



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Unand.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Unand.

**PEMANFAATAN BUAH KARAMUNTING
(RHODOMYRTUS TOMENTOSA) SEBAGAI DYE PADA SEL
SURYA
DSSC (DYE-SENSITIZED SOLAR CELL)
BERBASISKAN TiO_2**

Skripsi



**AZHARIE WIBOWO
07135058**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG 2011**

Skripsi

**PEMANFAATAN BUAH KARAMUNTING (*RHODOMYRTUS TOMENTOSA*) SEBAGAI
DYE PADA SEL SURYA DSSC(*DYE-SENSITIZED SOLAR CELL*)
BERBASISKAN TiO_2**

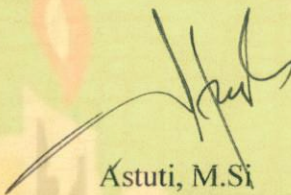
Yang disusun oleh

AZHARIE WIBOWO

07 135 058

Telah dipertahankan di depan tim penguji
Pada tanggal 28 April 2011
Dan dinyatakan lulus memenuhi syarat

Pembimbing I



Astuti, M.Si

NIP.19810814 200501 2 002

Susunan Tim Penguji

Ketua

Anggota

Anggota



Dr. Dahyunir Dahlan
Nip.196811281995121002

Drs. Wildian, M.Si
Nip.196108121994031001

Sri Handani, M.Si
Nip.196907141995122001

Padang, 28 April 2011
Ketua Jurusan Fisika
FMIPA Universitas Andalas Padang

Arif Budiman, M.Si
NIP. 197311141999031004

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kehadiran ALLAH SWT, atas rahmat dan karunia-NYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi dengan judul **“Pemanfaatan Buah Karamunting (*Rhodomyrtus Tomentosa*) Sebagai Dye pada Sel Surya DSSC (*Dye-Sensitized Solar Cell*) Berbasiskan TiO_2 ”**. Penulisan skripsi merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana program S1 Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas.

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak, skripsi ini tidak akan dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan skripsi ini, terutama kepada :

1. Almarhum Ayahanda Achmad Syarkawi dan Ibunda Elinda atas segala doa, semangat, dorongan, perhatian dan curahan kasih sayangnya, kakak-kakak dan adikku atas semangat dan doanya serta kepada orang yang telah memberikan penulis banyak harapan dan motivasi terbesar Helga Dwi fahyuan.
2. Ibu Astuti, M.Si selaku pembimbing utama yang telah memberikan petunjuk, saran, semangat, motivasi serta arahan selama penulisan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Dahyunir Dahlan, Bapak Wildian, M.Si dan Ibu Sri Handani, M.Si sebagai penguji yang telah memberikan kritikan, petunjuk, serta saran selama penulisan skripsi.

4. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Fisika FMIPA UNAND yang telah memberikan pendidikan selama di Jurusan Fisika FMIPA UNAND.
5. Teman seperjuangan asisten di Laboratorium Fisika Dasar, Laboratorium Komputasi, Laboratorium Fisika Eksperimen, serta rekan-rekan seperjuangan di Laboratorium Kimia Material yang telah memberikan bumbu-bumbu semangatnya dan senyum-senyum terindahnyanya.
6. Teman seperjuanganku yang takkan pernah dilupakan FISIKA BASIC SAINS (mimi, yesi, ayuk, leksi, teman seperjuangan dedi n frans, viki, dafid, agus rianto ,madah, alim, dll), RELATIVITAS (my family yefri hz, anakku novi, uniang, susi, yonna, riri, yani, ayu, oos, aso, ketua himafiku arsal, busek, makcik, ega, izam and all of the best 07) , Fisika 06 (da Rico, kak Tiaran ni pipi, da Pman, da edo, da andi, lonna, dll), Fisika 08 (eko, adel, ferry, sesa, firman, hilda, dll), Fisika 09 (vivi, ibet, annike, mytha, mutia, dll), serta Fisika 010 (terkhusus buat adek bp penulis yang “mantiak“ vivi lispa yenti, wildan, triana, helvi, ridwan, uje, dll).

Dalam penulisan skripsi, penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak terdapat kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini.

Akhir kata penulis berharap, semoga apa yang terdapat dalam skripsi dapat bermanfaat bagi semua pihak. Amin.

Padang, 11 April 2011

Penulis

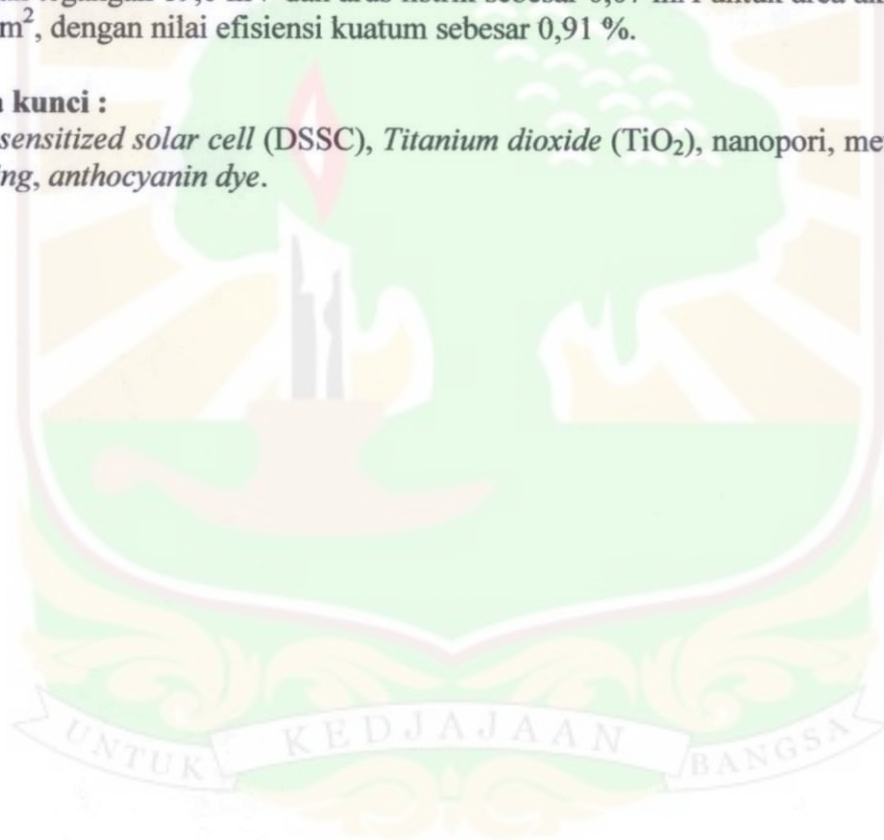
Pemanfaatan Buah Karamunting (*Rhodomyrtus Tomentosa*) Sebagai Dye pada Sel Surya DSSC (*Dye-Sensitized Solar Cell*) Berbasiskan TiO_2

ABSTRAK

Pada penelitian ini telah berhasil dilakukan pembuatan prototipe *dye-sensitized solar cell* dengan menggunakan dye bahan organik jenis *anthocyanin dye* dari ekstraksi buah karamunting (*Rhodomyrtus Tomentosa*), dan suspensi TiO_2 yang disintesis dengan menggunakan metoda *dip-coating*. Dari hasil pengujian struktur nanopori TiO_2 didapat bahwa TiO_2 yang disintesis cocok untuk diaplikasikan dalam DSSC karena mempunyai luas permukaan yang tinggi dan kristalinitas yang baik, dan dari pengujian absorpsi cahaya *dye* ekstraksi buah karamunting diketahui bahwa *dye* dapat menyerap spektrum cahaya pada panjang gelombang mulai dari 400 nm hingga 650 nm. Selain itu ketika sel surya disinari dengan cahaya matahari, sel surya dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik dengan tegangan 19,0 mV dan arus listrik sebesar 0,07 mA untuk area aktif seluas 0.6 cm^2 , dengan nilai efisiensi kuatum sebesar 0,91 %.

Kata kunci :

Dye-sensitized solar cell (DSSC), *Titanium dioxide* (TiO_2), nanopori, metoda *dip-coating*, *anthocyanin dye*.



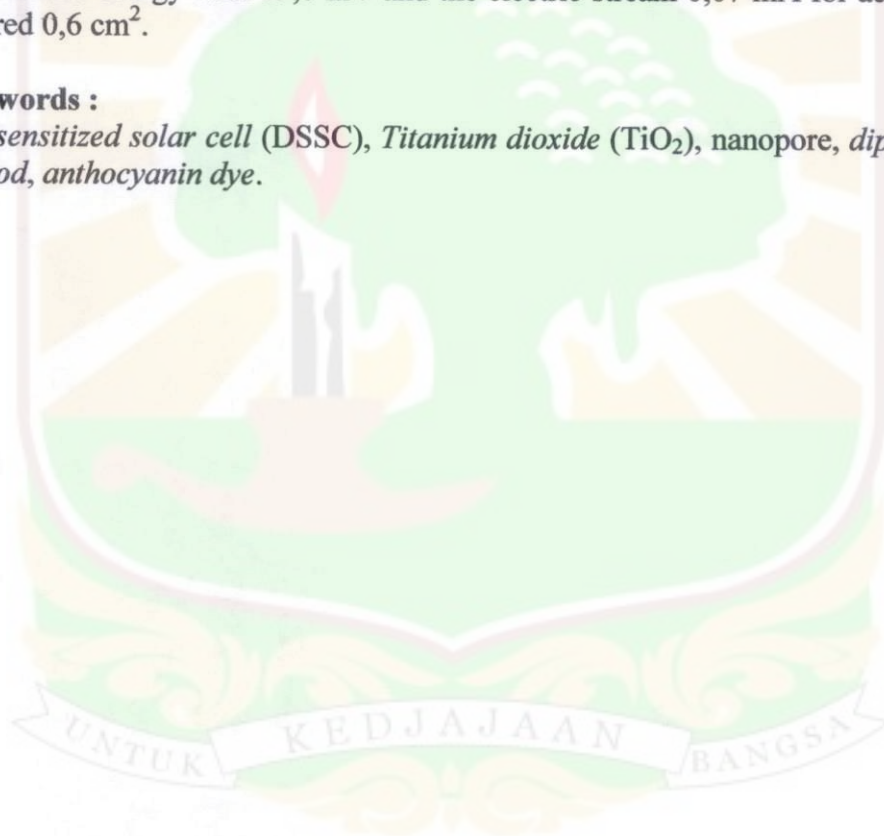
The Use of Karamunting (*Rhodomyrtus Tomentosa*) as The Dye to The Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Based on TiO_2

ABSTRACT

The research has been able to be the prototype of the dye-sensitized solar cell by using dye organic material, *anthocyanin* dye is derived from the karamunting (*Rhodomyrtus Tomentosa*), and the suspension of TiO_2 synthesized by using dip-coating method. The result of the test of the nanopore structure of TiO_2 which is synthesized is matched to be applied in DSSC because it has the width of the light surface and well crystallized, and from the absorption of the dye extraction of karamunting (*Rhodomyrtus Tomentosa*), is known that dye could absorb the light spectrum at the interval wave started from 400 nm to 650 nm. Beside, when the solar cell gets the light from sunshine, The solar cell can convert the solar energy into electric energy with 19,0 mV and the electric stream 0,07 mA for active area covered 0,6 cm^2 .

Key words :

Dye-sensitized solar cell (DSSC), Titanium dioxide (TiO_2), nanopore, dip-coating method, anthocyanin dye.



