DSSC, penyerapan cahaya dilakukan oleh pewarna dan separasi muatan dilakukan oleh material semikonduktor yang memiliki energi pita celah yang lebar. Sampai saat ini, telah didapatkan efisiensi sekitar 11% akibat pemanfaatan energi pita celah dari material semikonduktor titanium dioksida (TiO₂) (Chiba, 2006). Selain digunakan TiO₂, juga digunakan material semikonduktor dari golongan anoda oksida logam seperti ZnO (Lee, 2011). Penggunaan ZnO juga banyak ditemukan pada tabir surya, sensor gas, dan pelapisan (Abdullah, 2012).

Oksida Seng (ZnO) digunakan sebagai salah satu jenis material semikonduktor dikarenakan memiliki energi pita celah yang hampir sama dengan TiO₂. Energi pita celah di sini berpengaruh pada sifat optik, yaitu absorbsi dan luminesensi. Dibandingkan dengan TiO₂, ZnO memiliki mobilitas yang besar yang nantinya akan berpengaruh pada proses transfer elektron. Meskipun didapatkan efisiensi berkisar 4-5,8% yang jauh lebih rendah dibanding TiO₂ sebesar 11%, ZnO masih menjadi alternatif dikarenakan proses kristalisasinya yang mudah. Dengan sifat ini, ZnO dimungkinkan untuk dapat diproduksi dalam skala nanometer. Pada skala ini, ZnO yang tergolong dalam oksida logam memiliki luas permukaan yang lebar (Abdullah, 2012). Luas permukaan yang besar pada ZnO dapat digunakan untuk mengabsorbsi pewarna sehingga dapat meningkatkan kinerja sel surya (Uthirakumar, 2011; Zhang, 2007; Taher, 2012).

Pembuatan struktur morfologi dari ZnO berukuran nano telah banyak dilakukan. diantaranya vaitu nanoporus, nanopartikel, nanotube, nanorod, dan nanosheet, yang digunakan untuk fotoanoda di DSSC (Zhifeng, 2011). Peningkatan transfer dilakukan dengan elektron pada DSSC menggantikan fotoelektroda nanopartikel dengan fotoelektroda kristal tunggal nanorod (Lee, 2011). Pada nanorod ZnO, sintesis secara kimia dapat dilakukan dengan mudah menggunakan metode hidrolisis (Wahyuono, 2013). Jenis pewarna yang digunakan pada nanorod ZnO vaitu N719 dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 1.69% (Uthirakumar, 2011).

Untuk meningkatkan efisiensi DSSC, maka hal terpenting yang perlu diperhatikan yaitu fabrikasi fotoelektroda DSSC dikarenakan pengaruhnya terhadap kontak antara fotoelektroda terhadap substrat kaca TCO dalam mendapatkan tahanan elektroda yang minimum. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini akan diteliti tentang fabrikasi *dye-sensitized solar cells* (DSSC) berbasis nanorod ZnO dengan variasi metode preparasi pasta dan temperatur anil.

1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka permasalahan yang akan dibahas pada Tugas Akhir ini antara lain:

a. Bagaimana metode sintesis nanorod ZnO yang digunakan?

b. Bagaimana metode preparasi pasta pada DSSC berbasis nanorod ZnO untuk fabrikasi fotoelektroda ZnO?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batas ruang lingkup dari penelitian ini antara lain:

- a. ZnO yang digunakan berasal dari sintesis Zinc Acetate
- b. Jenis pewarna yang digunakan yaitu ekstrak kulit manggis
- c. Preparasi pasta menggunakan metode yang dilakukan oleh Grätzel dan Yonekawa
- d. Pelapisan ZnO pada kaca TCO menggunakan metode *doctor blade*

1.4 Tujuan Tugas Akhir

- Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini antara lain:
- a. Untuk mengetahui proses sintesis nanorod ZnO.
- b. Untuk menganalisa faktor-faktor yang mempengaruhi preparasi pasta pada DSSC berbasis nanorod ZnO.





BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Seng Oksida (ZnO)

ZnO (Seng Oksida) adalah material semikonduktor golongan II-VI yang tergolong ke dalam oksida logam (Yi Hu, 2008; Abdullah 2012). *Zinc Oxide* (ZnO) atau dikenal juga dengan nama lain *zinc white* memiliki massa molekul 81,48 gr/mol, energi *gap* sebesar 3,37 eV dan *melting point* 1975°C (Abdullah, 2012). Material semikonduktor ini memiliki sifat pembawa muatan elektron (semikonduktor tipe-n) meskipun masih terdapat perdebatan bahwa tergolong semikonduktor tipe-p di mana *hole* berperan sebagai pembawa muatan (Uthirakumar, 2011). Parameter fisik secara mendasar dari ZnO ditunjukkan pada Tabel 2.1 (Uthirakumar, 2011; Zhang, 2009).

Parameter Fisik	ZnO
Struktur Kristal	Roksalt, zinc blende, dan
	wurtzite
Energi Band Gap (eV)	3,2-3,3
Mobilitas Elektron (cm ² Vs ¹)	205 - 300 (bulk ZnO), 1000
	(single nanowire)
Indeks Refraktif	2,0
Massa Elektron Efektif (me)	0,26
Konstanta Relatif dielektrik	8,5
Koefisien Difusi Elektron	5,2 (bulk ZnO), 1.7×10^4
(cm s)	(nano-particulate film)
Densitas	0,606 g/cm ³
Konduktivias Termal	0,6; 1-1,2
Excitation Binding Energy	60 meV
Massa efektif hole	0,59

Tabel 2.1 Parameter fisik ZnO (Uthirakumar, 2011; Zhang, 2009)

Karakteristik ZnO sangat dipengaruhi oleh besar kecil ukuran partikel ZnO yang diperoleh. Namun, pada dasarnya karakteristik partikel ZnO dipengaruhi oleh ikatan antar atom dalam kristal, orientasi bidang kristal dan struktur dari kristalnya.

Berdasarkan atom pembentuk ZnO, jelaslah bahwa ZnO disusun oleh atom logam *zinc* (Zn^{2+}) dan atom *oxigen* (O^{2-}). Pada kristal ZnO terdapat ikatan campuran antara ikatan ionik dan kovalen.

ZnO yang tergolong dalam salah satu oksida logam dapat dengan mudah mengalami proses kristalisasi. Sehingga ZnO telah banyak diproduksi dalam berbagai struktur nano. Dengan struktur ini, maka dapat berpengaruh pada kemampuan efek fotokatalik, elektronik, dan optik (Uthirakumar, 2011; Zhang, 2009). Jenis struktur kristal dari material ZnO antara lain *roksalt, zinc blende*, dan *wurtzite* (Uthirakumar, 2011). Berdasarkan data dari JCPDS 36-1451, didapatkan bahwa kecenderungan orientasi kristal ZnO terletak pada daerah (20) 36° pada (101). Gambar 2.1 menunjukkan ilustrasi dari kristal heksagonal *wurtzite*.

Gambar 2.1 (a) memperlihatkan ikatan ionik dan kovalen antara Zn²⁺ (atom berwarna biru) dengan O²⁻ (atom berwarna merah). Terjadinya ikatan ion dan kovalen menimbulkan bentuk struktur heksagonal dari kristal ZnO. Pada Gambar 2.1 (b) dapat dilihat bidang kristal ZnO berbentuk segi enam dengan jarak antar atomnya sama dan pada Gambar 2.1 (c) bidang kristal ZnO berbentuk persegi panjang. Sehingga dari Gambar 2.1 dapat disimpulkan bahwa struktur kristal terbentuk dari ikatan atomatom penyusun kristal dan orientasi bidang kristal.



dilihat dari samping (Anggoro, 2012)

Pada struktur nano, morfologi ZnO yang telah diketahui antara lain nanoporus, nanopartikel, *nanotube*, nanorod, dan *nanosheet*, yang digunakan untuk fotoanoda di DSSC (Zhifeng, 2011). Peningkatan transfer elektron pada DSSC dilakukan dengan menggantikan fotoelektroda nanopartikel dengan kristal tunggal fotoelektroda nanorod (Lee, 2011). Pada nanorod ZnO, sintesis secara kimia dapat dilakukan dengan mudah menggunakan metode hidrolisis (Wahyuono, 2013). Gambar 2.2 menunjukkan skema dari sebuah DSSC.



Gambar 2.2 Skema yang mempresentasikan sebuah DSSC pada (a) nanopartikel dan (b) nanorod dari DSSC (Ulfa, 2012)

2.2 Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)

Pada tahun 1991, penelitian tentang pewarna tersentisitasi telah dilakukan oleh Michael Grätzel dan teman-temannya. *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC) mengkonversi energi cahaya ke listrik dalam skala molekular. Lain halnya dengan sel surya konvensional. Pada DSSC, penyerapan cahaya dilakukan oleh pewarna dan separasi muatan dilakukan oleh material semikonduktor yang memiliki energi pita celah yang lebar. Prinsip kerja DSSC berdasarkan mekanisme transfer elektron pada fotosintesis atau berdasarkan proses elektrokimia (Uthirakumar, 2011; Zhang, 2009). Dengan keberadaan pewarna, maka prinsip kerjanya dapat disetarakan dengan proses

fotosintesis karena pewarna berfungsi untuk penyerap cahaya guna memproduksi elektron yang tereksitasi (Latif, 2012).

