



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.

Pengaruh Gel Elektrolit Berbasis Polyethylene Glycol (PEG) - 4000 Terhadap Performa Dye Sensitized Cell (DSSC)

SKRIPSI



**RIKA HARDIWAN
07135022**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG 2012**

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, atas rahmat dan karunia-NYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi dengan judul “**Pengaruh Gel Elektrolit Berbasis *Polyethylene Glycol* (PEG) – 4000 Terhadap Performa *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)** “. Tujuan penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana program S1 Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak bantuan yang penulis terima dalam penulisan skripsi, untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada :

1. Ayahanda Asnur dan Ibunda Ramadhani, atas segala doa, dorongan, perhatian dan curahan kasih sayang yang telah diberikan, adik A. Harry Nardhy serta keluarga besar terima kasih atas dukungan dan doanya.
2. Bapak Dr. Dahyunir Dahlan, M.Si selaku pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan serta arahan selama menyelesaikan penelitian.
3. Bapak Drs. Alimin Mahyudin, M.Si, Bapak Afdal, M.Si. dan Ibu Astuti, M.Si. sebagai dosen penguji yang telah memberikan kritikan, masukan dan perbaikan terhadap skripsi ini.
4. Bapak Arif Budiman, M.Si. selaku ketua jurusan yang telah memberikan semangat.

5. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Fisika FMIPA UNAND yang telah memberikan ilmu yang sangat berarti selama di Jurusan Fisika FMIPA UNAND.
6. Teman-teman RELATIVITAS '07 khususnya, terimakasih atas kekompakkan dan kerja samanya.
7. Teristimewa buat seseorang yang selalu sabar dan setia "Geby Claudia." terima kasih atas perhatian, ketulusan dan doanya.
8. Semua pihak yang telah turut serta memberikan dukungan pada penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Semoga amalnya dapat balasan yang setimpal dari Allah SWT, Amiin.

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 ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan umumnya bagi semua pihak. Amin.

Padang, Februari 2012

Penulis

Pengaruh Gel Elektrolit Berbasis *Polyethylene Glycol* (PEG) – 4000 Terhadap Performa *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh gel elektrolit berbasis *polyethylene glycol* (PEG) – 4000 terhadap performa *dye sensitized solar cell* (DSSC). Sel surya dibentuk dengan struktur *sandwich*, dimana dua elektroda mengapit gel elektrolit yang mengandung kopel redoks I^-/I_3^- . Salah satu elektroda, yaitu elektroda kerja berupa lapisan TiO_2 pada substrat kaca konduktif ITO disensitisasi dengan *dye* antosianin dari bunga rosella (*Hibiscus sabdariffa*) sebagai donor elektron dalam sistem sel surya ini. Elektroda lain berupa lapisan karbon sebagai elektroda lawan. Gel elektrolit berbasis PEG mengandung kopel redoks I^-/I_3^- digunakan sebagai pengganti elektrolit cair pada sel surya ini. Massa PEG pada gel elektrolit divariasikan sebesar 1,5 gr, 2,5 gr, 3,5 gr, 4,5 gr dan 5,5 gr. Sel-sel ini diuji dengan penyinaran menggunakan cahaya matahari. Hasil pengujian sel-sel ini memperlihatkan bahwa untuk sel dengan massa PEG 2,5 gr memiliki karakteristik I-V yang mendekati kurva ideal. Parameter keluaran dari sel ini adalah, tegangan *open circuit* (V_{OC}) 527 mV, arus *short circuit* (I_{SC}) 0,215 mA, *fill factor* (ff) 0,7, efisiensi energi (η) 0,57 % pada pengukuran hari pertama.