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	ii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Manfaat Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Landasan Teori	6
2.2.1 Energi Surya	6
2.2.2 Sel Surya	8
2.2.3 Performasi Sel Surya	8
2.2.3.1 Karakteristik I-V	8
2.2.3.2 Fill Factor dan Efisiensi Kuantum	9
2.2.4 Prinsip Kerja Sel Surya Konvensional Silikon	9
2.2.5 Dye-sentized Solar Sell (DSSC)	11

2.2.5.1 Cara Kerja DSSC.....	13
2.2.5.2 Material DSSC.....	15
2.2.5.1. <i>Substrat</i>	15
2.2.5.2. <i>Nanopartikel TiO₂</i>	15
2.2.5.3. <i>Dye</i>	17
2.2.5.4. <i>Elektrolit</i>	17
2.2.5.5. <i>Katalis Counter-Elektroda</i>	18

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	19
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	19
3.2.1 Bahan-bahan	19
3.2.2 Peralatan	20
3.3 Tata Laksana Penelitian.....	20
3.3.1 Preparasi Substrat Kaca ITO	20
3.3.2 Preparasi Suspensi TiO ₂	21
3.3.3 Pelapisan Elektroda TiO ₂	23
3.3.4 Sintering Elektroda TiO ₂	23
3.3.5 Persiapan Ekstrak <i>Dye</i> Karamunting	24
3.3.6 Perendaman Elektroda TiO ₂ dalam Ekstrak <i>Dye</i> Karamunting	25
3.3.7 Pembuatan Elektroda Pembanding	25
3.3.8 Pembuatan Larutan Elektrolit	26
3.3.9 Perangkaian Material Penyusun DSSC	26

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengukuran arus dan tegangan	28
4.2 <i>Fill Factor</i> dan Efisiensi kuantum	32
4.3 Analisis Nanopori TiO ₂	33
4.3.1 Hasil XRD.....	33
4.3.2. Hasil SEM.....	36
4.4. Analisis Absorpsi Dye Buah Karamunting	37

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	40
5.2 Saran	40

DAFTAR KEPUSTAKAAN	41
---------------------------------	-----------



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Standar Spektrum Radiasi Surya	7
Gambar 2.2 Karakteristik Kura I-V pada Sel Surya	8
Gambar 2.3 Struktur Sel Surya Silikon p-n Junction	10
Gambar 2.4 Skema Kerja Sel Surya Silikon	11
Gambar 2.5 Struktur Dye-sentized Solar Cell	12
Gambar 2.6 Ilustrasi Proses Fotokatalis	13
Gambar 2.7 Skema Kerja dari DSSC	14
Gambar 2.8 Fasa Anatase TiO ₂	16
Gambar 2.9 Struktur Kimia <i>Antocyanin Dye</i>	17
Gambar 3.1 Suspensi TiO ₂	22
Gambar 3.2 Ekstrak <i>Dye</i> Karamunting.....	24
Gambar 3.3 Hasil Pembuatan Elektroda Pembanding	26
Gambar 3.4 Alur Tahapan Tata Laksana Penelitian.....	27
Gambar 4.1 Diagram Rangkaian untuk Voc dan Isc	28
Gambar 4.2 Diagram rangkaian untuk kurva I-V	29
Gambar 4.3 Pengujian Tegangan sel surya dengan Iluminasi Cahaya Matahari	29
Gambar 4.4 Pengujian Arus sel surya dengan Iluminasi Cahaya Matahari .	30
Gambar 4.5 Pengujian Tegangan Sel Surya Tanpa Iluminansi Cahaya Matahari	30
Gambar 4.6 Grafik I-V Hasil Pengujian Sel Surya Zat Warna Karamunting	32

Gambar 4.7 Pola XRD Sampel TiO₂34

Gambar 4.8 Perbandingan Hasil XRD dengan Hanawalt Sampel TiO₂34

Gambar 4.9 Hasil SEM Sampel TiO₂ dengan 4000 x perbesaran36

Gambar 4.10 Hasil SEM Sampel TiO₂ dengan 3000 x perbesaran37

Gambar 4.11 Grafik UV-VIS dari *Dye* Buah Karamunting38

Gambar 4.12 Grafik UV-VIS dari Ruthenium *Dye* N71939



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Beberapa Hasil Penelitian DSSC dalam Skala Laboratorium	5
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Sel Surya Variasi KI 0,5 M	31



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data Laporan Hasil XRD dan Tabel Hanawalt.....	43
Lampiran 2. Foto-foto Penelitian	45



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Kebutuhan akan energi di dunia setiap tahunnya terus mengalami peningkatan, sedangkan bahan bakar fosil yang menjadi sumber energi terbesar terus mengalami penurunan. Bahan bakar fosil saat ini menyediakan mayoritas energi yang dikonsumsi oleh seluruh dunia, kira-kira 80,9% dari seluruh sumber energi (International Energy Agency, 2008). Sumber daya bahan bakar fosil cepat sekali habis, dan kilang-kilang minyak di dunia mulai mencapai batas persediaan. Permintaan akan bahan bakar fosil terus meningkat dari negara-negara maju dan berkembang sehingga dapat meningkatkan emisi CO₂ dan isu pemanasan global dan perubahan iklim, sehingga kebutuhan akan energi terbarukan sangat diperlukan. Sumber daya terbarukan seperti tenaga air, panas bumi, sampah, solar, angin dan gelombang air laut menyediakan kira-kira 18,4% dari konsumsi energi dunia, pada tahun 2006 (International Energy Agency, 2008).

Sumber energi terbesar yang tersedia di bumi adalah energi radiasi yang berasal dari matahari. Bumi menerima energi radiasi dari matahari kira-kira sebesar 174 petawatts (PW) setiap harinya. Energi sebesar itu akan sayang sekali jika tidak dimanfaatkan, sehingga diperlukan sebuah alat yang mampu menerima dan mengkonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik atau energi lain

yang bisa dimanfaatkan. Alat untuk mengkonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik salah satunya adalah sel surya.

Sel surya bekerja menggunakan energi matahari dengan mengkonversi secara langsung radiasi matahari menjadi listrik. Sel surya yang banyak digunakan sekarang ini adalah sel surya berbasis teknologi silikon yang merupakan hasil dari perkembangan pesat teknologi semikonduktor elektronik. Walaupun sel surya sekarang didominasi oleh bahan silikon, namun mahalnya biaya produksi silikon membuat biaya konsumsinya lebih mahal daripada sumber energi fosil. Selain itu kekurangan dari sel surya silikon adalah penggunaan bahan kimia berbahaya pada proses fabrikasinya.

Tetapi seiring dengan perkembangan nanoteknologi, dominasi tersebut bertahap mulai tergantikan dengan hadirnya sel surya generasi terbaru, yaitu *dye-sensitized solar cell* (DSSC). DSSC merupakan salah satu kandidat potensial sel surya generasi mendatang, hal ini dikarenakan tidak memerlukan material dengan kemurnian tinggi sehingga biaya proses produksinya yang relatif rendah. Berbeda dengan sel surya konvensional dimana semua proses melibatkan material silikon itu sendiri, pada DSSC absorpsi cahaya dan separasi muatan listrik terjadi pada proses yang terpisah. Absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul *dye*, dan separasi muatan oleh anorganik semikonduktor nanokristal yang mempunyai lebar band gap yang sesuai dengan panjang gelombang cahaya tampak.

Penggunaan semikonduktor dengan lebar band gap yang sesuai tersebut akan memperbanyak elektron yang mengalir dari pita konduksi ke pita valensi,

membuat ruang reaksi fotokatalis dan absorpsi oleh *dye* akan menjadi lebih banyak atau dengan kata lain spektrum absorpsi menjadi bertambah besar.

Salah satu semikonduktor yang mempunyai lebar band gap yang sesuai pada rentang absorpsi foton dari cahaya tampak dan yang sering digunakan yaitu *Titanium Dioxide* (TiO_2). TiO_2 mempunyai band gap (energi celah) sebesar 3,2 – 3,8 eV. TiO_2 juga sering digunakan karena inert, tidak berbahaya, dan semikonduktor yang murah, selain memiliki karakteristik optik yang baik. Namun untuk aplikasinya dalam DSSC, TiO_2 harus memiliki permukaan yang luas sehingga *dye* yang teradsorpsi lebih banyak yang hasilnya akan meningkatkan arus. Selain itu penggunaan bahan *dye* yang mampu menyerap spektrum cahaya yang lebar dan cocok dengan pita energi TiO_2 juga merupakan karakteristik yang penting. Molekul *dye* yang mampu mengabsorpsi cahaya adalah *antocyanin*. Buah-buahan ataupun tumbuhan yang memiliki warna gelap seperti merah, hitam atau ungu mempunyai *antocyanin* tersebut (Wilman, 2007).

Pada penelitian ini akan digunakan buah Karamunting (*Rhodomyrtus Tomentosa*), karena buah ini mengandung *antocyanin*, dan buah ini juga tumbuh liar sehingga untuk mendapatkannya tidak memerlukan biaya besar. Untuk mendapatkan permukaan nanopartikel TiO_2 yang luas maka metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode *dip-coating*, karena metodenya cukup sederhana dan tidak mengeluarkan biaya besar, namun dapat menghasilkan pelapisan yang baik pada substrat.

1.2. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini yaitu,

1. Menghasilkan prototipe *dye-sensitized solar cell* (DSSC) dengan menggunakan *dye* yang bisa diperoleh di Indonesia, seperti buah Karamunting (*Rhodomirtus Tomentosa*).
2. Optimasi larutan elektrolit DSSC.
3. Analisis efisiensi kuantum sel surya yang dihasilkan.

1.3. MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan penelitian di bidang pemanfaatan energi terbarukan terutama di bidang sel surya.

1.4. BATASAN MASALAH

Penelitian ini dibatasi pada hubungan antara komposisi larutan elektrolit, komposisi *dye*, dan komposisi nanopartikel TiO_2 pada metode *dip-coating* dengan efisiensi arus yang dihasilkan serta karakterisasi dengan menggunakan SEM, XRD dan rangkaian potensiometer.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. TINJAUAN PUSTAKA

Tingginya efisiensi konversi energi surya menjadi listrik dari DSSC merupakan salah satu daya tarik berkembangnya riset mengenai DSSC di berbagai negara akhir-akhir ini, selain dari proses produksi yang simpel dan biaya produksi yang murah. Beberapa hasil penelitian dari peneliti-peneliti DSSC dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Beberapa Hasil Penelitian DSSC dalam Skala Laboratorium.
(Sumber : Wilman, 2007)

Semi-conductor	Dye	η (%)	area (cm ²)	illuminat on (mW/cm ²)	reference
TiO ₂	?	11	0.25	100 (AM1.5)	Green 2001
TiO ₂	Black Dye	10.4	?	100 (AM1.5)	Grätzel 2000
TiO ₂	N3	10.0	0.3	96 (AM1.5)	Nazeeruddin et al. 1993
TiO ₂	N719 ²²	9.2	1.5	? (AM1.5)	Deb et al. 1998
TiO ₂	RuL ₂ (μ - (CN)Ru(CN)L") ₂	7.1	0.5	75 (AM1.5)	O'Regan & Grätzel 1991
TiO ₂	N3	6	1	100 (ELH lamp)	Hagfeldt et al. 1994
		7.3		11.5 (ELH lamp)	
TiO ₂	A Ru -phenantroline cerivative	6.1	0.44	100 (AM 1.5)	Yanagida et al. 2000
TiO ₂	a coumarin derivate	5.6	?	100 (AM1.5)	Hara et al. 2001a
TiO ₂	Cu-2- α - oxymesoisochlorin	2.6	0.5	100 ("white light")	Kay & Grätzel 1993
TiO ₂	A natural cyanin-dye	0.56	0.9	100 (AM1.5)	Cherepy et al. 1997

L = 2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylic

L" = 2,2'-bipyridine

Di Indonesia sendiri penelitian tentang DSSC telah banyak dilakukan seperti oleh Wilman Septina, dkk pada tahun 2007. Penelitian tersebut dilakukan

dengan metode nanopori TiO_2 yaitu *sol-gell* dan sebagai bahan dye digunakan buah delima. Hasil yang didapatkan adalah tegangan listrik sebesar 162,4 mV dari prototipe DSSC tersebut dengan intensitas penyinaran pada siang hari.

Selain itu ada juga Diah Lestari Pangestuti (Universitas Diponegoro) pada tahun 2010 yaitu pembuatan DSSC berbasis TiO_2 dengan *dye* buah Buni. Dari penelitian tersebut didapatkan tegangan listrik sebesar 0,223 Volt.

2.2. LANDASAN TEORI

2.2.1. Energi Surya

Energi surya adalah radiasi yang diproduksi oleh reaksi fusi nuklir pada inti matahari. Matahari mensuplai hampir semua panas dan cahaya yang diterima bumi untuk digunakan makhluk hidup. Energi surya sampai ke bumi dalam bentuk paket-paket energi yang disebut foton.

Dalam kaitannya dengan sel surya, perangkat yang mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi listrik, terdapat dua parameter dalam energi surya yang paling penting: pertama intensitas radiasi, yaitu jumlah daya matahari yang tiba di permukaan per luas area, dan kedua adalah karakteristik spektrum cahaya matahari. Intensitas radiasi matahari diluar atmosfer bumi disebut konstanta surya, yaitu sebesar 1365 W/m^2 (Wilman, 2007). Setelah disaring oleh atmosfer bumi, beberapa spektrum cahaya hilang, dan intensitas puncak radiasi menjadi sekitar 1000 W/m^2 . Nilai ini adalah tipikal intensitas radiasi pada keadaan permukaan tegak lurus sinar matahari dan pada keadaan cerah. Sebagai contoh apabila

seseorang mengikuti pergerakan matahari dalam delapan jam, maka rata-rata intensitas radiasi surya yang diterima per hari kira-kira $1000 (8/24) = 333 \text{ W/m}^2$.