Beberapa keuntungan dalam penggunaan DSSC antara lain biaya fabrikasi yang murah, ramah lingkungan, dan dapat menghasilkan efisiensi yang cukup tinggi (Sophie, 2010). Sehingga DSSC dapat dipakai sebagai pengganti sel surya konvensional berbasis silikon yang memiliki kekurangan seperti tidak dapat diperbaharui, terbatasnya bahan silikon di alam, fabrikasi sel surya yang mahal, dan proses pembuatan yang rumit (Anggoro, 2012; Sophie, 2010).

2.2.1 Cara kerja DSSC

Pada bagian luar dari DSSC merupakan kaca TCO (*Transparent Conducting Oxide*) yang memiliki fungsi sebagai elektroda dan elektroda lawan. Pasangan redoks yang umum digunakan yaitu I/I_3 (iodide/triiodide). Pada permukaan elektroda dilapisi oleh anopori yaitu jenis oksida logam yang umum dipakai adalah TiO₂ yang nantinya pewarna akan terardsorpsi di pori TiO₂ tersebut. *Ruthenium complex* merupakan jenis pewarna yang sering digunakan (Grätzel, 2003).

Prinsip kerja dari DSSC secara prinsipnya yaitu reaksi dari transfer elektron. Diawali dengan proses eksitasi elektron pada molekul pewarna akibat adanya absorbsi foton. Elektron tersebut tereksitasi dari keadaan ground state (S^0) menuju level yang lebih tinggi yaitu S^* . Kemudian elektron segera terinjeksi menuju conduction band semikonduktor ZnO, sehingga molekul pewarna teroksidasi di S^+ . Selanjutnya elektron bergerak melalui porous lapisan ZnO ke arah kontak belakang berupa lapisan konduktif transparan TCO dan menuju ke elektroda lawan. Elektron kembali memasuki sel dan mengurangi donor yang teroksidasi (Γ) dalam larutan elektrolit. Pewarna yang teroksidasi (S^0) menerima elektron dari donor tereduksi (I_3^-) dan dapat kembali lagi ke molekul awal. Dengan berlakunya siklus ini, maka terjadi konversi secara langsung dari cahaya matahari menjadi listrik. Siklus operasional yang terjadi pada DSSC dalam bentuk reaksi kimia adalah (Uthirakumar, 2011; Zhang, 2009; Janne, 2002):

	Anoda	
Absorpsi	$S^{\circ} + hv \rightarrow S^{*}$	(2.1)
Injeksi Elektron	$S^* \rightarrow S^+ + e^-(ZnO)$	(2.2)
Regenerasi	$2S^+ + 3I^- \rightarrow 2S + I_3^-$	(2.3)
	Katoda	
	$I_3 + 2e^{-}(Pt) \rightarrow 3I^{-}$	(2.4)
	Sel	
	$e^{-}(Pt) + hv \rightarrow e^{-}(ZnO)$	(2.5)

Untuk skema ilustrasi mekanisme transfer elektron pada DSSC ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema ilustrasi mekanisme transfer elektron pada DSSC

2.2.2 Struktur dan komponen DSSC

Gambar 2.4 menunjukkan komponen dari DSSC yang secara umum terdiri atas substrat berupa kaca TCO, elektroda nanorod, pewarna, elektrolit, dan elektroda lawan (Janne, 2002; Munukutla, 2011). Bagian substrat dilapisi oleh elektroda nanorod berupa oksida logam, seperti nanorod ZnO. Sementara bagian substrat yang lain dilapisi oleh karbon/platina sebagai elektroda lawan. Di bagian dalam DSSC terdapat pewarna yang akan diserap oleh nanorod ZnO. Selain itu, elektrolit juga disuntikkan pada kaca TCO setelah bagian pertama substrat terlapisi oleh elektrolit nanorod dan pewarna.



Gambar 2.4 Skema ilustrasi komponen DSSC

Komponen-komponen dari DSSC antara lain:

a. Substrat

TCO

Jenis substrat yang umumnya digunakan adalah TCO (*Transparent Conducting Oxide*). TCO (Gambar 2.5) adalah material konduktif dengan perbandingan penyerapan cahaya yang rendah pada daerah *visible*. TCO biasanya dipreparasi melalui teknologi *thin film* dan digunakan pada divais *opto-eletrical*. TCO dapat mengalirkan muatan. Kaca TCO ini dilapisi oleh substrat konduktif yang bekerja sebagai pengumpul arus. Umumnya, substrat konduktif yang digunakan adalah lapisan tipis tin oksida (SnO₂) yang diberi *dopant* fluorine (*fluorine tin oxide* atau FTO) atau indium (*indium tin oxide* atau ITO) (Janne, 2002). Walaupun stabilitas kimia dan *interfacial properties* sangat diperlukan





Gambar 2.5 TCO (*Transparent Conducting Oxide*)

b. Lapisan oksida nanorod DSSC

Lapisan oksida semikonduktor digunakan pada proses fotoelektrokimia dikarenakan lebar pita energinya yang besar (3,37eV), sehingga dapat berfungsi sebagai semikonduktor transparan, maka foton yang terserap dapat lebih banyak (Janne, 2002). Selain itu, penggunaan material berstruktur nano pada DSSC digunakan untuk meningkatkan luas permukaan agar mampu memaksimalkan penyerapan cahaya oleh pewarna. Oksida Seng (ZnO) adalah salah satu jenis material yang memiliki energi pita celah yang hampir sama dengan TiO₂ dan mudah disintesis dalam variasi struktur nano (Uthirakumar, 2011; Zhang, 2009; Latif, 2012).

c. Pewarna

Pewarna memiliki peranan yang sangat penting pada susunan DSSC. Pewarna yang telah diadsorbsi oleh ZnO berfungsi untuk menyerap cahaya atau foton. (Janne, 2002). Pewarna yang umumnya digunakan dan memiliki efisiensi tinggi adalah Ruthenium complex yang mencapai 11-12% (Grätzel, 2003). Jenis polypyridyl Ruthenium complex yang telah menghasilkan efisiensi tinggi dan stabilitas yang panjang adalah N3, N719 dan *black dye*. Pada Ruthenium complex, mekanisme transfer berlangsung lebih cepat daripada reaksi kembali, di mana elektron berekombinasi dengan molekul pewarna teroksidasi lebih dari pada saat mengalir melalui sirkuit dan saat bekerja. Namun, jumlahnya yang terbatas, harganya yang mahal, dan sintesis yang cukup sulit membuat penelitian berlanjut untuk menemukan jenis pewarna yang baru. Hingga saat ini, telah berhasil dikembangkan pewarna organik yang murah dan mudah diperoleh. Pewarna diperoleh dari unsur pewarna alami (salah satunya yang mengandung Flavonoids) dari buahbuahan, bunga, dan bahan organik lainnya. Sebuah fotosensitizer yang efisien harus memenuhi beberapa persyaratan seperti penyerapan yang terjadi berada pada rentang cahaya tampak, terjadi adsorbsi yang kuat pada permukaan semikonduktor, elektron yang diinjeksikan kedalam pita konduksi semikonduktor harus efisien, dan pada proses yang terjadi harus mempunyai beberapa gugus =O atau -OH (Janne, 2002).

d. Elektrolit

Kerapatan arus *short circuit* (J_{sc}) dan tegangan *open circuit* (V_{oc}) sangat bergantung pada elektrolit. Elektrolit yang digunakan pada DSSC sebagian besar iodine (I) dan triiodide (I_3) , yang merupakan mediasi elektron di antara fotoelektroda TiO₂ dan elektrola lawan. DSSC generasi pertama menggunakan elektrolit cair organik yang

mengandung litium *iodide/iodine*. Karakteristik ideal yang dimiliki oleh pasangan redoks elektrolit DSSC antara lain (Latif, 2012; Janne, 2002):

- Secara termodinamika, potensial redoksnya berlangsung sesuai dengan potensial redoks dari pewarna untuk tegangan sel maksimal.
- Kelarutannya tinggi terhadap pelarut untuk mendukung konsentrasi yang tinggi dari muatan pada elektrolit.
- Pelarut memiliki koefisien difusi yang tinggi untuk transportasi massa yang efisien.
- Tidak ada karakteristik spektral pada daerah cahaya tampak untuk menghindari absorbsi cahaya datang pada elektrolit.
- Kestabilan yang tinggi baik dalam bentuk tereduksi maupun teroksidasi.
- Mempunyai reversibilitas tinggi.
- *Inert* terhadap komponen lain pada DSSC.
- e. Katalis elektroda lawan

Persyaratan dari bahan yang digunakan sebagai elektroda lawan pada DSSC adalah bahan tersebut harus memiliki resistan perpindahan yang rendah dan kerapatan arus pertukaran yang tinggi untuk mereduksi bentuk oksidasi dari mediator beban. Elektroda lawan membantu perpindahan elektron dari sirkuit eksternal kembali ke elektrolit redoks. Katalis dibutuhkan untuk mempercepat reaksi reduksi triiodia pada kaca TCO. Umumnya, digunakan platina (Pt) yang digunakan sebagai katalis karena efisiensi kataliknya yang tinggi. Pendekomposisian platina pada TCO dapat dilakukan dengan berbagai metode diantaranya adalah elektrokimia, sputtering, spin coating atau pyrolysis. Selain platina, digunakan juga karbon sebagai katalis. Hal ini dikarenakan karbon memiliki luas permukaan yang besar dan harganya yang tergolong murah jika dibandingkan dengan platina (Janne, 2002).