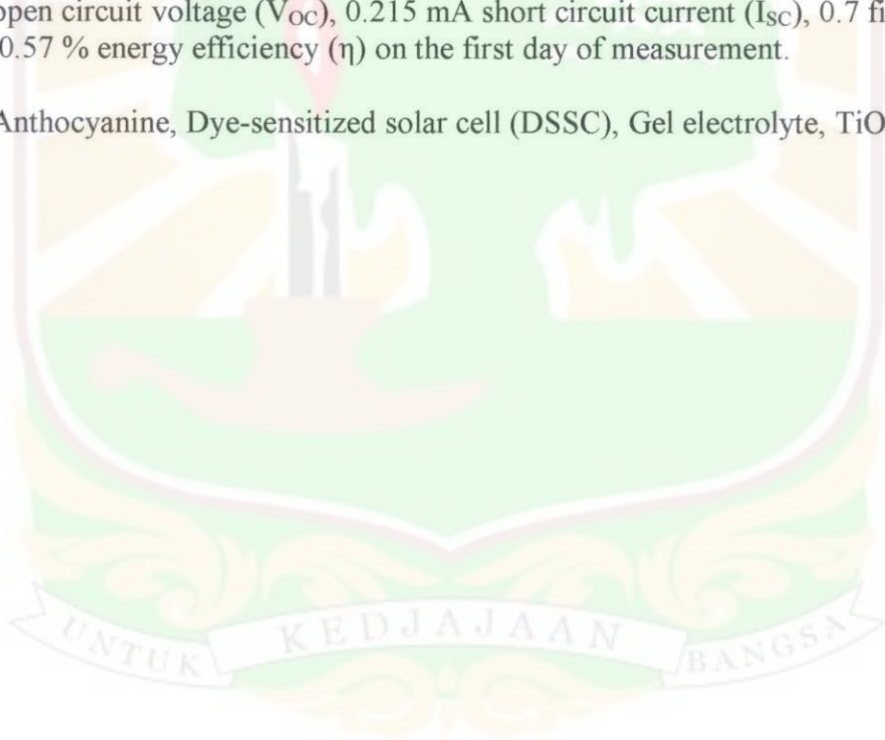
Kata kunci : Antosianin, *Dye-sensitized solar cell* (DSSC), Gel elektrolit, TiO_2

Effect of Polyethylene Glycol (PEG) - 4000 Based Gel Electrolytes On the Performance of Dye-sensitized Solar Cell (DSSC)

ABSTRACT

Research on the performance of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) using gel electrolyte based on Polyethylene Glycol (PEG) – 4000. The solar cell was formed in sandwich structure, where two electrodes sandwiching gel electrolyte containing a redox couple I^-/I_3^- . One of the electrodes, namely working electrode, TiO_2 layer on ITO conductive glass substrate was sensitized with anthocyanin dye from rosella (*Hibiscus sabdariffa*) as electron donor in the system. Another electrode was a carbon layer as a counter electrode. PEG (polyethylene glycol) based gel electrolyte containing a redox couple I^-/I_3^- used instead of liquid electrolyte in this solar cell. The mass of PEG in the gel electrolyte was varied by 1.5 g, 2.5 g, 3.5 g, 4.5 g and 5.5 g. The results showed that cells with 2.5 g PEG have I-V characteristics that approach the ideal curve. Output parameters of cells is, 527 mV open circuit voltage (V_{OC}), 0.215 mA short circuit current (I_{SC}), 0.7 fill factor (FF), 0.57 % energy efficiency (η) on the first day of measurement.

Keywords: Anthocyanine, Dye-sensitized solar cell (DSSC), Gel electrolyte, TiO_2



DAFTAR ISI

	Halaman
Kata Pengantar	i
Abstrak	iii
Abstract	iv
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	viii
Daftar Tabel	x
Daftar Lampiran	xi
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN	4
1.3 MANFAAT PENELITIAN	4
1.4 BATASAN MASALAH	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.2 LANDASAN TEORI	
2.2.1 Sel Surya.....	8
2.2.2 <i>Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)</i>	11
2.2.3 Titanium Dioksida (TiO ₂)	15