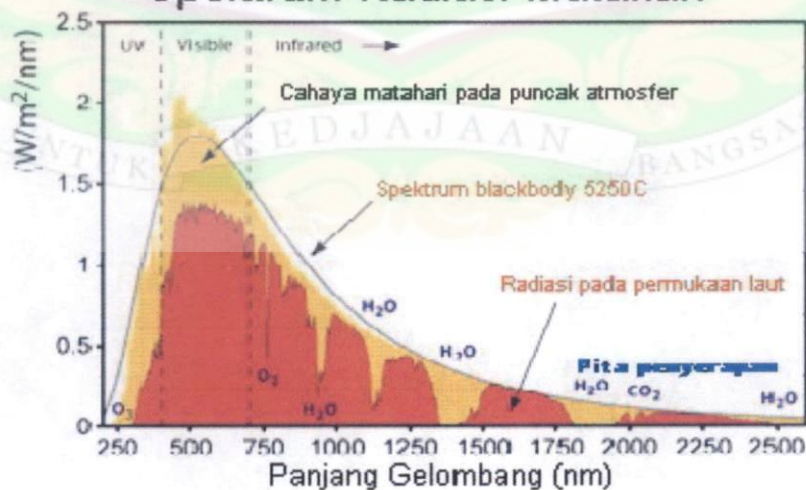
Pada permukaan yang diam, nilai tipikal pada keadaan cerah yaitu antara $180\text{-}270 \text{ W/m}^2$ (Wilman, 2007). Data energi surya untuk kepentingan ekonomis umumnya direpresentasikan dalam unit *insolation*. Hubungan antara rata-rata intensitas radiasi dan *insolation* dirumuskan dengan Persamaan (2.1) :

$$\text{Insolation } \frac{\text{kWh}}{\text{hari.m}^2} = \text{radiasi} \cdot \frac{24 \text{ jam}}{\text{hari}} \cdot \frac{10^{-3} \text{ kW}}{\text{W}} \quad (2.1)$$

Sebagai contoh untuk intensitas radiasi 250 W/m^2 , nilai *insolation* yaitu 6 kWh/hari/m^2 (Wilman, 2007).

Radiasi surya dipancarkan dari *fotosphere* matahari pada temperatur 6000K , yang memberikan distribusi spektrumnya mirip dengan distribusi spektrum *black body*. Dengan melalui atmosfer bumi, radiasi surya diatenuasikan oleh berbagai partikel diantaranya molekul udara, aerosol, partikel debu, dll sehingga menghasilkan spektrum seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.

Spektrum Radiasi Matahari



Gambar 2.1. Standar Spektrum Radiasi Surya.
(sumber : Wikipedia, 2010)

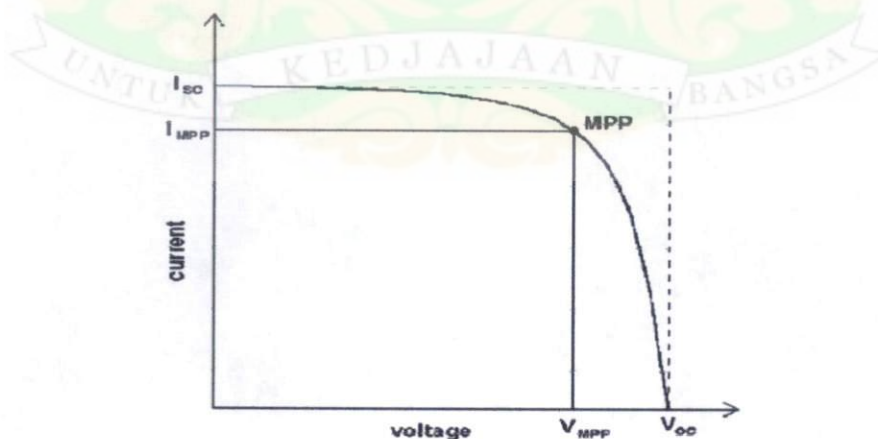
2.2.2 Sel Surya

Sel surya atau fotovoltaik adalah perangkat yang mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi energi listrik. Efek fotovoltaik ini ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839, dimana Becquerel mendeteksi adanya tegangan foto ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit. Pada tahun 1954 peneliti di *Bell Telephone* menemukan untuk pertama kali sel surya silikon berbasis *p-n junction* dengan efisiensi 6%. Sekarang ini, sel surya silikon mendominasi pasar sel surya dengan pangsa pasar sekitar 82% dan efisiensi lab dan komersil berturut-turut yaitu 24,7% dan 15% (Wilman, 2007).

2.2.3 Performansi Sel Surya

2.2.3.1 Karakteristik I-V

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Kemampuan ini direpresentasikan dalam kurva arus-tegangan (I-V) seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Karakteristik Kurva I-V pada Sel Surya

Ketika sel dalam kondisi *short circuit*, arus maksimum atau arus short *circuit* (I_{SC}) dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open circuit* (V_{OC}). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum (MPP).

2.2.3.2 Fill Factor dan Efisiensi Kuantum

Karakteristik penting lainnya dari sel surya yaitu *fill factor* (FF), dalam Persamaan (2.2):

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (2.2)$$

Dengan menggunakan fill factor maka maksimum daya dari sel surya didapat dari Persamaan (2.3):

$$P_{MAX} = V_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF \quad (2.3)$$

Sehingga efisiensi sel surya yang didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan dari sel (P_{MAX}) dibagi dengan daya dari cahaya yang datang (P_{Cahaya}), seperti pada Persamaan (2.4):

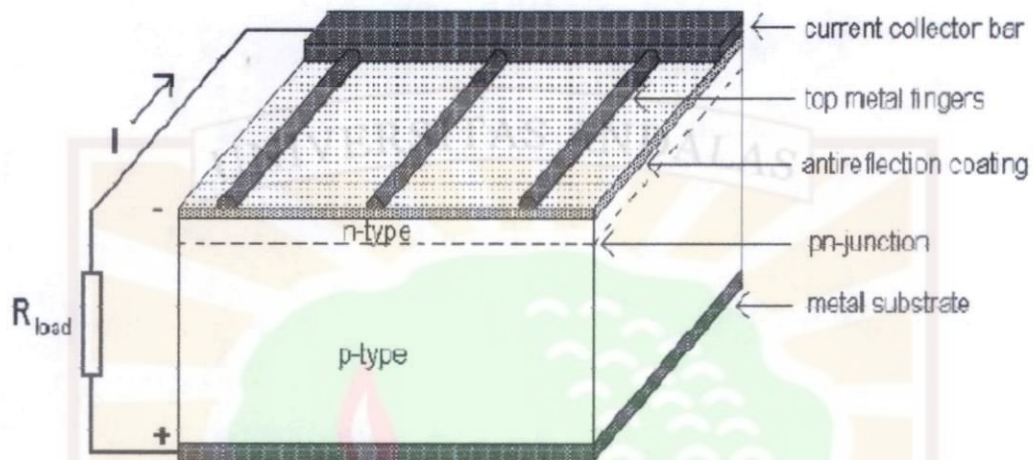
$$\mu = \frac{P_{MAX}}{P_{Cahaya}} \times 100 \% \quad (2.4)$$

Nilai efisiensi ini yang menjadi ukuran global dalam menentukan kualitas performansi suatu sel surya.

2.2.4 Prinsip Kerja Sel Surya Konvensional Silikon

Prinsip kerja sel surya silikon adalah berdasarkan konsep semikonduktir *p-n junction*. Sel terdiri dari lapisan semikonduktor doping-n dan doping-p yang membentuk *p-n junction*, lapisan antirefleksi, dan substrat logam sebagai tempat

mengalirnya arus dari lapisan tipe-n (elektron) dan tipe-p (hole). Struktur sel surya konvensional silikon p-n *junction* dapat dilihat pada Gambar 2.3.

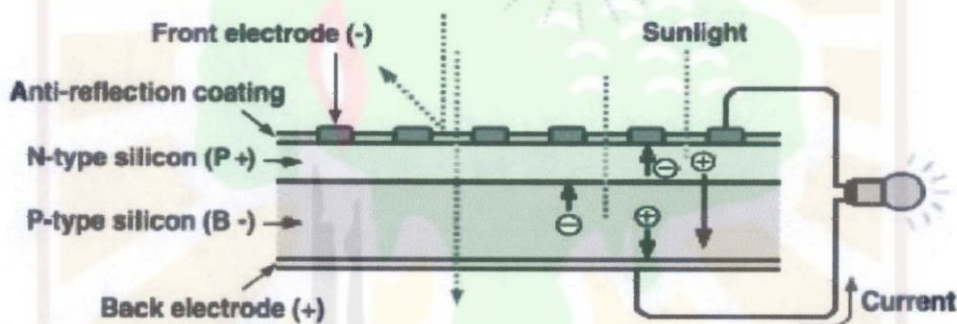


Gambar 2.3 Struktur sel surya Silikon p-n junction
(sumber : J. Halme, 2002)

Semikonduktor tipe-n didapat dengan mendoping silikon dengan unsur dari golongan V sehingga terdapat kelebihan elektron valensi dibanding atom sekitar. Pada sisi lain semikonduktor tipe-p didapat dengan doping oleh golongan III sehingga elektron valensinya defisit satu dibanding atom sekitar. Ketika dua tipe material tersebut mengalami kontak maka kelebihan elektron dari tipe-n berdifusi pada tipe-p. Sehingga area doping-n akan bermuatan positif sedangkan area doping-p akan bermuatan negatif. Medan elektrik yang terjadi antara keduanya mendorong elektron kembali ke daerah-n dan *hole* ke daerah-p. Pada proses ini telah terbentuk p-n *junction*. Dengan menambahkan kontak logam pada area p dan n maka telah terbentuk dioda.

Ketika *junction* disinari, foton yang mempunyai energi sama atau lebih besar dari lebar pita energi material tersebut akan menyebabkan eksitasi elektron

dari pita valensi ke pita konduksi dan akan meninggalkan hole pada pita valensi. Elektron dan hole ini dapat bergerak dalam material sehingga menghasilkan pasangan elektron-hole. Apabila ditempatkan hambatan pada terminal sel surya, maka elektron dari area-n akan kembali ke area-p sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus akan mengalir. Skema cara kerja sel surya silikon ditunjukkan pada Gambar 2.4



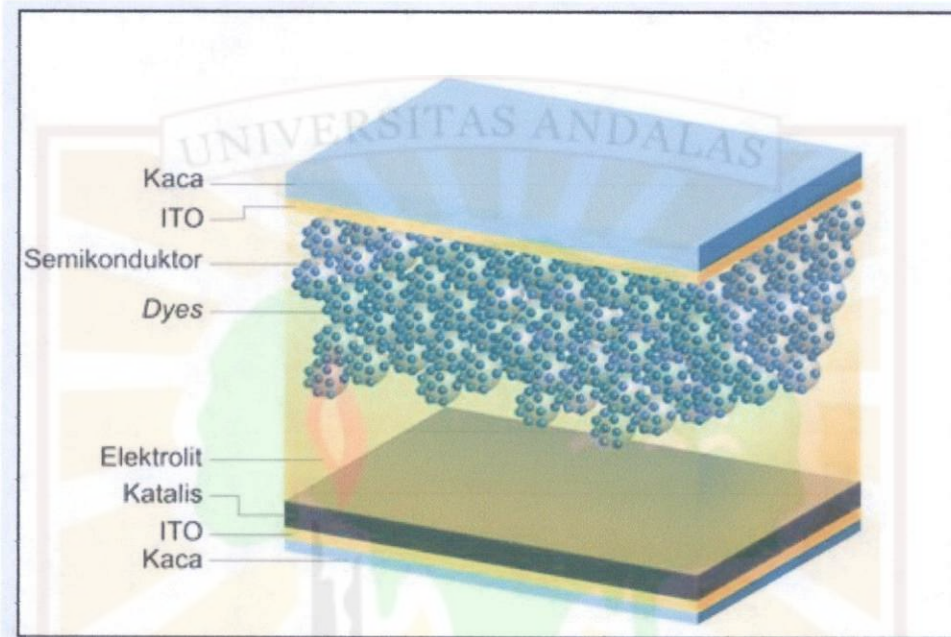
Gambar 2.4 Skema Kerja Sel Surya Silikon
(sumber : Wikipedia Indonesia, 2010)

2.2.5 Dye-sensitized Solar Cell (DSSC)

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC), sejak pertama kali ditemukan oleh Professor Michael Gratzel pada tahun 1991, telah menjadi salah satu topik penelitian yang dilakukan intensif oleh peneliti di seluruh dunia. DSSC bahan disebut juga terobosan pertama dalam teknologi sel surya sejak sel surya silikon.

Berbeda dengan sel surya konvensional, DSSC adalah sel surya fotoelektrokimia sehingga menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan. Selain elektrolit, DSSC terbagi menjadi beberapa bagian yang terdiri dari

nanopartikel TiO_2 , molekul *dye* yang teradsorpsi di permukaan TiO_2 , larutan elektrolit dan katalis yang semuanya dideposisi diantara dua kaca konduktif, seperti terlihat pada Gambar 2.5.