2.3 Pengukuran Arus dan Tegangan (I-V) Solar Cell

Daya listrik yang dihasilkan DSSC pada saat menerima cahaya diperoleh dari perfiormansi DSSC untuk menghasilkan tegangan dan arus listrik pada beban di waktu yang sama. Performansi ini digambarkan dalam kurva arus-tegangan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Kurva arus-tegangan pada DSSC

Pada saat short circuit yang dihasilkan adalah arus maksimum atau arus short circuit (I_{SC}), sementara pada open circuit tidak mengalir arus sehingga dihasilkan tegangan maksimum atau tegangan open circuit (V_{OC}). Untuk titik pada kurva I-V di mana menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut Maximum Power Point (MPP) (Janne, 2002).

Dari karakteristik kurva I-V pada Gambar 2.6, maka dapat diketahui besar efisiensi dan *Fill Faktor* (FF) dari DSSC. Persamaan FF diperlihatkan pada persamaan 2.6. Semakin tajam siku kurva (Gambar 2.6), maka FF semakin mendekati nilai 1 dan performansi DSSC semakin baik.

$$FF = \frac{P_{\max} \times I_{\max}}{V_{oc} \times I_{sc}}$$

Nilai FF berpengaruh pada nilai hambatan internal dari FTO atau ZnO, elektrolit, dan kaca TCO (Dutta, 2012; Yonekawa, 2012). Dari nilai FF, maka daya keluaran maksimum sebagai berikut (Janne, 2002):

(2.6)

(2.7)

$$P_{\text{max}} = FF \times V_{oc} \times I_{sc}$$

Efisiensi DSSC ditunjukkan pada persamaan 2.8, di mana daya yang dihasilkan oleh sel (P_{max}) dibagi daya yang masuk ke sel (P_{light}). Efisiensi DSSCini bergantung oleh temperatur dari sel, kualitas pencahayaan seperti besar intensitas dan distribusi pencahayaan.

$$\eta = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{light}}} \tag{2.8}$$

2.4 Pengukuran Incident Photon to Current Convertin Efficiency (IPCE)

IPCE digunakan untuk mengetahui daerah sensitifitas dari DSSC pada panjang gelombang cahaya tampak. IPCE dapat dihitung dengan memperhatikan efisiensi setiap proses yang menunjukkan proses konversi elektrik di DSSC (persamaan (2.9)).

$$IPCE(\lambda) = \eta_{lh}(\lambda) \eta_{ini}(\lambda) \eta_{col}(\lambda)$$
(2.9)

Dengan $\eta_{lh}(\lambda)$ adalah absorptansi (efisiensi cahaya yang diterima) dari lapisan oksida yang konduktif, $\eta_{inj}(\lambda)$ adalah efisiensi injeksi elektron dari *sensitizer* menuju oksida, dan $\eta_{col}(\lambda)$ adalah efisiensi elektron yang dapat disalurkan.

Absorptansi $(\eta_{lh}(\lambda))$ dari lapisan yang tersentitasi menunjukkan bagaimana molekul pewarna menyerap cahaya diterimanya. Sementara efisiensi injeksi $(\eta_{ini}(\lambda))$ yang menunjukkan adanya kemungkinan pewarna molekul membangkitkan kemampuan injeksi pada elektron dari pita konduksi semikondukutor. Akibat adanya injeksi elektron tersebut, maka terjadi pergerakan elektron dari permukaan semikonduktor menuju substrat. Proses pergerakan elektron ini berpengaruh pada arus yang dihasilkan oleh DSSC (Rodriguez, 2011). Perhitungan IPCE menggunakan persamaan 2.10.

 $IPCE(\%) = \frac{1240(eV.nm) \times J_{sc}(\mu A.cm^{-2})}{\lambda(nm) \times P_{incidentlight}(\mu W.cm^{-2})}$ (2.10)

Halaman ini memang dikosongkan.

METODOLOGI PENELITIAN Gambar 3.1 berikut menunjukkan diagram alir penelitian. Mulai Persiapan Alat dan Bahan Sintesis ZnO Tidak Karakterisasi UV-Vis, DSC TGA, XRD dan SEM Ya Preparasi Fotoelektroda ZnO dan Coating dengan dye Manggis Fabrikasi DSSC Karakterisasi daerash sesnsitivitas spektrum DSSC dengan IPCE Pembahasan pengaruh pasta dan perlakuan panas terhadap performansi DSSC Kesimpulan

BAB III

Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.1 Proses Sintesis Nanorod ZnO

Sintesis nanorod ZnO menggunakan metode hidrolisis yaitu dengan penambahan air dalam reaksi ZnAc dan *ethylene glycol*. Nanorod ZnO dibentuk dari nukleasi melalui hidrolisis dan kondensasi. Sejumlah 0,88 gram dari Zn(CH₃COOH)₂.2H₂O dilarutkan ke dalam 80 mL *ethylene glycol* (EG) dan 40 mL aquades. Kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 180 rpm dan dipanaskan pada suhu 200°C selama 5 jam (Gambar 3.2(a)). Selanjutnya dilakukan pendinginan pada suhu ruang, sehingga didapatkan larutan putih (Gambar 3.2(b)).



Gambar 3. 2 (a) proses sintering menggunakan *Hot plate* (b) larutan putih hasil reaksi ZnAc dan EG

Larutan putih tersebut diendapkan hingga terbentuk endapan putih. Endapan putih tersebut diambil dengan membuang larutan bening di atasnya. Kemudian dilakukan pencucian menggunakan ethanol pada endapan putih tersebut. Endapan koloid ZnO yang dihasilkan kemudian dipanaskan menggunakan *hot plate* tipe *Yellow Mag HS7* pada suhu 100°C selama 1 jam. Hasilnya adalah serbuk ZnO yang kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM (Gambar 3.3).



3.2 Preparasi Fotoelektroda ZnO

Preparasi fotoelektroda terdiri atas pembuatan pasta ZnO dan pemberian variasi temperatur. Untuk pembuatan ZnO, diterapkan 2 buah metode, antara lain:

a. Metode yang telah dilakukan oleh Grätzel (Grätzel, 2012) yaitu 2 gr ZnO direaksikan dengan 0,7 ml aquades. Kemudian CH₃COOH ditambahkan ke dalam larutan dan dilakukan penetesan 0,1 ml Triton X-100 (3 tetes) agar terjadi peningkatan penyebaran koloid substrat FTO. Pelapisan ZnO pada kaca FTO menggunakan teknik *doctor blade* (Gambar 3.4).



Gambar 3.5 Proses pemanasan lapisan tipis ZnO pada hot plate
3.3 Ekstraksi dan Perendaman Pewarna

Zat warna/pewarna alami yang digunakan adalah kulit manggis. Kulit manggis dikeringkan dengan memanfaatkan cahaya matahari selama 3-5 hari untuk menghilangkan getah yang terdapat pada kulit manggis tersebut. Kulit manggis yang sudah kering dihaluskan dengan menggunakan blender hingga diperoleh serbuk dengan ukuran yang kecil dan seragam (Gambar 3.6).



Gambar 3.6 Serbuk kulit manggis yang telah dihaluskan menggunakan blender

Metode yang digunakan untuk ekstraksi pewarna yaitu menggunakan alat soklet (Gambar 3.7). Prinsip dari metode ini yaitu penguapan 100ml ethanol yang ditempatkan pada labu yang dipanaskan pada suhu 200°C, kemudian uap tersebut melewati pipa samping alat soklet dan mengalami pendinginan ketika melewati proses kondensasi. Ethanol yang terkondensasi akan jatuh pada bagian dalam alat soklet yang berisi 20 gram serbuk pewarna, sehingga *anthocyanin* yang ingin diekstrak dari kulit manggis akan tertarik dan ditampung pada labu tempat ethanol berasal.



Gambar 3.7 Alat soklet

Setelah didapatkan hasil ekstraksi berupa cairan, dilakukan perendaman fotoelektroda ZnO selama 12 jam (Gambar 3.8).



Gambar 3.8 Proses perendaman fotoelektroda pada hasil ekstraksi pewarna kulit manggis

3.4 Fabrikasi DSSC (Dye-Sensitized Solar Cells)

Langkah untuk fabrikasi DSSC yaitu elektroda karbon dilapiskan pada kaca TCO sisi yang konduktif dan direkatkan pada sisi yang bersesuaian dengan area kaca TCO yang telah terlapisi ZnO dan pewarna. Struktur *sandwich* tersebut (Gambar 3.9) kemudian dijepit menggunakan *crocodile clamper*. Telah dilakukan penambahan karbon serta jelaga dari lilin sebagai katalis (Lampiran A).

Sementara itu, dibuat larutan gel elektrolit dengan melarutkan 0,8 gram KI 0,5M dan 0,127 gram I_2 0,05M ke dalam *acetronitril*. Kemudian larutan gel elektrolit diisikan pada celah antara kedua kaca TCO.



Gambar 3.9 Ilustrasi struktur *sandwich* DSSC dengan fotoelektroda ZnO

3.5 Karakterisasi Material ZnO

Hasil dari sintesis ZnO dan fotoelektroda ZnO dilakukan uji X-Ray Diffraction (XRD) untuk melihat struktur kristal, tingkat kemurnian dari kristal, dan jenis-jenis kristal pada ZnO. Selain itu, pada sintesis ZnO juga dilakukan uji Scanning Electron Microscope (SEM) untuk mengetahui struktur morfologi dan ukuran kristal ZnO.