2.2.4 Elektrolit	17
2.2.5 Elektrolit Padat Berbasis Polimer	17
2.2.6 <i>Polyethylene Glycol (PEG)</i>	20
2.2.7 <i>Dye</i>	20
2.2.8 <i>Antocyanin</i> Bunga Rosella.....	22
2.2.8 Surfaktan Sodium Dedocyl Sulfate(SDS).....	24
2.2.9 Karakterisasi Lapisan TiO ₂	
1. X-Ray Diffractometer (XRD).....	24
2. Scaning Electron Microscope (SEM).....	26
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 WAKTU DAN LOKASI PENELITIAN	28
3.2 ALAT DAN BAHAN PENELITIAN	
3.2.1 Peralatan.....	28
3.2.2 Bahan.....	29
3.3 TATA LAKSANA PENELITIAN	
3.3.1 Pembuatan Pasta TiO ₂	30
3.3.2 Preparasi Larutan <i>Dye</i>	31
3.3.3 Preparasi Gel Elektrolit.....	31
3.3.4 Preparasi <i>Counter-Electroda</i> Karbon.....	31
3.4 FABRIKASI DSSC.....	32
3.5 PENGUJIAN DAN KARAKTERISASI	
3.5.1 Karakterisasi Lapisan TiO ₂	

1. X-Ray Diffractometer (XRD).....	33
2. Scanning Electron Microscope (SEM).....	33
3.5.2 Pengukuran Arus dan Tegangan Listrik	33

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis XRD	35
4.2 Analisis SEM.....	36
4.3 Analisis Arus dan Tegangan Sel Surya.....	39

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran.....	51

DAFTAR KEPUSTAKAAN.....	52
--------------------------------	-----------

LAMPIRAN	55
-----------------------	-----------



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur sel surya Silikon p-n junction	8
Gambar 2.2 Skema Kerja Sel Surya Silikon	9
Gambar 2.3 Karakteristik Kurva I-V pada Sel Surya	10
Gambar 2.4 Struktur <i>Dye-sensitized Solar Cell</i>	13
Gambar 2.5 Skema Kerja dari DSSC.....	14
Gambar 2.6 Struktur Kristal TiO ₂	16
Gambar 2.7 Sistem Kristal Titanium dioksida (TiO ₂)	16
Gambar 2.8 (a) Interaksi Antara Matrik Polimer PEG dengan Garam KI, (b) Struktur Kimianya	19
Gambar 2.9 Struktur Poliethilen Glikol (PEG)	20
Gambar 2.10 Struktur Kimia <i>Antocyanin Dye</i>	22
Gambar 2.11 Absorpsi Senyawa Cyanin pada Permukaan TiO ₂	22
Gambar 2.12 Bunga rosella (<i>Hibiscus sabdariffa</i>)	23
Gambar 2.13 Skema Kerja SEM	27
Gambar 3.1 Alur Tahapan Pembuatan DSSC	30
Gambar 3.2 Skema Area Deposisi Pasta TiO ₂	32
Gambar 3.3 Skema Rangkaian Listrik Pengujian Sel Surya	34
Gambar 4.1 Pola XRD Elektroda TiO ₂	35
Gambar 4.2 Permukaan lapisan TiO ₂ (a) tanpa SDS, (b) SDS 0,1 gr (c) SDS 0,5 gr.....	37

Gambar 4.3 Penampang lintang lapisan TiO_2 (a) tanpa SDS, (b) SDS 0,1 gr, (c) SDS 0,5 gr.....	37
Gambar 4.4 Kurva arus dan tegangan pada pengukuran hari pertama dengan cahaya matahari.....	40
Gambar 4.5 Kurva arus dan tegangan pada pengukuran hari ketiga dengan cahaya matahari.....	42
Gambar 4.6 Kurva arus dan tegangan pada pengukuran hari kelima dengan cahaya matahari.....	44
Gambar 4.7 Kurva arus dan tegangan pada pengukuran hari ketujuh dengan cahaya matahari.....	45
Gambar 4.8 Kurva penurunan nilai efisiensi sel surya	46
Gambar 4.9 Kurva arus dan tegangan dengan <i>gel</i> elektrolit PEG 1,5 gr	47