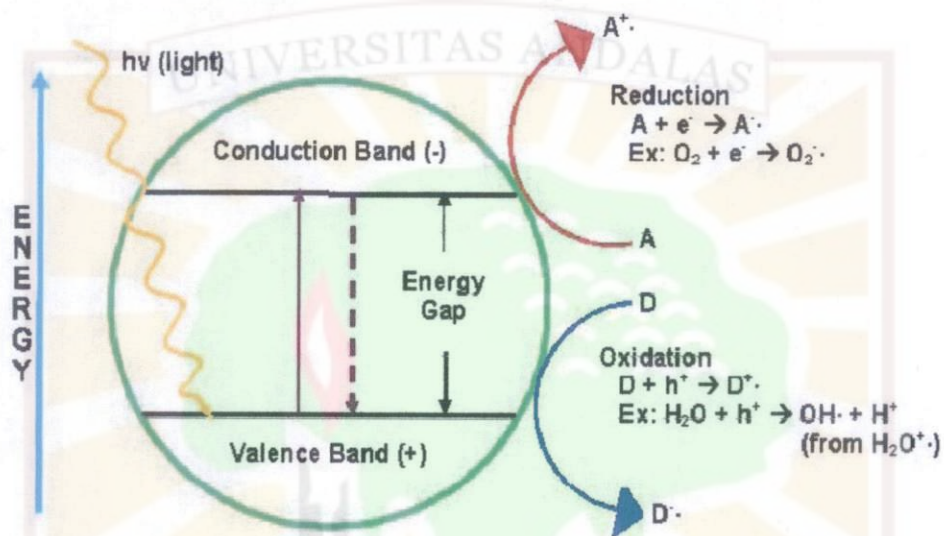
Gambar 2.5. Struktur *Dye-sensitized Solar Cell*
(sumber : Wikipedia Indonesia , 2010)

Pada bagian atas dan alas sel surya merupakan *glass* yang sudah dilapisi oleh TCO (*Transparent Conducting Oxide*) biasanya ITO, yang berfungsi sebagai elektroda dan counter-elektroda. Pada TCO counter-elektroda dilapisi katalis untuk mempercepat reaksi redoks dengan elektrolit. Pasangan redoks yang umumnya dipakai yaitu I^-/I_3^- (iodide/triiodide). Pada permukaan elektroda dilapisi oleh lapisan tipis TiO_2 yang mana *dye* teradsorpsi di lapisan TiO_2 . *Dye* yang umumnya digunakan yaitu jenis *ruthenium complex*.

2.2.5.1 Cara kerja DSSC

Pada dasarnya prinsip kerja dari DSSC merupakan reaksi dari transfer elektron. Proses pertama dimulai dengan terjadinya eksitasi elektron pada molekul

dye akibat absorpsi foton. Dimana ini merupakan salah satu peran dari sifat TiO₂ fasa anatase yaitu fotokatalis. TiO₂ fasa anatase memiliki aktivitas *photocatalis* yang lebih tinggi dibandingkan fasa rutil. Ilustrasi proses fotokatalis pada TiO₂ dapat dilihat pada Gambar 2,6.



Gambar 2.6. Ilustrasi proses fotokatalis
(sumber : Mikrajudin, 2009)

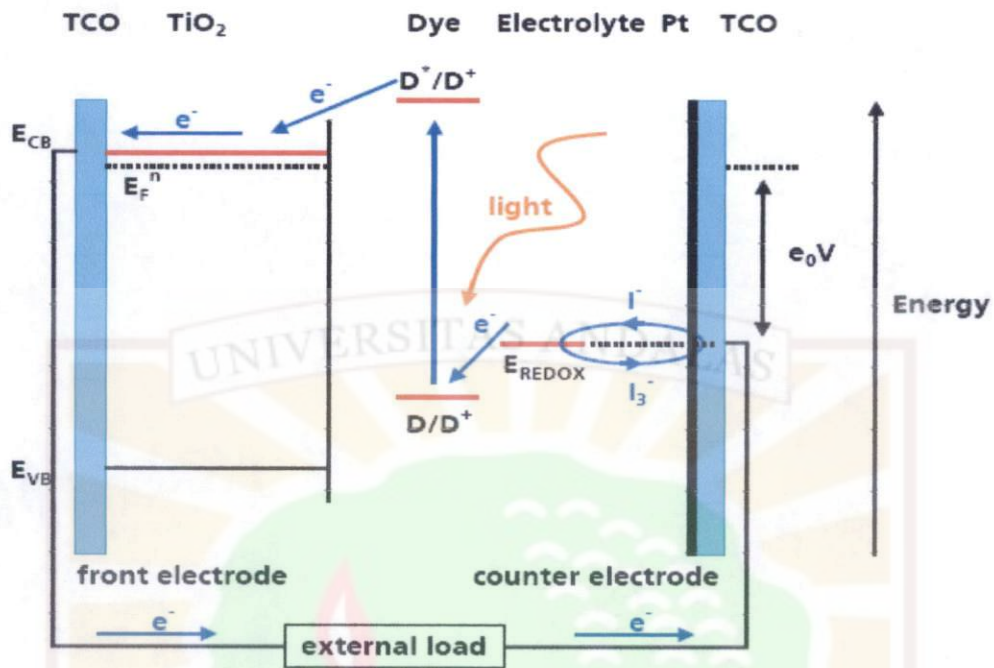
Elektron tereksitasi dari *ground state* (D) ke *excited state* (D^{*}).



Elektron dari *excited state* kemudian langsung terinjeksi menuju *conduction band* (E_{CB}) titania sehingga molekul *dye* teroksidasi (D⁺). Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I⁻) maka molekul dye kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh dye yang teroksidasi.



Skema kerja dari DSSC dapat dilihat pada Gambar 2.7 :



Gambar 2.7. Skema Kerja dari DSSC
(sumber : Wilman, 2007)

Setelah mencapai elektroda TCO, elektron mengalir menuju counter-elektroda melalui rangkaian eksternal. Dengan adanya katalis pada counter-elektroda, elektron diterima oleh elektrolit sehingga hole yang terbentuk pada elektrolit (I_3^-), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berekombinasi dengan elektron membentuk iodide (I^-) dengan Persamaan (2.7)



Iodide ini digunakan untuk mendonor elektron kepada dye yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron. Dengan siklus ini terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik.

2.2.5.2 Material DSSC

2.2.5.2.1. Substrat

Substrat yang digunakan pada DSSC yaitu jenis TCO (*Transparent Conductive Oxide*) yang merupakan kaca transparan konduktif. Material substrat itu sendiri berfungsi sebagai badan dari sel surya dan lapisan konduktifnya berfungsi sebagai tempat muatan mengalir.

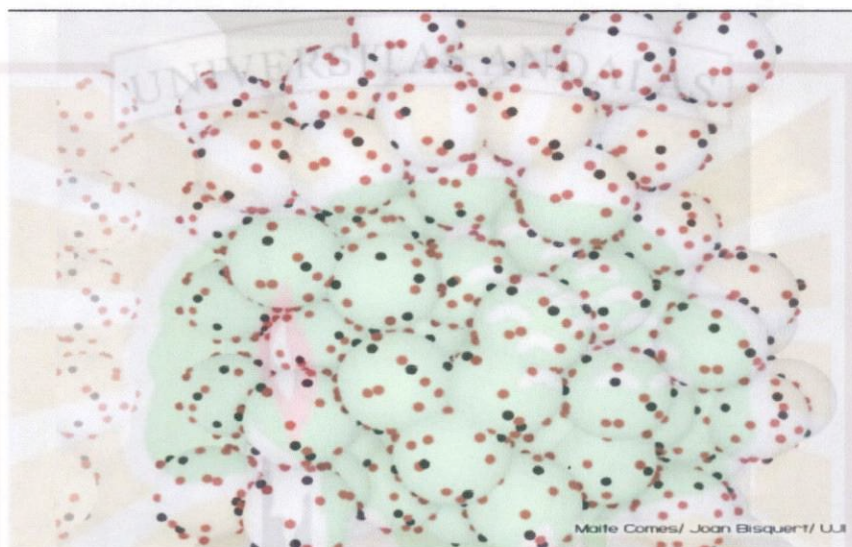
Material yang umumnya digunakan yaitu *flourine-doped tin oxide* ($\text{SnO}_2\text{:F}$ atau FTO) dan *indium tin oxide* ($\text{In}_2\text{O}_3\text{:Sn}$ atau ITO) hal ini dikarenakan dalam proses pelapisan material TiO_2 kepada substrat, diperlukan proses sintering pada temperatur 400°C - 500°C dan kedua material tersebut merupakan pilihan yang cocok karena tidak mengalami *defect* pada range temperatur tersebut.

2.2.5.2.2. Nanopartikel TiO_2

Penggunaan oksida semikonduktor dalam fotoelektrokimia dikarenakan kestabilannya menghadapi fotokorosi. Selain itu lebar pita energinya yang besar (3,2 – 3,8 eV), dibutuhkan dalam DSSC untuk transparansi semikonduktor pada sebagian besar spektrum cahaya matahari. Selain semikonduktor TiO_2 , yang digunakan dalam penelitian ini, semikonduktor lain yang digunakan yaitu ZnO, CdSe, CdS, WO_3 , Fe_2O_3 , SnO_2 , Nb_2O_5 , dan Ta_2O_5 . Namun TiO_2 masih menjadi material yang sering digunakan karena efisiensi DSSC menggunakan TiO_2 masih belum tertandingi.

Di alam umumnya TiO_2 mempunyai tiga fasa yaitu rutil, anatase, dan brookite. Fasa rutil dari TiO_2 adalah fasa yang umum dan merupakan fasa yang disintesis dari mineral *ilmenite* melalui proses Becher. Pada proses Becher, oksida besi yang terkandung dalam *ilmenite* dipisahkan dengan temperatur tinggi dan juga dengan bantuan gas sulfat atau klor sehingga menghasilkan TiO_2 rutil

dengan kemurnian 91 – 93 %. Titania pada fasa anatase umumnya stabil pada ukuran partikel kurang dari 11 nm, fasa brookite pada ukuran partikel 11 – 35 nm, dan fasa rutile di atas 35 nm. Bentuk nanopartikel fasa anatase TiO_2 dapat dilihat pada Gambar 2.8.



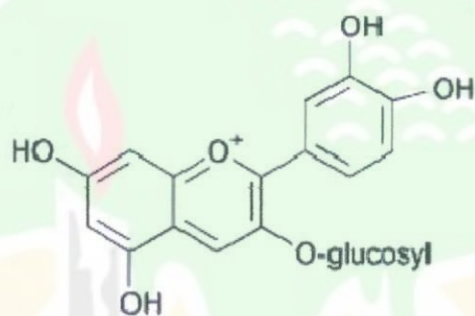
Gambar 2.8. Fasa anatase TiO_2
(sumber : Wikipedia Indonesia , 2010)

Untuk aplikasinya pada DSSC, TiO_2 yang digunakan umumnya berfasa anatase karena mempunyai kemampuan fotoaktif yang tinggi. Selain itu TiO_2 dengan struktur nanopori yaitu ukuran pori dalam skala nano akan menaikkan kinerja sistem karena struktur nanopori mempunyai karakteristik luas permukaan yang tinggi sehingga akan menaikkan jumlah *dye* yang teradsorpsi yang implikasinya akan menaikkan jumlah cahaya yang terabsorpsi.

2.2.5.2.3. *Dye*

Seperti telah dijelaskan di atas, fungsi absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul *dye* yang teradsorpsi pada permukaan TiO_2 . *Dye* yang umumnya digunakan dan mencapai efisiensi paling tinggi yaitu jenis *ruthenium complex*.

Walaupun DSSC menggunakan *ruthenium complex* telah mencapai efisiensi yang cukup tinggi, namun *dye* jenis ini cukup sulit untuk disintesa dan *ruthenium complex* komersil berharga mahal. Alternatif lain yaitu penggunaan *dye* dari buah-buahan, khususnya *dye antocyanin*. *Antocyanin* ini yang menyebabkan warna merah dan ungu pada banyak buah dan bunga. Salah satu pigmen cyanin yang memegang peranan penting dalam proses absorpsi cahaya yaitu cyanidin 3-O- β -glucoside, struktur kimianya ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Struktur Kimia *Antocyanin Dye*

2.2.5.2.4. Elektrolit

Elektrolit yang digunakan pada DSSC terdiri dari iodine (I) dan triiodide (I^3) sebagai pasangan redoks dalam pelarut. Karakteristik ideal dari pasangan redoks untuk elektrolit DSSC yaitu,

1. Potensial redoksnnya secara termodinamika berlangsung sesuai dengan potensial redoks dari *dye* untuk tegangan sel yang maksimal.
2. Tingginya kelarutan terhadap pelarut untuk mendukung konsentrasi yang tinggi dari muatan pada elektrolit.
3. Pelarut mempunyai koefisien difusi yang tinggi untuk transportasi massa yang efisien.

4. Tidak adanya karakteristik spektral pada daerah cahaya tampak untuk menghindari absorpsi cahaya datang pada elektrolit.
5. Kestabilan yang tinggi baik dalam bentuk tereduksi maupun teroksidasi.
6. Mempunyai reversibilitas tinggi.
7. Inert terhadap komponen lain pada DSSC.

2.2.5.2.5. Katalis Counter Elektroda

Katalis dibutuhkan untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada TCO. Platina, material yang umum digunakan sebagai katalis pada berbagai aplikasi, juga sangat efisien dalam aplikasinya pada DSSC. Platina dideposisikan pada TCO dengan berbagai metoda yaitu elektrokimia, *sputtering*, *spin coating*, atau *pyrolysis*.

Walapun mempunyai kemampuan katalitik yang tinggi, platina merupakan material yang mahal. Sebagai alternatif, Kay & Gratzel (1996) mengembangkan desain DSSC dengan menggunakan *counter-elektroda* karbon sebagai lapisan katalis. Karena luas permukaanya yang tinggi, *counter-elektroda* karbon mempunyai keaktifan reduksi *triiodide* yang menyerupai elektroda platina.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. WAKTU DAN LOKASI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Oktober 2010 – Maret 2011 dengan waktu efektif kurang lebih 5 bulan di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas.