3.5.1 X-Ray Diffraction (XRD)

X-ray adalah radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang 1,54 Å. Panjang gelombang tersebut sama dengan ukuran atom pada kristal. Setiap struktur kristal mempunyai pola difraksi *X-ray* yang berbeda. Dari pola difraksi yang dihasilkan dapat ditentukan struktur kristal dan ukuran kristal dari ZnO (Anggoro, 2012).

Sesuai dengan Gambar 3.10, dasar dari prinsip pendifraksian sinar X yaitu difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis fotonfoton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif. Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg:

$$n \lambda = 2d \sin \theta; n = 1, 2, \dots$$

(3.1)

Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X di jatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi *X-ray* untuk hampir semua jenis material. Standar ini disebut JCPDS.



Gambar 3.10 Prinsip dasar difraksi Sinar-X

Dengan menghitung d dari rumus Bragg tersebut serta mengetahui nilai h, k, l dari masing – masing nilai d, maka dapat ditentukan latis parameter (a, b dan c) dengan persamaan:



Gambar 3.11 X-Ray Diffraction (XRD)

Pada Gambar 3.11, karakterisasi dilakukan dengan sumber radiasi CuK α dan beroperasi pada tegangan 40kV dengan arus 20mA. Sampel serbuk ZnO diletakkan pada sampel *holder* dengan panjang 5,12 cm, tebal 0,83 cm, dan kedalaman 0,2 cm, serta lebar *holder* 1,58 cm. Spektrum XRD dilakukan pada sudut 10° hingga 90° dengan *peak base width* °2 θ . Untuk penentuan jenis kristal nanorod ZnO disesuaikan dengan data pada JCPDS 36-1451. Ukuran kristal (D) dapat ditentukan dengan persamaan *Scherrer* dari spektrum XRD:

$$D = \frac{k \times \lambda}{\cos(\theta) \times FWHM}$$
(3.3)

di mana k adalah konstanta factor geometri kristal (pada kristal kubik nilainya adalah 0,94), panjang gelombang *X-ray* (λ) yang digunakan yaitu 1,54Å=0,154 nm, sudut refleksi Bragg (θ) dan FWHM (*Full Width at Half Maximum*) dalam satuan radian. Dari persamaan (3.3), diperoleh nilai FWHM dari hasil karakterisasi XRD. Skema penentuan nilai FWHM berdasarkan hasil karakterisasi XRD dapat diperlihatkan pada Gambar 3.11.





Dari gambar 3.12, maka nilai FWHM pada grafik XRD dapat ditentukan dengan persamaan:

$$FWHM = \frac{1}{2} (2\theta_2 - 2\theta_1) = \theta_2 - \theta_1$$
(3.4)

3.5.2 Scanning Electron Microscope (SEM)

Mikroskop elektron menggunakan sebuah sinar fokus elektron berenergi tinggi untuk menghasilkan berbagai sinyal pada permukaan sampel padat. Sinyal yang berasal dari interaksi elektron dan sampel memberikan informasi mengenai permukaan morfologi (tekstur), komposisi kimia, dan struktur kristal serta orientasi bahan yang membentuk sampel (Anggoro, 2012). Sistem kerja alat ini hampir sama dengan mikroskop optis, hanya berbeda pada penembak elektron yang digunakan. Pada Gambar 3.13 ditunjukkan prinsip kerja peralatan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).



Elektron yang dipercepat dalam perangkat peralatan SEM membawa sejumlah energi kinetik dan energi ini hilang sebagai beberapa sinyal yang dihasilkan oleh interaksi antara elektron dan sampel ketika berkas elektron mengenai permukaan sampel padat. Sinyal-sinyal ini termasuk elektron sekunder (yang menghasilkan gambar SEM), elektron hambur balik (BSE), difraksi elektron hambur balik (EBSD yang digunakan untuk menentukan struktur kristal dan orientasi dari mineral), foton (karakteristik sinar-X yang digunakan untuk analisis unsur dan kontinum sinar-X), cahaya tampak (pemendaran sinar katoda-CL), dan kalor. Elektron sekunder dan elektron hambur balik biasanya digunakan untuk sampel pencitraan: elektron sekunder yang paling penting untuk menunjukkan morfologi dan topografi pada sampel dan yang paling elektron hambur balik penting untuk menggambarkan ketelitian dalam komposisi dalam sampel dengan banyak fasa (yaitu untuk kualifikasi fasa secara kualitatif) (Anggoro, 2012).



Gambar 3.14 Scanning Electron Microscope (SEM) Fei Inspect s50

Morfologi dari serbuk Zn diperlihatkan dengan menggunakan SEM Fei Inspect s50 sesuai dengan Gambar 3.14 dengan perbesaran 1500 hingga 25000x pada tegangan 20kV.

3.5.3 AFM (Atomic Force Microscopy)

Karakterisasi AFM dilakukan pada lapisan fotoelektroda ZnO. Karakterisasi dilakukan di laboratorium Energi ITS. *Instrument* yang digunakan adalah Brüker N8 NEOS.

AFM ditemukan pada tahun 1985 oleh Gerd Binnig dan Heinrich Rohrer. Sebelumnya, pada tahun 1980 Binnig dan Gerber menemukan *Scanning Tunneling Microscope* (STM) di IBM *Research – Zurich*. Mereka menerima hadiah Nobel untuk Fisika pada tahun 1986. AFM secara komersial pertama diperkenalkan pada tahun 1989.

Jika dibandingkan dengan mikroskop jenis lain, AFM memiliki beberapa kelebihan (Muid, 2012):

- AFM dibandingkan SEM: AFM menyediakan pengukuran topografi dengan kontras luar biasa tinggi dan fitur permukaan yang langsung (tidak diperlukan lapisan).
- AFM dibandingkan TEM: gambar AFM tiga dimensi diperoleh tanpa persiapan sampel yang mahal dan menghasilkan informasi yang jauh lebih lengkap dibandingkan dengan profil dua dimensi.
- AFM dibandingkan Mikroskop Optik: AFM memberikan perbesaran yang jauh lebih besar dan berbagai jenis sampel dapat dianalisa.

AFM (*Atomic Force Microscopy*) adalah mikroskop yang berfungsi mengetahui karakter permukaan material. Perangkat utama AFM merupakan sebuah tip yang ditempelkan di ujung *cantilever* (Muid, 2012). Prinsip kerja dari AFM diperlihatkan pada Gambar 3.15. *Cantilever* beserta tip digerakkan sepanjang permukaan sampel yang akan di-uji. Dikarenakan tekstur permukaan sampel yang tidak rata, maka selama penggerakkan tip, sudut kemiringan *cantilever* mengalami perubahan. Perubahan sudut tersebut dideteksi oleh laser. Berkas laser kemudian ditangkap fotodetektor sehingga dapat dicitrakan dalam bentuk gambar berupa kedalaman tekstur permukaan sampel. Dengan program pengolahan citra yang ada dalam komputer, profil permukaan sampel dapat dibangun (Khairurrijal, 2009).



Gambar 3.15 Ilustrasi tip dan sampel yang berdekatan terjadi interaksi antar atom (<u>www.wikipedia.org</u>)

3.6 Karakterisasi UV-Vis (*Ultraviolet-visible Spectroscopy*) Pewarna Kulit Manggis

Ultraviolet-visible Spectroscopy (UV-Vis) berfungsi untuk mengetahui kemampuan absorbansi pewarna kulit manggis. Terdapat 2 lampu sebagai sumber cahaya, yaitu lampu wolfram digunakan untuk mengukur sampel pada daerah tampak di mana bentuk lampu ini mirip dengan bola lampu pijar biasa dan memiliki panjang gelombang antara 350-2200 nm serta spektrum radiasianya berupa garis lengkung, dan lampu *deuteriumb* yang dipakai pada panjang gelombang 190-380 nm di mana spektrum energi radiasinya lurus dan digunakan untuk mengukur sampel yang terletak pada daerah UV. Cahaya yang dihasilkan oleh lampu akan dibaurkan oleh monokromator (alat yang akan memecah cahaya polikromatis menjadi cahaya tunggal (monokromatis) dengan komponen panjang gelombang tertentu) kemudian diteruskan oleh cermin yang berotasi (*rotating disc*) dan cermin datar. Hasil hamburan cahaya diterima oleh detektor sehingga terjadi pengubahan data cahaya menjadi angka yang tampak pada monitor. Ilustrasi dari prinsip kerja UV-Vis ditunjukkan pada Gambar 3.16 (Barron, dkk., 2010).



Gambar 3.16 Prinsip Kerja UV-Vis Spectrofotometer (Barron, dkk., 2010)

Karakterisasi UV-Vis pewarna kulit manggis dilakukan di laboratorium energi LPPM ITS. Karakterisasi ini menggunakan UV1100 *Spectrophotometer* (Gambar 3.17) pada jangkauan panjang gelombang 380 – 700 nm. Sampel dilarutkan selama 10 kali dengan menggunakan ethanol 90% sebelum dilakukan pengujian.



Gambar 3.17 UV-Vis 1100 Spectrophotometer

3.7 Karakterisasi TGA-DSC (Analysis-Differential Scanning Calorimetry) Larutan Elektrolit

Thermogravity Analysis (TGA) merupakan suatu teknik untuk pengukuran variasi massa sampel yang berubah akibat perubahan temperatur pada kondisi atmosfer terkontrol. Pada Gambar 3.18, digunakan termobalance untuk pengukuran berat sampel sebagai fungsi temperatur. Sampel diletakkan bergantung pada timbangan dalam tanur, sementara timbangannya di luar tanur.