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Data pengukuran hari pertama dengan intensitas cahaya matahari 13,85 mW/cm ²	39
Tabel 4.2 Perbandingan hasil keluaran sel surya hasil penelitian dengan penelitian sebelumnya	41
Tabel 4.3 Data pengukuran hari ketiga dengan intensitas cahaya matahari 13,82 mW/cm ²	42
Tabel 4.4 Data pengukuran hari kelima dengan intensitas cahaya matahari 13,80 mW/cm ²	43
Tabel 4.5 Data pengukuran hari ketujuh dengan intensitas cahaya matahari 13,86 mW/cm ²	45

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Tabel Hanawalt.....	55
Lampiran 2. Perhitungan Nilai efisiensi konversi Cahaya Matahari menjadi energi listrik.....	56
Lampiran 3. Hasil Pengukuran dengan Sumber Cahaya OHP (13,82mW/cm ²).....	57
Lampiran 4. Hasil pengukuran dengan sumber cahaya matahari	59
Lampiran 5. Foto Peralatan penelitian	61
Lampiran 6. Foto Bahan Penelitian.....	62
Lampiran 7. Foto Hasil Penelitian	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Kebutuhan manusia terhadap energi sangat besar, sementara cadangan energi utama manusia yang berbasis fosil semakin menipis. Oleh karena itu, usaha mencari energi alternatif telah mendapat perhatian besar dari masyarakat dunia. Energi alternatif yang ditemukan diharapkan selain bisa menyelesaikan permasalahan energi, mampu pula menjawab masalah lingkungan dan kesehatan seperti polusi udara dan emisi karbondioksida. Salah satu energi alternatif yang cukup potensial memenuhi hal-hal tersebut adalah sel surya atau sel *photovoltaic*.

Sel surya atau sel *photovoltaic* merupakan alat yang mampu mengubah energi sinar matahari menjadi energi 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 (Gratzel, 1991).

Seiring dengan perkembangan teknologi, dominasi tersebut bertahap mulai tergantikan dengan hadirnya sel surya generasi terbaru, yaitu *Dye-Sensitized Solar Cells* (DSSC). Sel surya ini ditemukan oleh Gratzel pada tahun 1991. DSSC

terdiri dari nanokristal TiO_2 sebagai fotoelektroda, *dye* sebagai penyerap cahaya, dan elektrolit sebagai pendonor elektron yang disusun dengan struktur *sandwich*.

Berbeda dengan sel surya konvensional yang membebankan tugas menyerap energi cahaya dan menangkap elektron bebas yang dihasilkan kepada bahan semikonduktor yang digunakan, DSSC membagi tugas ini. Tugas penyerapan energi cahaya khusus dilakukan oleh *dye* (zat yang sensitif menyerap cahaya tampak), sehingga *dye* mengalami sensitisasi (peningkatan level energi molekular) dan menghasilkan elektron bebas. Semikonduktor berperan dalam menangkap elektron bebas yang dihasilkan. Semikonduktor yang digunakan umumnya adalah TiO_2 dalam bentuk nanopartikel. TiO_2 tersebut berpori sehingga *dye* mampu menembus pori, dan ukuran partikel dalam orde nanometer agar luas permukaan tiap massa partikel lebih besar. Kedua hal tersebut membuat *dye* yang bisa menempel pada permukaan partikel TiO_2 semakin banyak. TiO_2 juga sering digunakan karena inert, tidak berbahaya, dan semikonduktor yang murah, selain memiliki karakteristik optik yang baik. Sel surya dengan sistem baru ini bisa diproduksi dengan biaya yang relatif lebih murah dan ternyata menghasilkan efisiensi yang cukup besar dan bisa menyaingi sel surya konvensional (Gratzel, 2003).