3.2. ALAT DAN BAHAN PENELITIAN

3.2.1 Bahan- bahan :

1. Nanopartikel anatase TiO_2 dari BRATACO, Indonesia
2. Alkohol 70 %
3. Aquades
4. Potassium iodide (KI) dari Merck
5. Iodine (I_2) dari Merck
6. PVA (*Polyvinyl Alcohol*) dari BRATACO, Indonesia
7. Asam asetat
8. Buah Karamunting (*Rhodomyrtus Tomentosa*)
9. *Graphite* (pensil 2B)
10. *Acetonitrille*
11. Methanol
12. Kaca konduktif (TCO) jenis ITO (*Indium tin oxide*)

3.2.2 Peralatan :

1. Gelas kimia
2. Tabung ukur
3. Pipet
4. Pengaduk magnetik dengan pemanas (*Stirer magnetic dengan hot plate*)
5. Cawan petri
6. Oven Memmert
7. Mortar
8. Multimeter digital HELES
9. Luxmeter
10. Timbangan digital OHAUS GALAXY™160

3.3. TATA LAKSANA PENELITIAN

3.3.1. Preparasi Substrat Kaca ITO

Substrat kaca penghantar berperan sebagai pengumpul arus dan sekaligus sebagai struktur pendukung sel dan lapisan pembatas antara sel dengan udara terbuka. Sebelum digunakan dalam rangkaian DSSC, substrat kaca penghantar tersebut terlebih dulu dibagi-dibagi atau dipotong menjadi beberapa bagian, dimana setiap bagian ini mempunyai ukuran 1x1 cm dan dicuci dengan alkohol 70 % untuk membersihkan permukaan kaca dari pengotor – pengotor dan dikeringkan di udara terbuka. Alkohol 70 % dipilih sebagai bahan pembersih karena selain bersifat dapat melarutkan pengotor – pengotor organik, juga karena

alkohol 70 % lebih mudah menguap di udara terbuka jika dibandingkan dengan air.

3.3.2. Preparasi Suspensi TiO₂

Suspensi TiO₂ dibuat dari bubuk TiO₂ (BRATACO, Indonesia). Fase kristalin TiO₂ yang digunakan pada percobaan ini adalah fase anatase hal ini disebabkan fase anatase lebih *photoactive* dari pada fase rutil dan brookite (Park, Lagemaat dan Frank, 2000). Selanjutnya sejumlah bubuk TiO₂ ditambahkan dengan PVA (BRATACO, Indonesia). Penambahan PVA berfungsi sebagai *particle stabilizer* untuk mencegah reagregasi partikel. Kemudian ke dalam campuran tersebut ditambahkan aquades sambil terus diaduk perlahan untuk membuat koloid lebih cair. Selanjutnya, suspensi TiO₂ diaduk dengan menggunakan *stirer magnetic*.

Hasil yang diperoleh dari prosedur diatas disebut sebagai suspensi. Rasio perbandingan jumlah TiO₂ dengan material cair lainnya merupakan faktor yang cukup penting untuk diperhatikan selama pembuatan suspensi TiO₂. Karena jika rasio TiO₂ dan material cair terlalu tinggi akan menyebabkan film TiO₂ yang dihasilkan menjadi terlalu tebal dan akan cenderung dapat terkelupas dari permukaan kaca penghantar. Sebaliknya jika rasio perbandingannya terlalu kecil, maka film akan menjadi terlalu tipis yang akan berakibat lapisan mudah menguap dan sel surya yang dihasilkan tidak akan cukup kuat untuk menyerap sinar matahari.

Pada penelitian ini dilakukan beberapa variasi rasio perbandingan jumlah TiO_2 dengan PVA dan material cair (aquades). Variasi perbandingan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Variasi perbandingan bahan pembentuk suspensi TiO_2

No.	TiO_2 (gram)	PVA (gram)	Aquades (mL)
1.	1	1	10
2.	1,5	1,5	15
3.	2	2	20
4.	2,5	2,5	25
5.	3	3	30

Dari variasi tersebut didapatkan optimasi suspensi yang terbaik pada perbandingan 2 gram : 2 gram : 20 mL. Hasil optimasi ini dilihat berdasarkan kekentalan, dan tidak adanya pengendapan PVA setelah suspensi dibiarkan beberapa lama (± 10 jam) seperti terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Suspensi TiO_2

3.3.3 Pelapisan Elektroda TiO_2

Selanjutnya suspensi TiO_2 yang telah disiapkan dapat dilapiskan pada permukaan substrat kaca penghantar yang nantinya berfungsi sebagai elektroda kerja. Sebelum dilapisi, kaca penghantar yang telah dibersihkan diukur hambatannya dengan menggunakan multimeter dan diperoleh hambatan untuk

tiap kaca penghantar yang hendak digunakan berkisar antara 18-24 ohm/cm². Metode pelapisan yang dipilih dalam penelitian ini adalah metode *dip-coating*. Substrat kaca penghantar yang telah dibersihkan tersebut dicelupkan ke dalam suspensi dengan menggunakan alat *dip-coating*. Alat ini bekerja dengan kecepatan 2 mm/s, Sehingga substrat dengan ukuran 1x1 cm akan terlapisi dalam waktu ± 5 detik. Sesudah proses pelapisan, kaca penghantar yang telah terlapisi TiO₂ dibiarkan mengering diudara terbuka selama ± 45 menit. Sesudah mengering, kemudian elektroda yang telah dibuat tersebut siap untuk disintering.

3.3.4 Pemanasan Elektroda TiO₂

Proses pemanasan elektroda TiO₂ dilakukan pada suhu 100⁰ C selama 60 menit di dalam oven. Sesudah 30 menit, temperatur oven diturunkan secara perlahan, untuk mencegah terjadi *thermal stress* dan terkelupasnya lapisan TiO₂, kemudian elektroda dikeluarkan dari oven dan dibiarkan pada temperatur ruang. Proses sintering ini bertujuan untuk membentuk pori sehingga terbentuk film TiO₂ yang memiliki *surface area* yang besar (Smestad, 1998) serta membentuk struktur anatase pada TiO₂. Selain itu, dengan pemanasan pada suhu tinggi dapat menghilangkan senyawa organik yang terjebak di dalam pori-pori TiO₂ dan menjadikan partikel-partikel TiO₂ lebih kuat serta dapat menghantarkan listrik. Jika tidak langsung digunakan, elektroda TiO₂ ini disimpan dalam desikator. Sebelum dicelupkan dalam zat warna, elektroda TiO₂ dipanaskan lagi pada temperatur 70⁰ C. Tujuan pemanasan suhu rendah ini adalah untuk membuka

kembali pori – pori TiO_2 , menghilangkan uap air dari udara yang mungkin masuk ke dalam pori – pori TiO_2 , sehingga mempermudah adsorpsi zat warna.

3.3.5 Persiapan Ekstrak *Dye* Karamunting

Zat warna pada buah karamunting diekstrak dengan menggunakan ekstraksi padat cair atau disebut teknik maserasi sederhana. Buah karamunting yang telah ditimbang ditumbuk dalam mortar kemudian ditambahkan methanol, aquades dan asam asetat 98%. Ekstrak yang diperoleh disaring dengan saringan untuk menghilangkan partikel – partikel kasar dari buah karamunting supaya tidak merusak lapisan tipis film TiO_2 pada saat dilakukan proses perendaman.



Gambar 3.2. Ekstrak *dye* karamunting

Larutan zat warna sebaiknya disiapkan dalam kondisi segar, sesaat sebelum digunakan untuk merendam elektroda TiO_2 , untuk mencegah kerusakan karena penguapan pelarut ataupun akibat teroksidasi oleh sinar matahari dan udara. Disamping itu, untuk menghindari kerusakan tersebut larutan ekstrak karamunting hendaknya disimpan dalam botol gelap yang tertutup rapat.

3.3.6 Perendaman Elektroda TiO_2 dalam Ekstrak *Dye* Karamunting

Pencelupan elektroda TiO_2 dalam ekstrak zat warna bisa dilakukan secara langsung sesudah proses sintering saat elektroda masih hangat atau sekitar suhu

70⁰ C. Hal ini dilakukan untuk mencegah kemungkinan masuknya partikel uap air dari udara ke dalam pori – pori film TiO₂, atau jika tidak segera dilakukan pencelupan, maka sebelum digunakan elektroda TiO₂ dapat dipanaskan lagi pada suhu 70⁰ C selama beberapa waktu. Elektroda dicelupkan kedalam larutan zat warna dengan posisi sisi elektroda yang dilapisi TiO₂ berada pada bagian bawah. Proses pencelupan dilakukan selama kurang lebih 15 menit hingga elektroda TiO₂ yang sebelumnya berwarna putih akan berubah menjadi merah keungu-unguan seperti warna larutan ekstrak karamunting akibat proses adsorpsi *dye* karamunting pada permukaan TiO₂.

Perbedaan warna yang terjadi pada lapisan TiO₂ yang telah direndam dalam zat warna karamunting ini menunjukkan perbedaan ketebalan lapisan TiO₂. Sesudah proses pencelupan, elektroda TiO₂ dibersihkan terlebih dahulu dari kelebihan zat warna yang menempel disekitar substrat kaca dengan cara dibiarkan di udara terbuka.

3.3.7 Pembuatan Elektroda Pemanding

Elektroda pemanding (*counter electrode*) berfungsi untuk mempercepat reaksi kinetik pada reaksi reduksi I₃ pada katoda. Elektroda pemanding dibuat dari substrat kaca penghantar yang dilapisi dengan katalis karbon. Katalis karbon yang digunakan berupa pensil lunak grafit yang digoreskan pada salah satu permukaan kaca penghantar yang dilapisi oksida penghantar. Seluruh permukaan elektroda dilapisi dengan katalis karbon. Pada proses ini, diusahakan tidak terjadi

spot. Lapisan tipis karbon berfungsi sebagai katalis untuk reaksi pembentukan triiodida menjadi iodida seperti reaksi berikut :



Gambar 3.3. Hasil pembuatan elektroda pembanding

3.3.8 Pembuatan Larutan Elektrolit

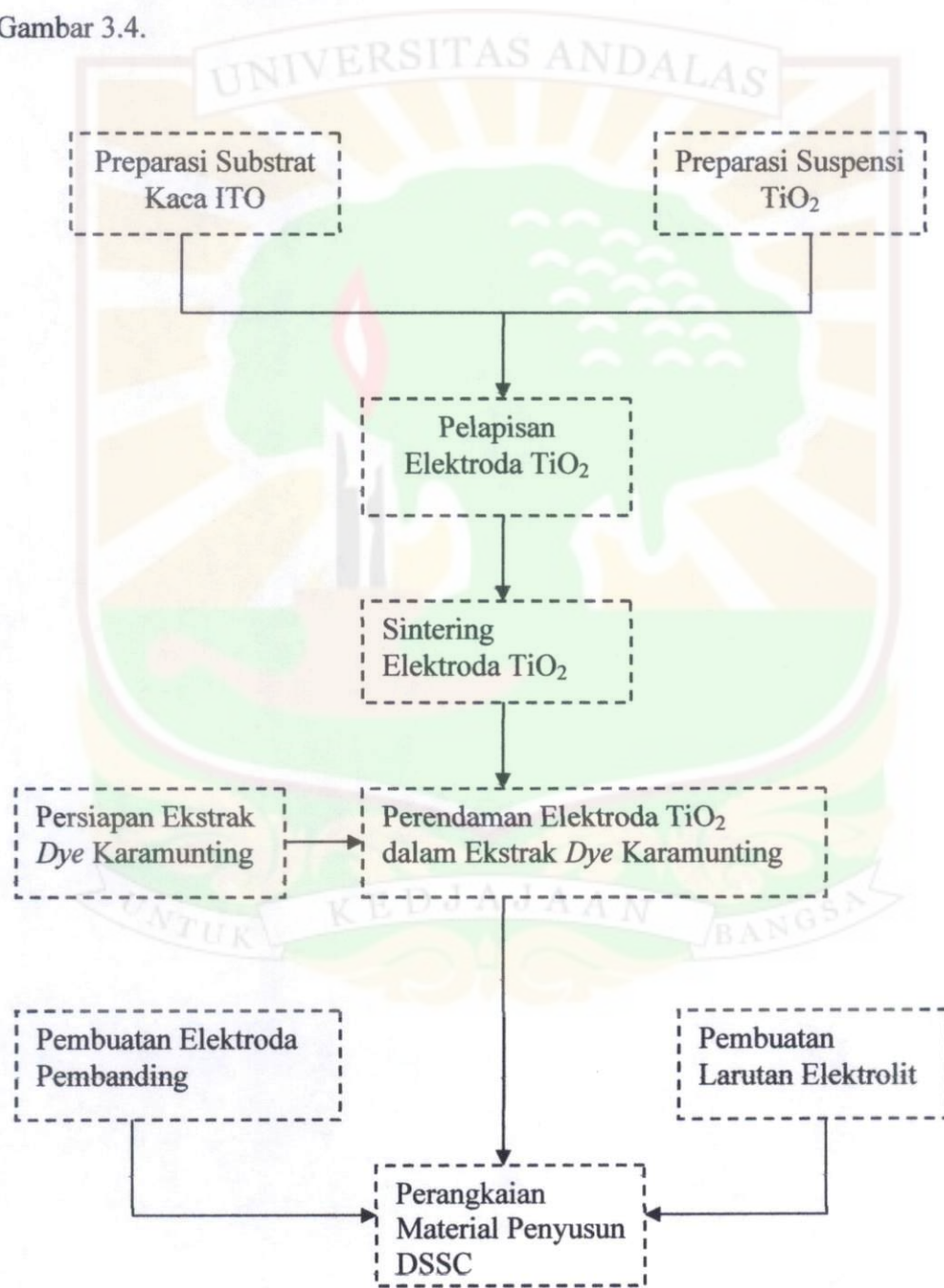
Larutan elektrolit dibuat dari bahan-bahan yaitu Potassium Iodide (KI), Iodine (I_2) dan *acetoneitrille*. Pada pembuatan larutan elektrolit juga dilakukan beberapa variasi komposisi untuk mencari hasil optimasi dari larutan elektrolit tersebut. Variasi yang dilakukan yaitu KI (0,5 M), KI (0,3 M), dan (KI 0,1 M). Sedangkan I_2 tetap pada nilai 0,05 M. Larutan elektrolit ini berfungsi sebagai penyuplai elektron kepada *dye*. Larutan elektrolit sangat berperan penting dalam DSSC yaitu sebagai penyuplai elektron ataupun sebagai penerima elektron yang telah dialirkan melalui *external load* dan melewati elektroda pembanding sehingga elektron terus mengalir dan arus akan terus dihasilkan.