Gambar 3.18 Analisis Thermogravimetri (TGA)

Sementara Differential Scanning Calorimetry (DSC) mengukur panas yang dilepas atau diserap selama transisi sampel akibat perlakuan temperatur (Differential: sampel relatif pada standar, Scanning: temperatur diatur, Calorimeter: pengukuran panas). DSC mengukur baik kualitatif maupun kuantitatif terkait sifat fisik dan kimia dengan memerlukan informasi tambahan (proses endothermic: sampel mengabsorbsi energi, proses eksothermik: sampel melepaskan energi: perubahan kapasitas panas). Pada DSC, dilakukan analisa dengan mengukur perbedaan kalor yang masuk ke dalam sampel dan pembanding sebagai fungsi temperatur (Ginting, dkk., 2005).



Gambar 3.19 TGA-DSC Metler Toledo Star e-system

Analisa termal tersebut menggunakan TGA-DSC Metler Toledo Star e-system (Gambar 3.19). *Crucible* dan material referensi yang digunakan adalah Alumina 40µl. Sampel dipadatkan pada *holder*. Pengukuran dioperasikan pada temperatur ruang hingga temperatur 400°C.

3.8 Pengujian Performansi DSSC

Performansi DSSC dapat ditunjukkan pada pengukuran arus (I) dan tegangan (V) dengan dilakukan variasi besar hambatan pada sinar matahari secara langsung. Sementara itu, perhitungan intensitas cahaya menggunakan *solar power meter* bertujuan untuk mengetahui besar daya yang diterima. Selain kurva I-V, dilakukan pula pengukuran IPCE (*Incident Photon to Current Convertin Efficiency*).

3.8.1 Pengukuran arus dan tegangan

Dari pengukuran arus dan tegangan, maka diperoleh kurva I-V yang nantinya digunakah untuk menghitung besar efisiensi (η), *Fill Factor* (FF) dan rapat arus *short circuit* (Jsc) dari DSSC dengan menggunakan persamaan (2.6) dan (2.8). Gambar 3.20 merupakan rangkaian hambatan untuk menghasilkan arus dan tegangan.



Gambar 3.20 Rangkaian hambatan untuk menghasilkan arus

3.8.2 Pengukuran IPCE

Pengukuran IPCE dilakukan dengan menggunakan alat monokromator (CT-10T, JASCO) dengan sumber cahaya lampu Halogen (GR-150) di Laboratorium Rekayasa Fotonik Teknik Fisika FTI-ITS. Pengukuran daya lampu halogen yang melewati monokromator diukur menggunakan *Optical Power Meter* (Thorlab S-120C) (Gambar 3.21). Perhitungan IPCE berdasarkan persamaan (2.10).

Multimeter Lampu Halogen Monokromator DSSC Rangkaian Elektrik 1 cm 4 cm Gambar 3.21 Ilustrasi skema pengambilan data IPCE



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Nanorod ZnO 4.1.1Karakterisasi XRD

Karakterisasi XRD dilakukan dua kali, yaitu karakterisasi pada serbuk ZnO hasil sintesis dan fotoelektroda ZnO yang telah melalui proses pemanasan anil.



Gambar 4.1 Hasil karakterisasi XRD serbuk nanorod ZnO

Hasil karakterisasi XRD serbuk nanorod ZnO menggunakan metode kopresipitasi ditunjukkan pada Gambar 4.1. Berdasarkan standar referensi (JCPDS 36-1451), tiga puncak tertinggi telah didapatkan, yaitu pada (100), (002), dan (101) yang berbentuk kristal dengan struktur kristal yang sesuai dengan struktur heksagonal *wurtzite* (Gambar 2.1). Orientasi sumbu a dan c berkolerasi dengan (100) dan (002). Intensitas terbesar untuk nanorod ZnO terletak pada 20 sebesar 36,2° yang merupakan orientasi (101).



Gambar 4.2 Hasil karakterisasi XRD fotoelektroda dengan metode (a) Yonekawa dan (b) Grätzel

Orientasi dari nanorod ZnO dapat dihitung menggunakan persamaan (Thupakula, 2012):

 $P_{hkl} = \frac{I_{hkl}}{I_{hkl}} \frac{\sum I_{hkl}}{\sum I_{hkl}}$ (4.1)

 P_{hkl} merupakan perbandingan dari (hkl) yang merepresentasikan orientasi dari (hkl) tersebut. Nilai $P_{hkl}=1$ menunjukkan pertumbuhan partikel secara acak, sementara $P_{hkl}>1$ berarti partikel mempunyai arah orientasi terhadap (hkl) tersebut. I_{hkl} mengintegrasikan intensitas Bragg yang didapatkan dari hasil karakterisasi XRD dan I_{hkl} merupakan intensitas dari standar JCPDS.

Nilai P_{hkl} tertinggi terjadi pada hkl (101) sebesar 1,16. Sementara hkl (100) dan (002) memiliki nilai P_{hkl} masing-masing 0,87 dan 0,08. Hal ini menunjukkan bahwa nanorod ZnO tidak memiliki orientasi.

Selain serbuk nanorod ZnO hasil sintesis, hasil karakterisasi XRD untuk fotoelektroda yang telah melalui pemanasan juga menghasilkan tiga puncak tertinggi untuk orientasi (100), (002), dan (101), seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2 (a) dan (b).

Pada Gambar 4.3 (a), intensitas nanorod ZnO menggunakan metode Yonekawa cenderung menurun hingga temperatur 300°C dan naik pada temperatur 400°C. Perubahan ukuran partikel dan intensitas juga terjadi pada fotoelektroda berbasis metode Grätzel akibat variasi temperatur anil yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 (b), di mana nilai intensitas nanorod ZnO cenderung naik hingga temperatur 400°C. Nilai intensitas terendah terjadi pada temperatur 100°C.



Gambar 4.3 XRD lapisan tipis ZnO pada FTO berbasis (a) metode Yonekawa dan (b) metode Grätzel dengan temperatur anil 100°C, 200°C, 300°C, 400°C

Ukuran partikel dihitung menggunakan persamaan (3.3), sehingga didapatkan ukuran partikel nanorod ZnO yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Metode	(hkl)	20 (°)	FWHM	D	Drata-	
				(nm)	rata (nm)	
Sintesis	(100)	31,72	0,12	70,48	96,64	
	(101)	36,21	0,08	106,99		
	(002)	34,39	0,08	106,45		
Yonekawa 100°C	(100)	32,23	0,08	103,32	135,76	
	(101)	36,72	0,07	130,69		
	(002)	34,89	0,05	173,28		
Yonekawa 200°C	(100)	31,80	0,06	140,99		
	(101)	36,28	0,08	107,01	118,16	
	(002)	34,46	0,08	106,47		
Yonekawa 300°C	(100)	31,74	0,08	105,72		
	(101)	36,22	0,08	106,99	106,39	
	(002)	34,39	0,08	106,46		
Yonekawa 400°C	(100)	31,77	0,08	105,73	118,23	
	(101)	36,26	0,08	107,00		
	(002)	34,43	0.08	141,95		
Grätzel 100°C	(100)	31,82	0,08	105,75		
	(101)	36,31	0,08	107,02	118,25	
	(002)	34,49	0,06	141,98		
Grätzel 200°C	(100)	31,.43	0,06	140,86	141,74	
	(101)	35,92	0,06	142,53		
	(002)	34,09	0,06	141,82		
Grätzel 300°C	(100)	31,43	0,07	128,86		
	(101)	35,92	0,08	106,90	136,22	
	(002)	34,09	0,05	172,90		
Grätzel 400°C	(100)	31,45	0,15	57,25	68,26	
	(101)	35,94	0,14	61,09		
	(002)	34.12	0.10	86.46		

 Tabel 4.1 Ukuran partikel untuk puncak (100), (101), dan (002)

Berdasarkan Tabel 4.1, sintesis nanorod ZnO menghasilkam ukuran partikel yang berbeda untuk setiap (hkl). Ukuran partikel rata-rata sintesis nanorod ZnO sebesar 96,64 nm akan mengalami perubahan ketika dilakukan pemanasan anil berbasis metode Yonekawa dan Grätzel.

Untuk metode Yonekawa, Tabel 4.1 memperlihatkan bahwa ketika temperatur dinaikkan, terjadi perubahan ukuran partikel di setiap orientasi bidang kristal, di mana ukuran partikel mengalami penurunan hingga temperatur 300°C dan mengalami kenaikan pada temperatur 400°C. Hal ini sesuai dengan perubahan intensitas pada nanorod ZnO berbasis metode Yonekawa (Gambar 4.3). Dari Gambar 4.4 (a), hkl (100) dan (002) secara berturut-turut merupakan sumbu a dan c memiliki nilai ukuran partikel yang identik sama pada temperatur 300°C. Terlihat pada Tabel 4.1, ketiga puncak pada temperatur 300°C memiliki perbedaan ukuran partikel yang tidak terlalu jauh sehingga didapatkan ukuran partikel rata-rata terkecil.