Performa DSSC umumnya tergantung dari jenis *dye* yang digunakan. Penggunaan bahan *dye* yang mampu menyerap spektrum cahaya yang lebar dan cocok dengan pita energi TiO_2 merupakan salah satu karakteristik yang penting dari DSSC. Salah satu molekul *dye* yang mampu mengabsorpsi cahaya tersebut adalah *antocyanin*. *Antocyanin* berasal dari buah-buahan ataupun tumbuhan yang

memiliki warna gelap seperti merah, hitam atau ungu (Septina, 2007). Senyawa *antocyanin* yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari hasil ekstraksi kelopak bunga rosella (*Hibiscus sabdariffa*).

Selain Penggunaan *dye*, elektrolit sebagai pendonor elektron juga mempengaruhi kinerja DSSC. Elektrolit yang selama ini umum digunakan dalam DSSC adalah pelarut organik berbentuk cair yang mengandung sistem redoks, yaitu pasangan I^-/I_3^- . Salah satu kekurangan dari sel surya dengan penggunaan elektrolit cair tersebut adalah stabilitasnya yang rendah, terutama akibat degradasi dan kebocoran. Oleh karena itu, akhir-akhir ini pengembangan penelitian sel surya ini diarahkan pada penggunaan elektrolit padat untuk mengurangi degradasi dan kebocoran elektrolit yang dapat meningkatkan stabilitas sel, misalnya elektrolit berbasis polimer yang mengandung kopel redoks (De Freitas, 2006).

Polimer yang dipilih untuk bahan dasar elektrolit merupakan polimer dengan campuran garam yang di dalamnya terkandung ion terlarut. Kompleks polimer-garam ini memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah sistem elektrolit yang digunakan padat dan kering, nilai konduktivitasnya sesuai untuk elektrokimia, serta mampu mengeliminasi semua masalah yang timbul pada penggunaan elektrolit cair pada aplikasi komersil. Disamping itu penggunaan polimer elektrolit berbentuk *gel* dalam sel surya pewarna tersensitisasi merupakan alternatif yang cukup menjanjikan dalam hal kinerja dan stabilitas sel untuk jangka panjang (De Paoli, 2003).

Dalam penelitian ini, digunakan polimer elektrolit berbasis *polyethylene glycol* (PEG) - 4000 yang mengandung garam iodida. Beberapa sifat utama dari

PEG adalah stabil, tersebar merata, dapat mengikat pigmen, mudah bercampur dengan komponen- komponen lain, dan tidak beracun. Selanjutnya *gel* elektrolit ini akan diterapkan pada DSSC untuk mengetahui performa DSSC tersebut.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh *polyethylene glycol* (PEG) - 4000 dengan garam iodida sebagai bahan dasar *gel* elektrolit terhadap efisiensi dan daya tahan sel surya dilihat dari stabilitas efisiensi yang dihasilkan.
2. Menghasilkan *prototipe* sel surya dengan memanfaatkan bahan-bahan organik yang mudah diperoleh di lingkungan sekitar.

1.3 MANFAAT PENELITIAN

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan penelitian dibidang *dye-sensitized solar cell* (DSSC) sebagai salah satu pengkonversi energi matahari.

1.4 BATASAN MASALAH

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Penggunaan *polyethylene glycol* (PEG) – 4000 sebagai matriks pada *gel* elektrolit DSSC.
2. Penggunaan ekstrak bunga rosella sebagai bahan pewarna tersensitisasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC), sejak pertama kali ditemukan oleh Profesor Michael Gratzel pada tahun 1991, telah menjadi salah satu topik penelitian yang dilakukan intensif oleh peneliti di seluruh dunia. DSSC disebut juga terobosan pertama dalam teknologi sel surya sejak sel surya silikon. *Dye-sensitized solar cell* (DSSC) telah dianggap sebagai alternatif yang kuat untuk menggantikan perangkat *photovoltaic* konvensional berbahan dasar semikonduktor atau senyawa semikonduktor seperti silikon.