3.3.9 Perangkaian Material Penyusun DSSC

Setelah material penyusun sel siap untuk digunakan, selanjutnya dirangkai menjadi sel surya. Elektroda TiO_2 diletakkan pada bidang datar dengan permukaan yang telah dilapisi TiO_2 menghadap ke atas, kemudian di atasnya

diletakkan elektroda pembanding dengan posisi berhadapan. Larutan elektrolit diteteskan di sela-sela kedua elektroda, hingga larutan tersebut menyebar di sela-selanya. Sel disatukan dengan menggunakan klip binder.

Secara umum alur tahapan tata laksana penelitian di atas ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Alur tahapan tata laksana penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengukuran arus dan tegangan

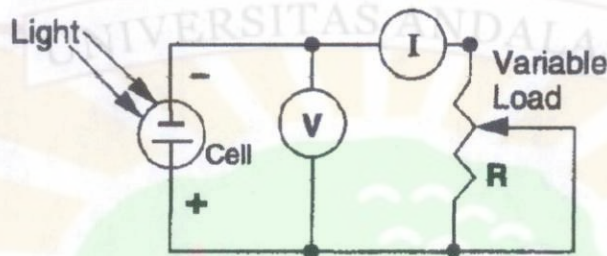
Arus dan tegangan diukur di bawah iluminasi sinar matahari secara langsung (outdoor) dan tidak langsung (indoor). Pengukuran dilakukan dengan multimeter dengan rangkaian seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Diagram rangkaian untuk V_{oc} dan I_{sc}

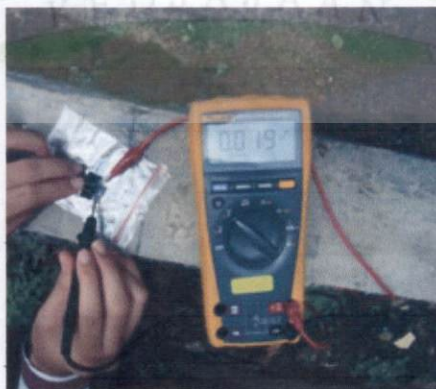
Pengukuran arus maksimum atau arus sirkuit pendek (I_{sc}) dan tegangan maksimum atau tegangan sirkuit terbuka (V_{oc}) didasarkan pada rangkaian seperti Gambar 4.1. Rangkaian tersebut menggunakan satu buah multimeter yang dioperasikan sebagai amperemeter atau voltmeter. Sedangkan untuk mendapatkan kurva I-V dapat dilakukan pengukuran seperti Gambar 4.2. Kurva I-V digunakan sebagai karakterisasi pada DSSC. Dari kurva I-V akan diketahui performa DSSC.

Multimeter yang digunakan sebanyak dua buah, yang difungsikan sebagai amperemeter dan voltameter. Penggunaan potensiometer bertujuan untuk mengubah hambatan selama proses pengukuran arus dan tegangan. Potensiometer yang digunakan mempunyai hambatan sebesar 1 kilohm.

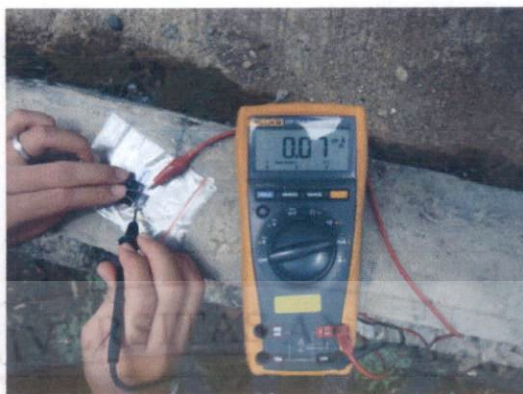


Gambar 4.2. Diagram rangkaian untuk kurva I-V

Sel surya yang telah dirangkai dilakukan pengujian langsung kemampuan konversi energinya dengan iluminasi dari cahaya matahari. Seperti terlihat pada Gambar 4.3. Sel surya berhasil mengkonversi energi surya menjadi listrik ditunjukkan dengan nilai tegangan pada multimeter sebesar 19,0 mV atau 0,019 V, dan nilai ini juga merupakan nilai V_{oc} (*Volt open circuit*). Arus listrik sebesar 0,07 mA pada kondisi iluminansi cahaya matahari cerah, dan nilai arus ini menjadi nilai I_{sc} (*I short circuit*).

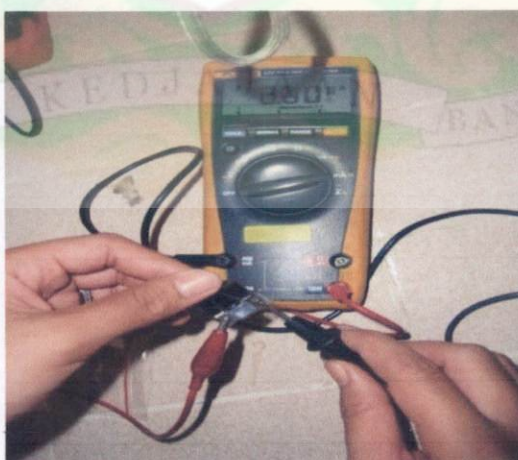


Gambar 4.3. Pengujian tegangan sel surya dengan iluminansi cahaya matahari



Gambar 4.4. Pengujian arus sel surya dengan iluminansi cahaya matahari

Pada sel surya juga dilakukan pengujian di dalam ruangan tertutup sehingga hampir tidak ada sinar matahari yang masuk, pada pengujian ini didapatkan nilai arus yang sangat kecil yaitu 0,01 mA, sedangkan untuk nilai tegangan hampir tidak terbaca. Perbedaan nilai yang dihasilkan pada kedua penyinaran tersebut disebabkan jumlah intensitas cahaya yang diterima sel surya jauh berbeda. Hal ini dikarenakan intensitas radiasi matahari dalam ruangan banyak berkurang karena terhalang struktur bangunan ruangan, sehingga hanya sebagian kecil foton yang dapat mengeksitasi elektron pada keadaan dasar (*ground state*) zat warna karamunting.

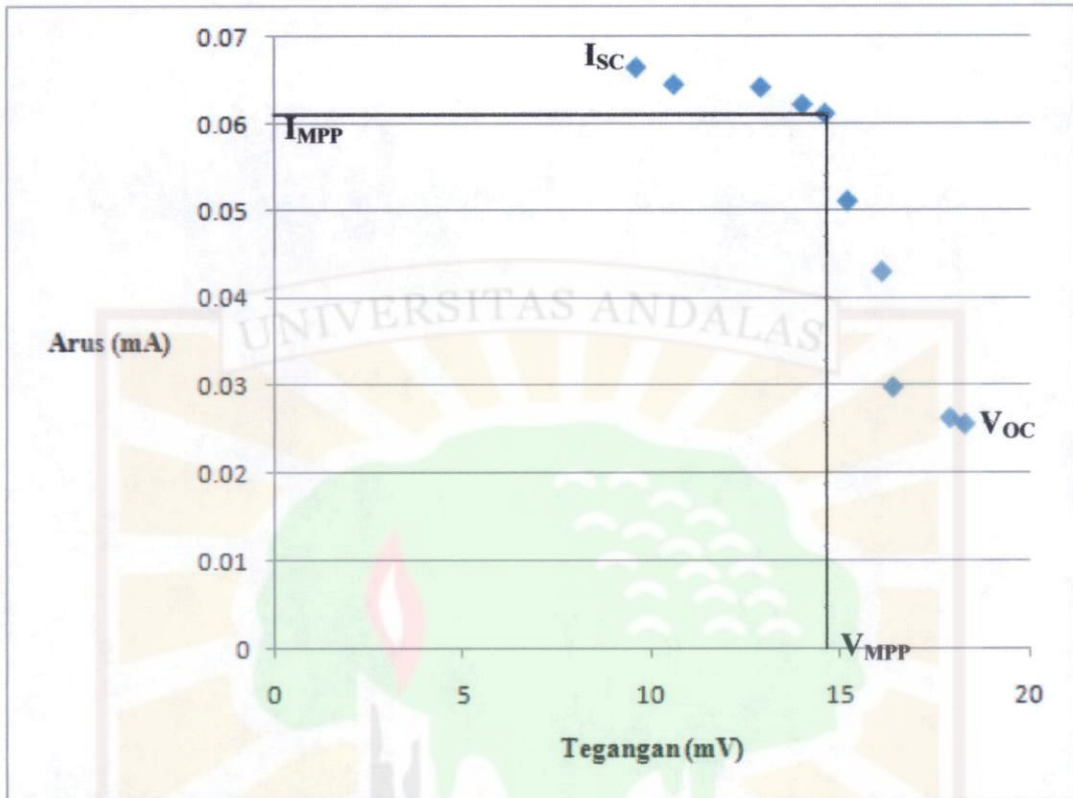


Gambar 4.5. Pengujian tegangan sel surya tanpa iluminansi cahaya matahari

Selain itu dilakukan juga pengujian sel surya dengan menghubungkannya pada potentiometer dengan nilai resistansi yang dirubah-rubah. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan kurva I-V seperti pada Gambar 4.6. Data hasil pengujian sel surya dengan iluminasi cahaya matahari dapat dilihat pada Tabel 4.1. Hasil pengujian ini adalah hasil dari pengujian yang dilakukan pada sel surya (DSSC) dengan KI 0,5 M. Sedangkan untuk variasi KI 0,1 M tidak mendapatkan arus sama sekali, dan untuk variasi KI 0,3 M, nilai arus yang didapatkan sangat kecil yaitu sebesar 0,02 mA sehingga pada saat melakukan karakterisasi pengukuran arus dan tegangan hasil yang didapat tidak ada. Hal ini dikarenakan pencapaian hasil untuk pembuatan prototipe sel surya dengan variasi KI 0,3 M dan 0,1 M tidak maksimal.

Tabel 4.1. Data hasil pengujian sel surya dengan variasi KI 0,5 M

No.	V (mV)	I (mA)
1.	9.6	0.066
2.	10.6	0.064
3.	12.9	0.063
4.	14	0.062
5.	14.6	0.061
6.	15.2	0.051
7.	16.1	0.042
8.	16.4	0.029
9.	17.9	0.026
10.	18.3	0.025



Gambar 4.6. Grafik I-V hasil pengujian sel surya zat warna Karamunting

Dari pembacaan grafik di atas maka didapatkan nilai I_{MPP} yaitu sebesar 0,0612 mA dan V_{MPP} yaitu sebesar 14,6 mV.