Pada metode Grätzel, dari Tabel 4.1, ukuran partikel cenderung menurun dari temperatur 200-400°C. Ukuran partikel terkecil terjadi pada temperatur 400°C, sementara ukuran partikel terbesar terletak pada temperatur 200°C. Dari Gambar 4.4 (b), hkl (100) dan (002) secara berturut-turut merupakan sumbu a dan c memiliki ukuran partikel yang identik sama pada temperatur 200°C. Terlihat pada Tabel 4.1, ketiga puncak pada temperatur 200°C memiliki perbedaan ukuran partikel yang tidak terlalu jauh sehingga didapatkan ukuran partikel rata-rata terbesar.



Gambar 4.4 Ukuran partikel pada hkl (100), (101), dan (002) dengan variasi temperatur anil 100°C, 200°C, 300°C, dan 400°C berbasis metode (a) Yonekawa dan (b) Grätzel

Berdasarkan JCPDS 35-1451, maka didapatkan dimensi kisi kristal diketahui bahwa nilai a=b=3,249Å dan c=5,213Å dengan nilai c/a = 1,602. Tabel 4.2 menunjukkan bahwa nilai c/a nanorod ZnO mengalami perubahan yang tidak jauh beda dengan standar, di mana nilai c/a yang sesuai dengan standar adalah nanorod ZnO berbasis metode Yonekawa pada temperatur anil 200-400°C dan metode Grätzel pada temperatur anil 100°C.

Tabel 4.2 Nilai c/a nanorod ZnO dengan variasi temperatur anil 100°C, 200°C, 300°C, dan 400°C berbasis metode Yonekawa dan Grätzel

Metode	Temperatur (°C)	c/a	
Sintesis	25	1,601	
Yonekawa	100	1,603	
	200	1,602	
	300	1,602	
	400	1,602	
Gr <mark>ätzel</mark>	100	1,602	
	200	1,600	
	300	1,600	
	400	1,600	

Nilai parameter kisi nanorod ZnO ditunjukkan pada Gambar 4.5. Pada Gambar 4.5 (a), sumbu a dan c mengalami pola perubahan yang sama ketika temperatur dinaikkan hingga suhu 400°C. Nilai sumbu a dan c terendah terdapat pada temperatur 100°C, sementara tertinggi pada temperatur 300°C. Untuk Gambar 4.5 (b), sumbu a dan c mengalami pola perubahan yang sama ketika temperatur dinaikkan hingga suhu 400°C. Nilai sumbu a dan c terendah terdapat pada temperatur 100°C, sementara tertinggi pada temperatur 200°C Nilai sumbu a dan c terendah terdapat pada temperatur 100°C, sementara tertinggi pada temperatur 200°C dan menurun hingga temperatur 400°C. Nilai parameter kisi terbesar untuk kedua metode menunjukkan ukuran partikel yang hampir sama sesuai dengan Tabel 4.1. Nilai ini berpengaruh pada perubahan sumbu a



dan c ketika diberikan pemanasan, di mana sumbu a dan c dapat berkembang atau menyusut.

Gambar 4.5 Kurva parameter kisi nanorod ZnO dengan variasi temperatur anil 100°C, 200°C, 300°C, dan 400°C berbasis metode (a) Yonekawa dan (b) Grätzel

Gambar 4.6 menunjukkan regangan kisi pada nanorod ZnO berbasis metode Yonekawa dan Grätzel dengan variasi temperatur anil hingga 400°C. Regangan kisi nanorod ZnO dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Babikier):

 $\varepsilon_z = \frac{c - c_o}{c_o} \times 100\%$

(4.2)

di mana c adalah kisi dari nanorod ZnO dari hasil karakterisasi XRD dan c_o adalah kisi ZnO dari standar yang tidak mengalami regangan sebesar 5,206Å.

Pada Gambar 4.6, nanorod ZnO yang berbasis metode Yonekawa pada temperatur 100°C terjadi penyusutan terbesar, sementara pada temperatur 300°C, nanorod ZnO telah mengalami pengembangan maksimal. Sementara nanorod ZnO berbasis metode Grätzel, pada temperatur 100°C, terjadi penyusutan terbesar, sementara pada temperatur 200°C, nanorod ZnO telah mengalami pengembangan maksimal dan mengalami penurunan hingga temperatur 400°C. Hal ini identik dengan Gambar 4.4 (a) dan (b) yang mengambarkan perubahan sumbu a dan c yang hampir sama ketika dilakukan anil. Nilai regangan kisi nanorod Zno berbasis metode Grätzel lebih besar dibandingkan dengan metode Yonekawa. Hal ini akan berakibat pada kesesuaian nilai c/a berdasar standar. Sehingga kesesuaian nilai c/a pada metode Grätzel lebih sedikit dibandingkan metode Yonekawa, sesuai dengan Tabel 4.2.



Gambar 4.6 Kurva regangan kisi nanorod ZnO dengan variasi temperatur annil 100°C, 200°C, 300°C, dan 400°C berbasis metode Yonekawa dan Grätzel

4.1.2Karakterisasi SEM

Morfologi serbuk ZnO diperlihatkan pada Gambar 4.7 dengan perbesaran 10000x, dan 50000x yang mana menunjukkan serbuk ZnO merupakan bentuk nanorod dengan diameter nanorod berkisar antara 90-150nm. Nanorod ZnO menunjukkan pertumbuhan pada arah vertikal yang tidak seragam kemungkinan dikarenakan ukuran diameter yang terlalu besar (Babikier).



Gambar 4.7 Karakterisasi SEM hasil sintesis nanorod ZnO dengan perbesaran (a)10000x dan (b) 50000x

4.1.3 Karakterisasi AFM

Sampel yang dilakukan uji yaitu nanorod ZnO pada FTO menggunakan metode Yonekawa temperatur 300°C. Pada gambar 4.8 (a), kondisi permukaan dari lapisan nanorod tampak tidak rata dengan arah vertikal yang tidak seragam. Hal ini juga ditunjukkan pada Gambar 4.11 (b) di mana kontur permukaan yang tidak lurus dan membentuk lekukan-lekukan yang cukup besar dikarenakan ukuran partikel yang relatif besar pula.



Gambar 4.8 (a) dan (b) Karakterisasi AFM nanorod ZnO berbasis metode Yonekawa pada temperatur 300°C

4.2 Performansi DSSC

4.2.1 Performansi secara umum

Kurva I-V dicari dengan mengukur DSSC dengan kontak matahari secara langsung pada jam 10.00-14.00 WIB. Pengukuran intensitas matahari diketahui dengan menggunakan *solar power meter* dengan posisi DSSC pada matahari adalah tegak lurus. Pada pengambilan data, dimulai dengan memanfaatkan rangkaian hambatan pada Gambar 3.20. Dengan memvariasikan hambatan, maka nilai dari tegangan dan arus dapat diketahui dengan menggunakan amperemeter. Gambar 4.9 dan 4.10 menunjukkan hasil dari pengukuran I-V dengan metode Yonekawa dan Grätzel.



Gambar 4.9 Plot Kurva I-V DSSC pada Metode Yonekawa menggunakan pewarna kulit manggis

Gambar 4.9 menunjukkan adanya pengaruh temperatur anil terhadap tegangan, arus, dan efisiensi. Efisiensi terbesar didapatkan pada temperatur 300°C sebesar 0,05%. Jika dibandingkan efisiensi nanopartikel ZnO sebesar 0,11% (Syukron, 2013), efisiensi nanorod jauh di bawahnya. Hal ini disebabkan ukuran partikel nanopartikel lebih kecil dibandingkan nanorod, yaitu sebesar 13,93 nm (Syukron, 2013). Selain itu, berdasarkan karakteristik AFM pada Gambar 4.8 (a) dan (b), kondisi permukaan dari lapisan nanorod tampak tidak rata di mana arah vertikal yang tidak seragam mengakibatkan effisiensi transfer elektron yang kurang maksimal pada nanorod (Lee, 2011).



Gambar 4.10 Plot Kurva I-V DSSC pada Metode Grätzel menggunakan pewarna kulit manggis

Pada Gambar 4.10, efisiensi terbesar didapatkan pada temperatur 200°C yaitu sebesar 0,04%. Jika dibandingkan efisiensi nanopartikel ZnO sebesar 0,03% pada temperatur 100°C (Syukron, 2013), efisiensi nanorod tidak jauh berbeda. Hal ini disebabkan nilai I_{sc} dan V_{oc} nanorod yang lebih besar dibandingkan nanopartikel. I_{sc} berfungsi untuk pembawa fotogenerasi dan keefektifan dari injeksi elektron dari molekul pewarna menuju oksida logam (Lee, 2011). Sementara itu, V_{oc} mengindikasikan bahwa laju rekombinasi *elektron-hole* pada nanorod lebih rendah dibandingkan nanopartikel (Lee, 2011).

Dari kedua metode yang telah dilaksanakan, terlihat perbedaan hasil yang diperoleh dari metode Yonekawa dan Grätzel. Pada metode Yonekawa efisiensi terbaik terletak pada temperatur 300°C, sementara pada metode Grätzel efisiensi terbaik terletak pada temperatur 200°C.

Pada kedua metode, terdapat pula nilai FF (*Fill Factor*) yang mengalami perubahan sesuai dengan perubahan temperatur. Nilai FF berpengaruh pada nilai hambatan internal dari FTO/ZnO, elektrolit, dan kaca TCO (Dutta, dkk., 2012; Yonekawa, dkk., 2012). Elektrolit dan kaca TCO pada penelitian ini tidak mempengaruhi nilai FF, dikarenakan elektrolit dan kaca TCO yang digunakan pada fabrikasi DSSC adalah sama. Selama proses pemanasan anil, energi panas digunakan untuk meningkatkan perpindahan massa atom oksigen antara substrat FTO dan lapisan ZnO (Dutta, dkk. 2012).