Fungsi absorpsi cahaya pada DSSC dilakukan oleh molekul *dye* yang terabsorpsi pada permukaan TiO_2 . Sejauh ini, *dye* yang digunakan sebagai sensitizer dapat berupa *dye* sintesis maupun *dye* alami. Walaupun DSSC komersial dengan menggunakan *dye* sintesis yaitu jenis *ruthenium complex* telah mencapai efisiensi 10 %, namun ketersediaan dan harganya yang mahal membuat adanya alternatif lain pengganti *dye* jenis ini yaitu *dye* alami yang dapat diekstrak dari bagian-bagian tumbuhan seperti daun, bunga, atau buah (Maddu dkk, 2007).

Sebuah kelompok studi di Jepang, telah mencoba lebih dari dua puluh jenis *dye* alami dari ekstrak tumbuhan sebagai fotosensitizer pada sistem sel surya ini, diantaranya adalah kol merah, kunyit, teh hijau, dan sebagainya. Kelompok lain dari brazil, juga intensif mengembangkan sel surya berbasis *dye* alami, selain itu (Smestad dkk, 1998) juga telah menguji beberapa jenis *berry* seperti

strawberry dan *blueberry* sebagai fotosensitizer pada sistem sel surya tersensitisasi *dye*. Ekstrak *dye* atau pigmen tumbuhan yang digunakan sebagai fotosensitizer berupa ekstrak klorofil (Amoa dkk, 2003), karoten (Wang dkk, 2006) atau antosianin (Wongcharee dkk, 2006).

Di Indonesia sendiri penggunaan *dye* alami sebagai fotosensitizer juga telah banyak dikembangkan, yaitu dengan menggunakan ekstrak dari tumbuhan dan buah-buahan. *Dye* alami yang pernah digunakan diantaranya yaitu, kol merah (Maddu dkk, 2007), buah delima (Septina, 2007), buah *strawberry* (Rahmawati, 2011), buah karamunting (Wibowo, 2011), dan bunga rosella (Andari, 2011).

Elektrolit yang selama ini umum digunakan dalam DSSC adalah pelarut organik berbentuk cair yang mengandung sistem redoks, yaitu pasangan I/I_3^- . Selama ini, efisiensi konversi foton menjadi arus listrik untuk sel fotovoltaik yang menggunakan elektrolit organik cair memberikan efisiensi sebesar 11 %. Akan tetapi penggunaan pelarut cair ternyata menjadi salah satu faktor pembatas yang kritis dalam hal stabilitas jangka panjang dari sistem DSSC (Gratzel, 2003). Dalam hal ini yang mendukung munculnya daya tarik penggunaan elektrolit berbasis semi padatan pada DSSC yaitu penggunaan elektrolit yang tidak mudah menguap, yang memiliki konduktivitas ion tinggi pada temperatur konstan dan stabilitas jangka panjang (Sung Kang, 2006).

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang menggunakan sistem *gel* elektrolit sebagai pengganti sistem elektrolit cair diantaranya adalah *gel* polimer elektrolit dengan menggunakan poliakrilonitril-ko-stirena sebagai matriks polimer, garam N-metil piridin iodida sebagai sumber I^- dan pelarut biner (etilena