4.2 Fill Factor dan Efisiensi kuantum

Fill factor merupakan daya maksimum yang bisa dihasilkan oleh sel surya. Nilai *fill factor* sangat bergantung pada nilai I_{MPP} dan V_{MPP} yang dihasilkan. Nilai *fill factor* dicari dengan menggunakan Persamaan (4.1) :

$$\begin{aligned}
 FF &= \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} & (4.1) \\
 &= \frac{14,6 \times 0,0612}{19,0 \times 0,07} \\
 &= 0,7
 \end{aligned}$$

Dari nilai *fill factor* (FF) maka kita bisa mendapatkan nilai P_{max} (daya maksimum yang bisa dihasilkan sel surya), dengan menggunakan Persamaan (4.2) :

$$\begin{aligned} P_{MAX} &= V_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF & (4.2) \\ &= 19,0 \text{ mV} \times 0,07 \text{ mA} \times 0,672 \\ &= 0,9 \mu\text{Watt} \end{aligned}$$

Nilai efisiensi kuantum bisa didapatkan dengan menggunakan persamaan (4.3) :

$$\mu = \frac{P_{MAX}}{P_{Cahaya}} \times 100 \% \quad (4.3)$$

Dimana nilai P_{cahaya} didapatkan dari pengukuran secara langsung dengan menggunakan *luxmeter*, pengukuran dilakukan pada pukul 12.00 Wib – 13.00 Wib, dengan hasil pengukuran yaitu sebesar 1061 lux ($1061 \times 0,3048^2$ ft candela = 98,56934 ft candela). Sehingga didapatkanlah nilai efisiensi kuantum dari sel surya DSSC :

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{9 \times 10^{-6} \text{ Watt}}{0,000985} \times 100 \% \\ &= 0,91 \% \end{aligned}$$

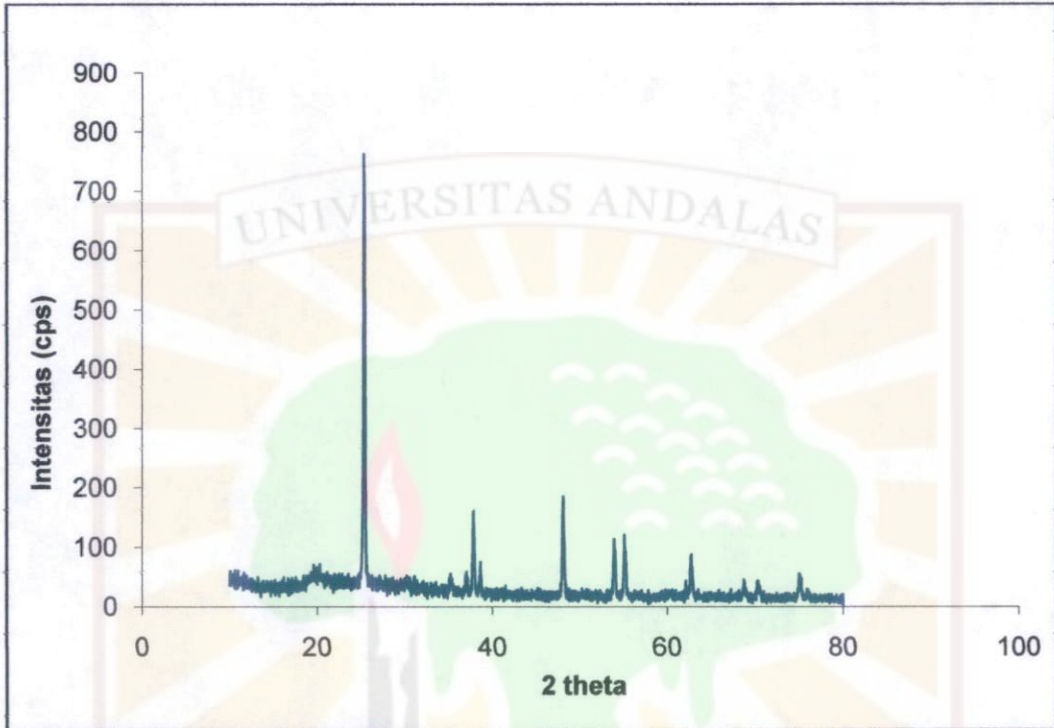
Nilai efisiensi yang didapat menunjukkan bahwa sel surya telah berhasil mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik dengan efisiensi sebesar 0,91 %.

4.3. Analisis Nanopori TiO_2

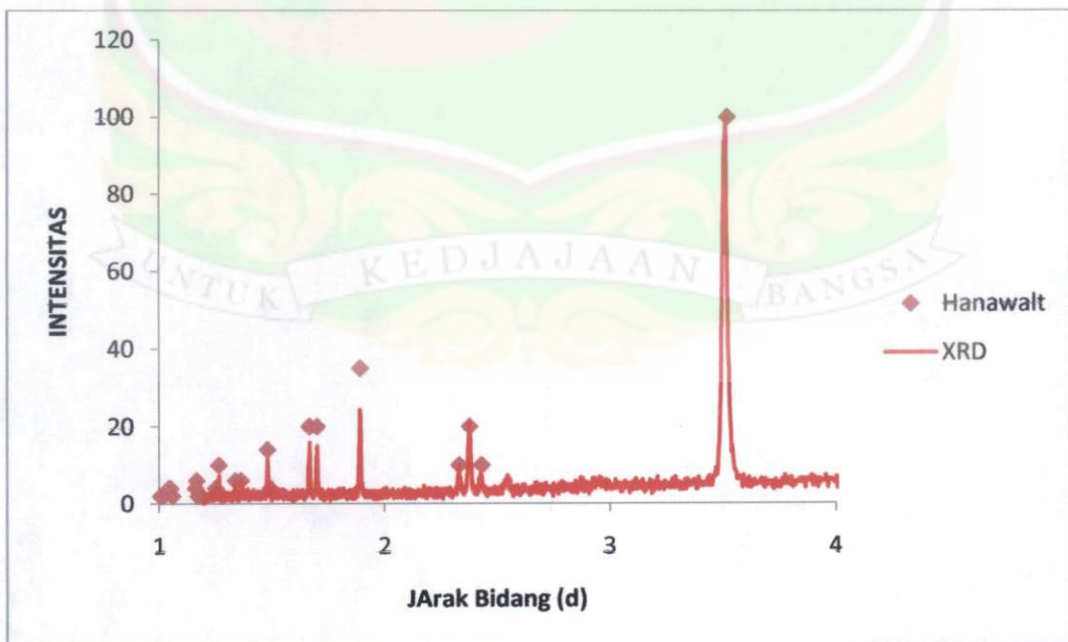
4.3.1. Hasil XRD

Pola difraksi sinar-X sampel TiO_2 yang ditunjukkan pada Gambar 4.7. menandakan TiO_2 mempunyai fasa kristal anatase sesuai dengan JCPDS no.

21-1272 (program Hanawalt). Perbandingan hasil XRD dengan Hanawalt tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.7. Pola XRD sampel TiO_2



Gambar 4.8. Perbandingan Hasil XRD dengan Hanawalt sampel TiO_2

Terlihat pada grafik pada Gambar 4.7 bahwa intensitas pola difraksi sampel tinggi mencapai nilai 750 cps menandakan bahwa TiO₂ mempunyai derajat kristalinitas yang baik. Ukuran Kristal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Scherrer pada indeks bidang miller, seperti Persamaan (4.4)

$$D = \frac{k \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (4.4)$$

Dengan :

D = ukuran Kristal

k = konstanta yang bernilai 0,9

λ = panjang gelombang Bragg (panjang gelombang sinar x)
 = 1,5406 Å = 0,15406 nm

β = ½ FWHM (Full-Width Half Maximum) seperti pada lampiran 1.
 = ½ x 0,211 = 0,1055 x $\frac{\pi}{180}$ = 0,001840.

θ = sudut Bragg, ($2\theta = 25,368^\circ$)
 = $12,684^\circ$.

Maka ukuran Kristal TiO₂ adalah :

$$D = \frac{0,94 \times 0,15406}{0,001840 \times \cos 12,684}$$

$$= \frac{0,138654}{0,0018002}$$

$$= 77,021 \text{ nm}$$

Sehingga didapatkan nilai ukuran kristal yaitu sebesar ~ 77 nm.

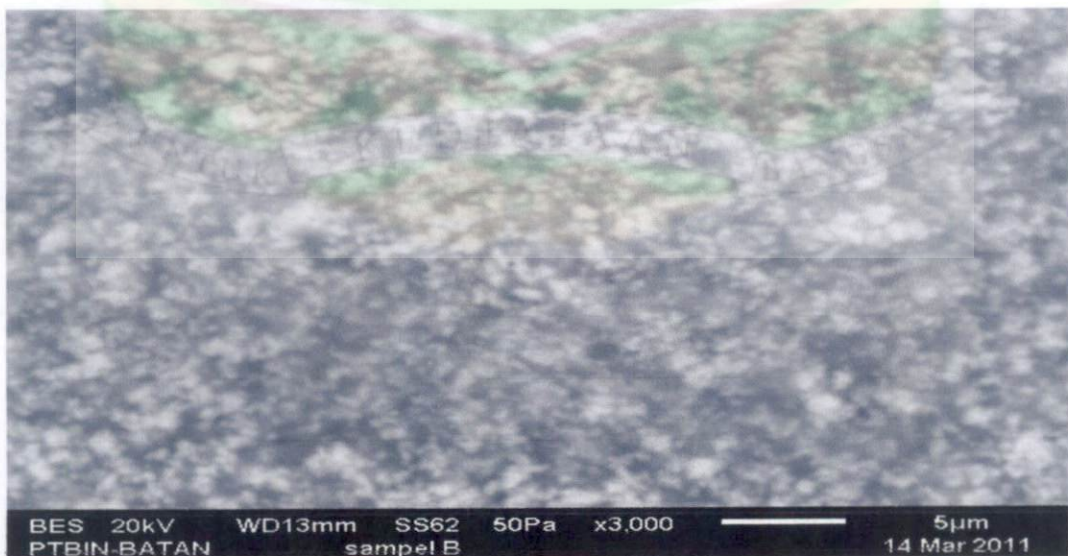
Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa TiO₂ yang disintesis memiliki ukuran kristal yang cukup besar tidak mendekati ukuran kristal amorf, hal ini menunjukkan bahwa TiO₂ yang cocok untuk diaplikasikan dalam DSSC karena

mempunyai fasa kristal anatase yang memiliki kemampuan fotoaktif yang tinggi karena memiliki luas permukaan yang besar, dilihat dari nilai ukuran kristalnya.

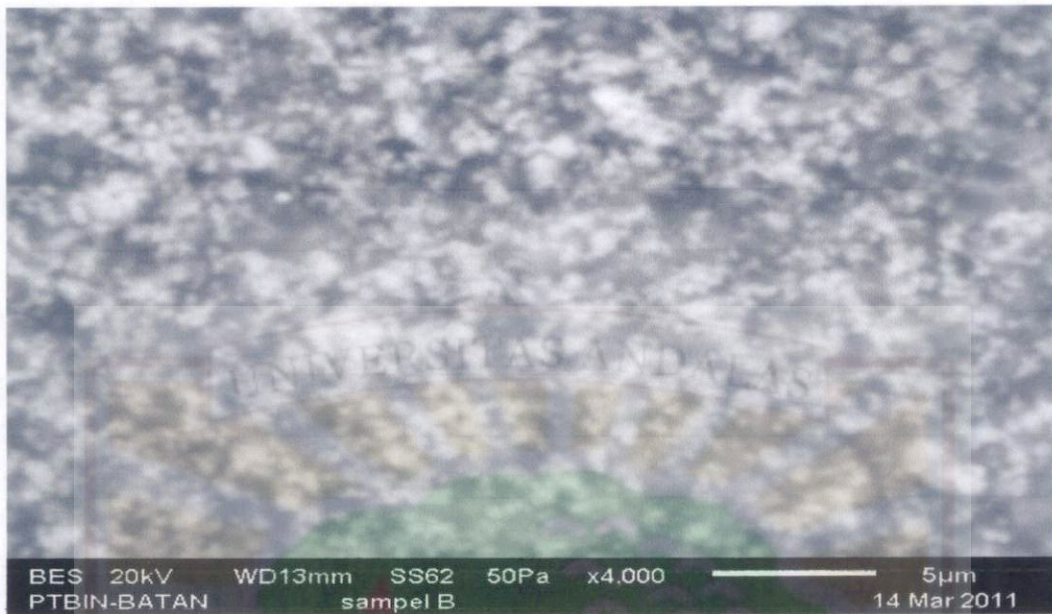
Selain itu derajat kristalinitas sampel ini cukup baik dilihat dari intensitas puncak difraksi yang tinggi dan tegas, dengan derajat kristalinitas yang baik maka proses difusi elektron di TiO_2 akan lebih cepat sehingga proses transfer elektron untuk DSSC secara keseluruhan akan lebih tinggi akibatnya nilai efisiensi sel surya meningkat.

4.3.2. Hasil SEM

Gambar 4.10. merupakan gambar SEM sampel TiO_2 , pada hasil SEM ini bisa kita lihat bahwa sampel menunjukkan keseragaman dan kehomogenitanan yang merata, dilihat dari meratanya penyebaran bintik-bintik putih dalam hal ini merupakan TiO_2 . Sampel juga mengandung sejumlah jaringan partikel yang membentuk struktur nanopori material TiO_2 . Struktur pori yang terlihat umumnya adalah struktur pori antar partikel sedangkan struktur pori dalam partikel tidak terlihat karena keterbatasan resolusi alat.