Selain menggunakan kurva I-V untuk mengetahui performansi DSSC, dilakukan pula IPCE. Spektrum IPCE dari fotoelektroda ZnO berbasis Yonekawa yang direndam dengan menggunakan pewarna kulit manggis dengan proses anil pada cahaya tampak ditunjukkan pada Gambar 4.12. Bentuk kurva dari penyerapan dan spectra IPCE dari pewarna kulit manggis ditunjukkan sesuai Gambar 4.11. Tampak bahwa terjadi sedikit pergeseran akibat pemanasan anil. Pada kurva absorbansi pewarna kulit maggis (Gambar 4.11), puncak serapan terletak pada 392,5 nm dan mengalami pergeseran setelah dilakukan perendaman fotoelektroda ZnO pada pewarna. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi proses transisi energi di mana terdapat perpindahan elektron dari pewarna ke permukaan ZnO (Tianyou Peng, dkk., 2010). Hal ini juga terjadi pada TiO₂ yang menunjukkan adanya pergeseran ke arah panjang gelombang warna biru di mana letak serapan dari antocyanin tipe cyanidin (Hao, 2005; Wahyuono, 2013). Nilai IPCE pada masing-masing temperatur ialah 0,00629 (100°C), 0,00689 (200°C), 0,00825 (300°C) dan 0.00778 (400°C).



Gambar 4.12 Kurva IPCE dari DSSC struktur *sandwich* berbasis nanorod ZnO dengan metode Yonekawa

Pada kurva IPCE nanorod ZnO berbasis metode Grätzel tampak di Gambar 4.13. Pergeseran puncak juga terjadi pada metode ini akibat adanya perlakuan temperatur anil pada fotoelerktroda ZnO. Nilai masing-masing IPCE pada berbagai temperatur ialah 0,00739 (100°C), 0,00500 (200°C), 0,00569 (300°C) dan 0,00433 (400°C). Perbedaan mendasar dari kedua kurva IPCE dengan metode Yonekawa dan metode Grätzel adalah dari intensitas penyerapan dari puncak gelombang yang dihasilkan dan terjadinya perluasan peningkatan penyerapan pada rentang gelombang tertentu (Syukron, 2013). Menurunnya puncak gelombang diakibatkan berkurangnya kemampuan penyerapan pewarna akibat interaksi antara permukaan ZnO dan pewarna (Tianyou Peng, dkk., 2010).



Secara keseluruhan, performansi dari DSSC berbasis nanorod ZnO diperlihatkan pada Tabel 4.3 dengan variasi metode Grätzel dan Yonekawa dengan karakteristik performansi DSSC yang dihasilkan.

Metode	Temperatur	Nanorod					
	anil (°C)	V _{oc} (mV)	$(\mu A/cm^2)$	FF (%)	η (%)	IPCE (%)	
Grätzel	100	229	41,2	0,42	0,03	0,00739	
	200	491	58,0	0,19	0,04	0,00500	
	300	266	63,6	0,22	0,04	0,00569	
	400	174	29,6	0,38	0,01	0,00433	
Yonekawa	100	260	49,6	0,35	0,03	0,00629	
	200	251	35,2	0,36	0,02	0,00689	
	300	275	64,0	0,40	0,05	0,00825	
	400	286	60,4	0,34	0,04	0,00778	

 Tabel 4.3 Performansi DSSC nanorod ZnO berdasarkan metode

 preparasi pasta dan temperatur anil

4.2.2Pengaruh dye loading dan lifetime terhadap performansi DSSC

Performansi DSSC dipengaruhi oleh lama perendaman fotoelektroda ZnO pada pewarna kulit manggis tampak di Gambar 4.14. Hal ini ditunjukkan adanya penurunan efisiensi ketika waktu perendaman lebih dari 12 jam di mana pengelupasan ZnO terjadi. Efisiensi yang diperoleh sebesar 0,02% (3 jam), 0,03% (6 jam), 0,04% (9 jam), 0,08% (12 jam), 0,04% (18 jam), 0,03% (22 jam), dan 0,02% (24 jam). Selain *dye loading, lifetime* juga berpengaruh terhadap performansi DSSC. Efisiensi menurun ketika pengujian kurva I-V dilakukan semakin lama, seperti pada Gambar 4.15. Efisiensi yang diperoleh yaitu 0,08% (0 hari), 0,05% (3 hari), dan 0,03% (5 hari). Hal imi menunjukkan sampai dengan hari ke-5, efisiensi menurun hingga 37,5%. Pengujian *dye loading* dan *lifetime* dilakukan pada sampel nanorod ZnO berbasis metode Yonekawa pada temperatur 300°C. Penurunan efisiensi akibat adanya *lifetime* dipengaruhi oleh penguapan elektrolit.



Gambar 4.14 Pengaruh dye loading terhadap performansi DSSC



Gambar 4.15 Pengaruh lifetime terhadap performansi DSSC
Hasil DSC (Gambar 4.16) menunujukkan 4 puncak endoterm pada temperatur ~50°C, ~80°C, ~140°C dan ~395°C. Puncak pertama menunjukkan kloroform (Ukraintseva, 2003; Witte, 1995; Keranov, 2013) dan puncak kedua dan ketiga untuk asetonitril (Bag, 2013; Neville, 1993). Sementara puncak keempat mengarah pada iodide (Bhavsar, 2011).



Gambar 4.16 Kurva TGA-DSC dari elektrolit

Selain dilakukan karakterisasi DSC-TGA, juga dilakukan pengamatan 10 ml elektrolit yang mengalami penurunan volume ketika diletakkan pada temperatur ruang. Nilai pengurangan volume ini ditunjukkan pada Gambar 4.17. Selama dua hari, volume berkurang sebesar 2,2 ml atau 22% di mana *trendline* dari pengurangan volume tersebut memiliki persamaan:

$$y = 7,727 - 1,107x + 0,013x^2$$
(4.3)



Gambar 4.17 Pengurangan nilai volume elektrolit



DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. 2012. Pengantar Nanoteknologi : Aplikasi Nanokristal ZnO pada Solar Cell. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Anggoro, D. Abdullah, M. 2012. Pengantar Nanoteknologi : Aplikasi Nanokristal ZnO pada Solar Cell. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Babikier, M. Wang, J. Wang, D. Li, Q. Sun, J. Yan, Y. Wang, W. Yu, Q. Jiao, S. Gao, S. Li, H. "Effect of annealing on lattice strain and near-band-edge emission of ZnO nanorods".
 Department of Opto-electric Information Science, School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China.
- Babu, K.S. Narayanan, V. 2013. "Hydrothermal synthesis of hydrated zinc oxide nanoparticles and its characterization". Chemical Science Transactions. ISSN/E-ISSN: 2278-3458/2278-3318.
- Bag, P.P. Reddy, C.M. "Tramadol hydrochloride and its acetronitrile solvate: crystal structure analysis and thermal studies". The Natioanal Academy of Sciences, India 2014.
- Barron, A. (2010). Characterization of Group 12-16 (II-IV) Semiconductor Nanoparticles by UV-visible Spectroscopy. Conexions module: m34601
- Bhavsar, D.S. "Studies on thermal behavior of lead iodide single crystals grown by gel method". Archives of Physics Research 2011, 2 (4): 67-71.
- Chiba, Y. Islam, A. Watanabe, Y. Komiya, R. Koide, N. Han, L.Y. Dye-sensitized solar cells with conversion efficiency of 11.1%, Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) L638–L640.
- Ginting, A. Br., Sutri I., Jan S. Penentuan Parameter Uji dan Ketidakpastian Pengukuran Kapasitas Panas pada Differential Scanning Calorimeter. J.Tek.Bhn.Nukl. 2005 Vol 1(1):1-57

- Grätzel, Michael, "Review Dye-sensitized solar cells," **Journal of Photochemistry and Photobiology C**, vol. 4, 2003, pp. 145 – 153.
- Guliani, R. Jain, A. Kapoor, A. "Exact analytical analysis of dyesensitized solar cell: improved method and comparative study". The open Renewable Energy Journal, 2012, 5, 49-60.
- Hao, S. Wu, J. Huang, Y. Lin, J. 2005. "Natural dyes as photosensitizers of dye-sensitozed solar cell". Institute of Materials Physical Chemistry, Huaqiao University, Quanzhou, Fujian 362021, China. Solar energy 80 209-214.

Http://www.pveducation.org (diakses tanggal 20 Maret 2014).

- Janne, H. "Dye-sensitized nanostructured and organic photovoltaic cells: technical review and preliminary tests," *Master Thesis* Department of Engineering Physics and Mathematics, Helsinki University of Technology, February 12, 2002
- Jatmiko. Asy'ari, H. Purnama, M. Pemanfaatan Sel Surya dan Lampu LED untuk Perumahan. Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi Terapan. 2011. ISBN 979-26-0255-0.
- Jin-Hong Lee. Kyung-Hee Ko. Byung-Ok Park. Electrical and Optical Properties of ZnO Transparent Conducting Films by the Sol-gel Method. Journal of Crystal Growth 247 (2003) 119-125.
- Jung-Kun L., Mengjin Y., "Progress in light harvesting and charge injection of dye-sensitized solar cells", Materials Science and Engineering B 176 (2011) 1142–1160
- Keranov, I.L. Michel, M. Kostadinova, A. Toniazzo, V. Ruch, D.
 Vladkova, T. "Poly(*N*-Vinyl Pyrrolidone-*b*-Dimethylsiloxane) Electrospun Nanofibers: Preparation, Characterization and Biological Response". Open journal of Biophysics. 2013, 3, 148-157.
- Khusaimi, Z. Mamat, M.H. Sahdan, M.Z. Abdullah, N. Rusop, M. 2011. "The effect of stabiliser's molarity to the growth of

ZnO nanorods". Defect and Diffusion Forum Vols. 312-315 pp 99-103.

- Lai, M.H. Lee, M.W. Wang, G-J. Tai, M.F. "Photovoltaic performance of new-structure ZnO-nanorod dye-sensitized solar cells". Int. J. Electrochem. Sci., 6 (2011) 2122-2130.
- Lanlan Lu, Renjie Li, Ke Fan, Tianyou Peng. Effect of annealing conditions on the photoelectrochemical properties of dyesensitized solar cells made with ZnO nanoparticles. **Solar Energy** 84 (2010) 844-853.
- Lee J., Ko K., Park B. Electrical and Optical Properties of ZnO Transparent Conducting Films by the Sol-gel Method. Journal of Crystal Growth 247 (2003) 119-125.
- Lee, T-H. Sue, H-J. Cheng, X. Solid-State Dye-sensitized Solar Cells Based on ZnO Nanoparticle and Nanorod Array Hybrid Photoanodes. Nanoscale Research Letters 2011, 6:517.
- Mikrajuddin, A. Khairurrijal. Review: Karakterisasi Nanomaterial. J. Nano Saintek. Vol. 2 No. 1, Feb.2009.
- Muid A., Abdullah M. 2012. Pengantar Nanoteknologi : Aplikasi Nanokristal ZnO pada Solar Cell. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Munukutla, L. "Incorporation of The Dye Sensitized Solar Cells Research Results Into Solar Cells and Modules Course". AC 2011-1810: Arizona State University, Polytechnic Campus
- N. Goswami and D.K. Sharma, Low-dimensional Systems and Nanostructures, Physica E 42 (2010) 1675-1682.
- Nath, N.C.D. Lee, H.J. Choi, W-Y, Lee, J-J. 2013. "Electrochemical approach to enhance the open-circuit voltage (Voc) of dye-sensitized solar cells (DSSCs)". Electrochimica Acta 109 39-45.
- Neville, G.A. Beckstead, H.D. Cooney, J.D. "Thermal analyses (TGA and DSC) of some spironolactone solvates". Fresenius J Anal Chem (1994) 349:746-750.
- Pichanan T., Kumar S., Dutta J. Photoelectrode Optimization of Zinc Oxide Nanoparticle Based Dye-Sensitized Solar Cell

by Thermal Treatment. **Int. J. Electrochem. Sci.**,7 (2012) 4988 – 4999.

- Rodriguez E.G. Photoelectrochemical Characteriztion of Dye Solar Cells Based on Nanostructured Zinc Oxide Substrates. Departement of Physical, Chemical and Natural Systems, University Pablo de Olavide. Sevilla, May 2011.
- Soni, B.H. Deshpande, M.P. Bhatt, S.V. Garg, N. Chaki, S.H. 2013. "Studies of ZnO nanorod synthesized by hydrothermal method and their characterization". Journal of nano-and Electronic Physics Vol. 5 No. 4, 04007(6pp).
- Sophie, W. 2010. Strategies to Optimizing Dye-Sensitized Solar Cells: Organic Sensitizers, Tandem Device Structures, and Numerical Device Modeling. ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE, Swiss
- Syukron, A. 2013. The Effect of Paste Preparation and Annealing Temperature of ZnO Photoelectrode to DSSC Performance. Undergraduate Thesis. Department of Engineering Physiscs. Intstitut Teknologi Sepuluh Nopember. Indonesia.
- Taher M. El-Age z, Ahmed A. El Tayyan, Amal Al-Kahlout, Sofyan A. Taya, Monzir S. Abde l-Latif. Dye-Sensitized Solar Cells Based on ZnO Films and Natural Dyes. International Journal of Materials and Chemistry 2012, 2(3): 105-110
- Thupakula, U. Jena S, A. Khan, A.H. Dalui, A. Acharya, Synthesis, Structure and Electronic Properties of Oltranarrow Cds Nanorods. Centre for Advanced Materials (CAM), Indian. Association for the Cultivation of Science, Jadavpur, Kolkata. India. J nanopart Res (2012) 14:701.
- Ukraintseva, E.A. Logvinenko, V.A. Soldatov, D.V. Chingina, T.A. "Thermal dissociation processes for clathrates". Journal of Thermal analysis and Calorimetry, Vol. 75 (2004) 337-345.
- Uthirakumar, A.P. 2011. Fabrication of ZnO Based Dye Sensitized Solar Cells, Solar Cells - Dye-Sensitized Devices,

Prof. Leonid A. Kosyachenko (Ed.), ISBN: 978-953-307-735-2, InTech.

- Valls, I.G. Yu, Y. Ballesteros, B. Oro, J. Cantu, M.L. "Synthesis conditions, light intensity and temperature effect on the performance of ZnO nanorods-based dye sensitized solar cells". Journal of Poer Sources 196 (2011) 6609-6621.
- Wahyuono. 2013. Dye-sensitized Solar Cells (DSSC) Fabrication with TiO₂ and ZnO Nanoparticle for High Conversion Efficiency. Thesis, Engineering Physics, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Wang H, Xie C. Effect of Annealing Temperature on the Microstructures and Photocatalytic Property of Colloidal ZnO nanoparticles. *J Physics and Chemistry of Solids* 69 (2008) 2440-2444.
- Witte, P. van de. Boorsma, A. Esselbrugge, H. Dijkstra, P.J. "Differential scanning calorimetry study of phase transitions in poly(lactide)-chloroform-methanol systems". Macromolecules 1996, 29, 212-219.
- Yi Hu, Hung-Jiun Chen. Preparation and Characterization of Nanocrystalline ZnO particles frim a Hydrothermal process. J.Nanopart Res (2008) 10:401-407
- Yonekawa H, 2012. Dye-Sensitized Solar Cells Fabricated with ZnO Nanoparticles for High Conversion Efficiency. Master Thesis department of Applied Chemistry and Biochemistry, Kumamoto University, Japan.
- Zhang, Q. Dandeneau, C.S. Zhou, X. Cao, G. ZnO Nanostructures for Dye-Sensitized Solar Cells. Adv. Mater. 2009, 21, 4087–4108.
- Zhifeng Liu, Yabin Li, Chengcheng Liu, Jing Ya, Wei Zhao, Lei E, Dan Zhao, Li An. Performance of ZnO dye-sensitized solar cells with various nanostructures as anodes. Solid State Sciences 13 (2011) 1354-1359.



BAB V SIMPULAN

Pada pelaksanaan tugas akhir ini, telah dilakukan fabrikasi DSSC berbasis nanorod ZnO dengan variasi pasta dan temperatur anil. Dapat disimpulkan bahwa:

- a. Nanorod ZnO yang merupakan hasil sintesis Zinc Asetat dengan EG memiliki ukuran partikel sebesar 70,48 nm (100), 106,99 nm (101), dan 106,45 nm (002) dengan ukuran partikel rata-rata sebesar 96,64 nm, sementara diameter nanorod berkisar antara 90-150 nm .
- b. Performansi terbaik dihasilkan pada preparasi pasta dengan menggunakan metode Yonekawa pada temperatur 300°C yaitu efisiensi sebesar 0,05%, V_{oc} 275 mV, J_{sc} 64 μ A/cm², dan FF 0,4%.
- c. Dye loading time maksimum sebesar 12 jam.
- d. Efisiensi menurun secara linier dari 0,084% sampai dengan 0,028% jika DSSC yang sama diukur hingga waktu 5 hari.



Halaman ini memang dikosongkan.

LAMPIRAN A



Gambar 1 Kurva I-V katalis pada kaca TCO

 Tabel 1
 Tabel performansi DSSC nanorod ZnO menggunakan berbagai jenis katalis pada kaca TCO

Jenis Katalis	V _{oc} (mV)	FF (%)	η (%)
Karbon	273	0,29	0,044
Jelaga	248	0,29	0,022
Tanpa katalis	171	0,39	0,015

LAMPIRAN B





BIODATA PENULIS



Penulis mempunyai nama lengkap Robert Mahendra. lahir di Kabupaten Kediri pada tanggal 21 Agustus 1993 dan merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis melewati masa kecil yang berada di Kecamatan Gurah, Kabupaten dengan Kediri menempuh pendidikan di SDN Gabru, SMPN 1 Kediri, dan SMAN 1 Kediri. Penulis kemudian menempuh studi

ke ITS Jurusan Teknik Fisika pada tahun 2010 melalui jalur Mandiri dengan NRP 2410 100 024. Hingga pada tahun 2014 penulis akhirnya melaksanakan Tugas Akhir sebagai syarat untuk menyelesaikan studi S1 di Jurusan Teknik Fisika dengan judul "FABRIKASI DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS (DSSC) BERBASIS NANOROD ZnO (OKSIDA SENG) DENGAN VARIASI METODE PREPARASI PASTA". Bagi pembaca yang memiliki saran, kritik, atau ingin berdiskusi lebih lanjut tentang Tugas Akhir ini, maka dapat menghubungi penulis melalui e-mail bob.mahendra7@gmail.com.