Gambar 4.9. Hasil SEM Sampel TiO_2 dengan 3000 x perbesara



Gambar 4.10. Hasil SEM Sampel TiO₂ dengan 4000x perbesaran

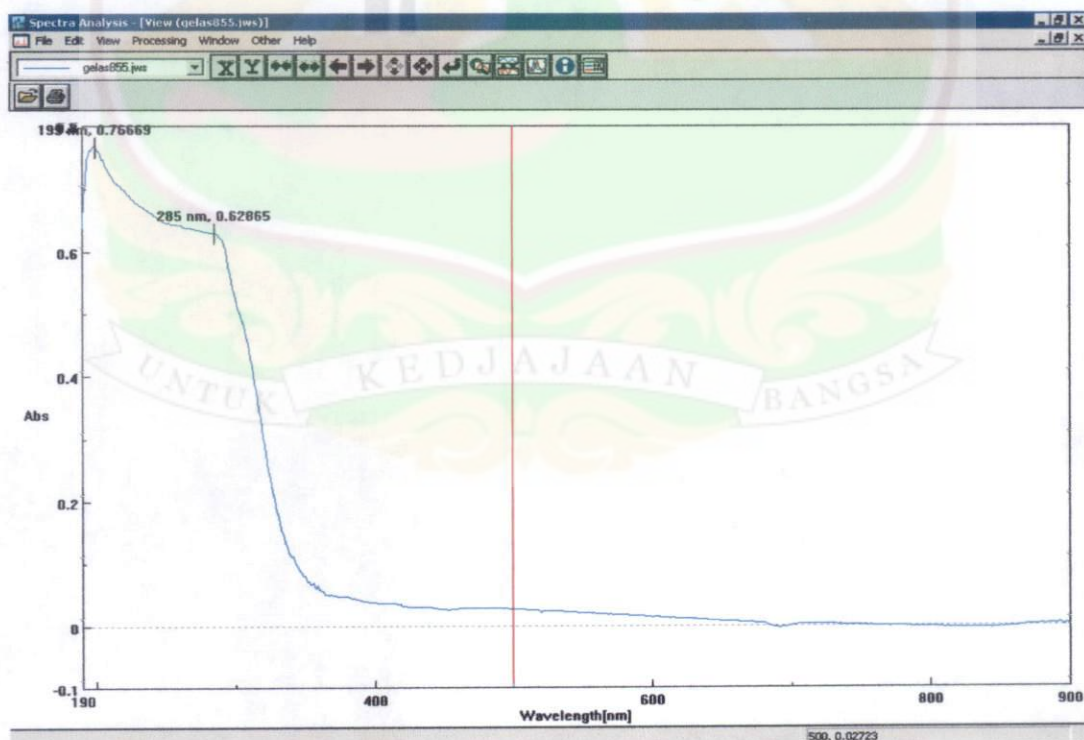
Struktur nanopori dari TiO₂ merupakan karakteristik penting untuk aplikasinya dalam DSSC, karena posisi *dye* akan berada pada pori-pori tersebut. Dengan jumlah pori yang banyak yaitu dengan membuat ukurannya menjadi skala nano maka akan memperbanyak jumlah *dye* yang terabsorpsi. Dari gambar SEM terlihat sampel mempunyai interkoneksi antar partikel yang baik. Interkoneksi partikel ini dibutuhkan agar jalur difusi elektron menjadi lebih singkat.

4.4. Analisis Absorpsi Dye Buah Karamunting

Profil absorpsi cahaya dari pigmen *antocyanin* buah karamunting dianalisis menggunakan UV-Vis Spektrometer. Terlihat pada grafik UV-VIS pada Gambar 4.11. terdapat puncak pada panjang gelombang 199,8 nm dengan persentasi absorpsi yaitu sebesar 0,7669 %. Puncak kedua terdapat pada panjang gelombang 285 nm dengan persentasi absorpsi 0,062865 %. Hal ini menandakan bahwa pigmen *antocyanin* yang ada pada buah karamunting mengabsorpsi

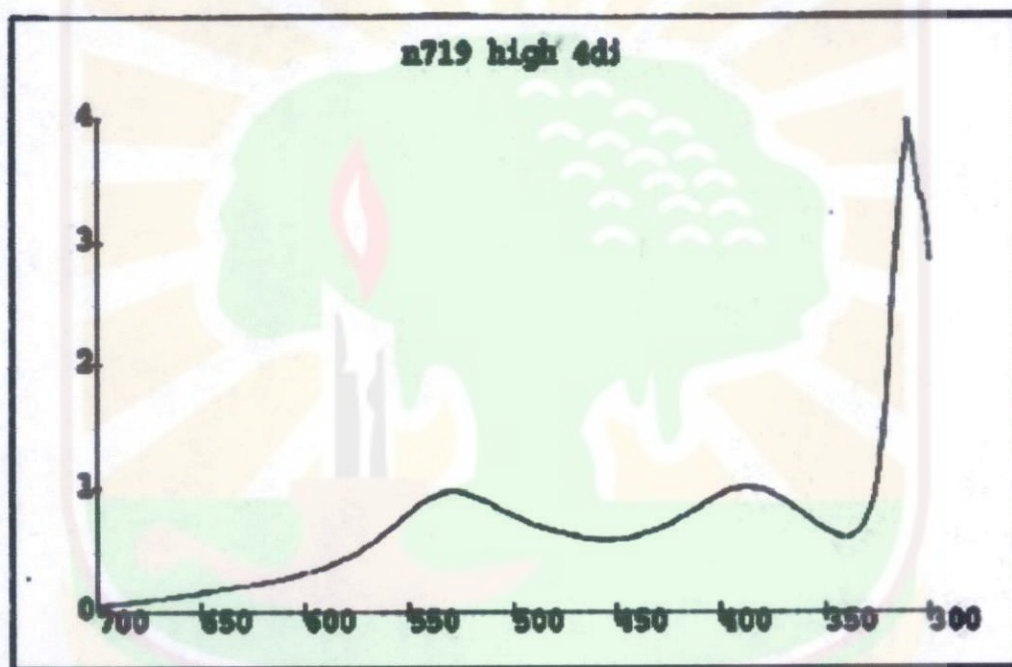
cahaya dengan panjang gelombang 199 nm. Panjang gelombang tersebut merupakan panjang gelombang yang masih dalam spektrum ultraviolet. Pada bagian panjang gelombang yaitu 285 nm juga terdapat puncak yang merupakan area radiasi ultraviolet. Adanya puncak-puncak gelombang ultraviolet tersebut karena sifat penyerapan (efek fotokatalis) dari TiO_2 yang bisa menyerap gelombang cahaya pada rentang cahaya ultraviolet.

Panjang gelombang cahaya tampak mulai terabsorpsi pada panjang gelombang 400 nm – 650 nm dilihat dari adanya puncak-puncak pada grafik di rentang tersebut. Hal ini membuktikan bahwa sel surya ini sudah mampu mengkonversi panjang gelombang cahaya matahari dengan spektrum yang cukup lebar, meskipun dengan intensitas yang masih rendah. Hal ini disebabkan karena kelarutan *dye* pada TiO_2 yang belum maksimal.



Gambar 4.11. Grafik UV-VIS dari DSSC buah Karamunting

Sebagai perbandingan, pada Gambar 4.12. merupakan grafik UV-VIS dari *dye ruthenium complex* jenis N719 ($C_{58}H_{86}O_8N_8S_2Ru$) yang diambil dari penelitian Jian Zhan, dkk (2006). Dari grafik tersebut terlihat bahwa terdapat dua puncak absorpsi pada panjang gelombang 550 nm dan 400 nm. Ini menunjukkan bahwa *dye* jenis ruthenium complex dapat menyerap spektrum cahaya lebih lebar sehingga dalam hal performansinya lebih baik.



Gambar 4.12. Grafik UV-VIS (Intensitas – panjang gelombang) dari Ruthenium Dye N719 (Sumber : Jian Zhan dkk, 2006)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Prototipe DSSC yang dibuat berhasil mengkonversi energi surya menjadi energi listrik pada variasi KI 0,5 M. Dengan nilai arus pada rangkaian langsung (I_{SC}) sebesar 0,07 mA, dan nilai tegangan pada rangkaian terbuka (V_{OC}) yaitu sebesar 19,0 mV. Protipe DSSC tersebut juga mempunyai efisiensi kuantum sebesar 0,91 %, artinya DSSC tersebut berhasil mengkonversi energi matahari yang diserap dan menjadikannya energi listrik, dan Fill factor yang dicapai DSSC yaitu sebesar 0,7.
2. Prototipe DSSC pada variasi KI 0,3 M berhasil menghasilkan arus sebesar 0,02 mA, sedangkan untuk variasi KI 0,1 M tidak bisa mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Artinya, semakin tinggi kandungan elektrolit pada DSSC akan meningkatkan transfer elektron pada DSSC tersebut sehingga energi listrik yang dihasilkan semakin bertambah besar.
3. Secara umum teknologi pembuatan DSSC dalam penelitian ini relatif cukup murah dan tidak membutuhkan peralatan yang besar dan mahal, sehingga sangat cocok untuk diterapkan ke dalam perkembangan energi terbarukan di Indonesia.

5.2. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pembuatan *dye* buah karamunting dan desain sel yang optimal untuk menjaga performansi sel surya.
2. Perlu dilakukan optimasi alat-alat yang berperan penting dalam pembuatan prototipe ataupun dalam hal karakterisasi hasil pembuatan tersebut.



DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Age. 1997. Japan-Indonesia Joint Seminar On Photovoltaic, Proceeding, ITB.
- Harold J. Hovel. 1975. *Solar Cells*, in *Semiconductors and Semimetals*, Vol. 11, Academic Press, New York.
- H. Chang, H. M. Wu, T. L. Chen, K. D. Huang, C. S. Jwo, Y. J. Lo. 2010. "Dye sensitized solar cell using natural dyes extracted from spinach and ipomoea," *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 495, pp.606-610.
- Ho Chang, Yu-Ling Chen. 2010. "Preparation of Multilayer TiO₂ Thin Films for Dye-sensitized Solar Cells," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 49(6), 06GG04-1-6.
- Jian Zhan, Peng Sun, Shan Jiang, Xiaohang Sun.2006. "An investigation of the performance of dye-sensitized nanocrystalline solar cell with anthocyanin dye and ruthenium dye as the sensitizers". *Roskilde University Project*.
- J. Halme, 2002, "Dye sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cells : technical review and preeliminary test", *Master Thesis of Helsinki University of Technology*.
- J.J. Liou and W.W. Wong. 1992. *Comparison and Optimization of The Performance of Si and GaAs Sollar Cells*. *Solar Energy Material and Solar Cells*. Vol. 28. pp. 9-28.
- Kay, A., Grätzel, M., 1996, "Low cost photovoltaic modules based on dye sensitized nanocrystalline titanium dioxide and carbon powder", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 44, 99-117.
- L. Angeland , K. A, and K. C Raddocks-Burks [Eds.]. 1998.*Rhodomyrtus tomentosa* (Ait.) Hassk, pp. 112-113 *In Identification and Biology of Non-Native Plants in Florida's Natural Areas*. Univ. of Florida Press, Gainesville, USA. 165 pp.

Michael Grätzel, *Dye-sensitized solar cells*, Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, accepted 1 July 2003.

R. Sastrawan, 2006, "Photovoltaic modules of dye solar cells", *Disertasi University of Freiburg*.

Septina, wilman dkk. 2007. *Pembuatan Solar Cell Murah dengan Bahan-Bahan Organik-Inorganik*. Laporan Penelitian Bidang Energi. ITB : Bandung.

Smestad, G., et al., (1994), "Testing of Dye-Sensitized TiO₂ Solar Cells I: Experimental Photocurrent Output and Conversion Efficiencies", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 32, 3, 259-272.

Subiyanto, Haruno. 2009. *Pelapisan Nanomaterial TiO₂ Fasa Anatase pada Nilon Menggunakan Bahan Perikat Aica Aibon dan Aplikasinya Sebagai Fotokatalis*. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*. 1979-0880.

<http://www.hear.org/pier/rhtom.htm> (diakses: 10 Januari, 2010).

<http://plants.usda.gov> (diakses : 13 Oktober 2010) .



Lampiran 1. Data Laporan Hasil XRD TiO₂ dan Tabel Hanawalt

Peak Search Report (13 Peaks, Max P/N = 12.8)								
[UNAND-01.RD] LAPISAN TIPIS								
PEAK: 27-pts/Quartic Filter, Threshold=3.0, Cutoff=2.0%, BG=1/2.0, Peak-Top=Centroid Fit								
2-Theta	d(A)	BG	Height	I%	Area	I%	FWHM	
25.368	3.508	35	693	100	8590	100	0.211	
35.269	2.5426	22	30	4.3	916	10.7	0.519	
37.015	2.4266	22	33	4.8	488	5.7	0.251	
37.848	2.3751	19	132	19	2250	26.2	0.29	
38.627	2.329	18	43	6.2	1415	16.5	0.559	
48.094	1.8903	15	165	23.8	2449	28.5	0.252	
53.935	1.6986	13	92	13.3	1861	21.7	0.344	
55.119	1.6649	15	91	13.1	1718	20	0.321	
62.726	1.48	15	61	8.8	1431	16.7	0.399	
68.779	1.3638	12	28	4	876	10.2	0.532	
70.29	1.3381	12	28	4	858	10	0.521	
75.047	1.2647	12	38	5.5	1222	14.2	0.547	
75.185	1.2627	12	27	3.9	1239	14.4	0.78	

data d (A)	hanawalt I %
3,52	100
2,431	10
2,378	20
2,332	10
1,892	35
1,6999	20
1,6665	20
1,493	4
1,4808	14
1,3641	6
1,3378	6
1,2795	2
1,2649	10
1,2509	4
1,1894	2
1,1725	2

Lampiran 2. Foto-foto Penelitian



Gambar 1. Suspensi TiO_2



Gambar 4. Bahan-bahan Larutan Elektrolit



Gambar 3. Hasil Pelapisan Elektroda TiO_2



Gambar 3. TiO_2 (*Titanium Dioxide*)



Gambar 4. Hasil Pembuatan Elektroda Pemanding