karbonat dan propilena karbonat) dihasilkan efisiensi konversi energi cahaya menjadi listrik sebesar 3,10 % (Wu dkk, 2008). Penggunaan elektrolit yang mengandung LiI dan polyetilene oksida-ko-epiklorohidrin serta penambahan γ -butirolakton sebagai *plasticizer* diketahui memberikan peningkatan terhadap stabilitas dan kinerja untuk sel dengan efisiensi 3,26 % dan 3,49 % (De Freitas dkk, 2006). *Gel* elektrolit yang dibuat dengan penambahan garam alkali iodida dan I_2 dalam asetonitril yang digelkan dengan polietilena oksida (PEO), menunjukkan tegangan sirkuit terbuka (V_{oc}) meningkat dengan meningkatnya jari-jari kation logam alkali (Shen dkk, 2008). Selain itu, Penelitian peranan elektrolit pada performa DSSC dengan menggunakan polietilen oksida (PEO) yang mengandung garam iodida menghasilkan efisiensi 0,033 % (Pancaningtyas, 2010), kemudian penelitian dengan elektrolit *gel* polimer berbasis *polyethylene glycol* (PEG) berisi kopel redoks I/I_3^- menghasilkan nilai efisiensi sebesar 0,4 % (Maddu dkk, 2010).

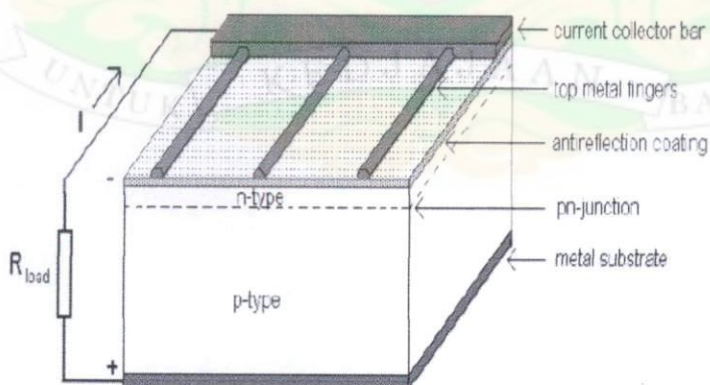
Berbagai penelitian yang pernah dilakukan terkait dengan penggunaan polimer sebagai bahan dasar *gel* elektrolit sebagai pengganti alternatif dari elektrolit cair menunjukkan mampu memberikan peningkatan kualitas sel yang dihasilkan dari segi stabilitas dan kinerja sel (De Paoli, 2003). Akan tetapi, komposisi dan jenis polimer yang digunakan tetap merupakan faktor penting untuk memperoleh hasil yang diharapkan.

2.2 LANDASAN TEORI

2.2.1 Sel Surya

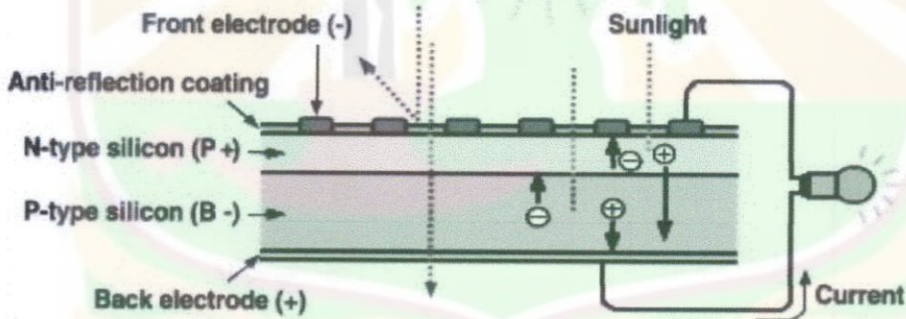
Sel surya atau sel *photovoltaic* adalah perangkat yang mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi energi listrik. Efek *photovoltaic* ini ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839, dimana Becquerel mendeteksi adanya tegangan fotonik ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit. Pada tahun 1954 peneliti di Bell Telephone, Chapin, Fuller, dan Pearson, menemukan bahwa fenomena sambungan p-n yang dapat mengubah radiasi sinar matahari menjadi tenaga listrik pertama kalinya, dan material yang digunakan adalah silikon (Si).

Prinsip kerja sel surya silikon adalah berdasarkan konsep semikonduktor *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 2.1.



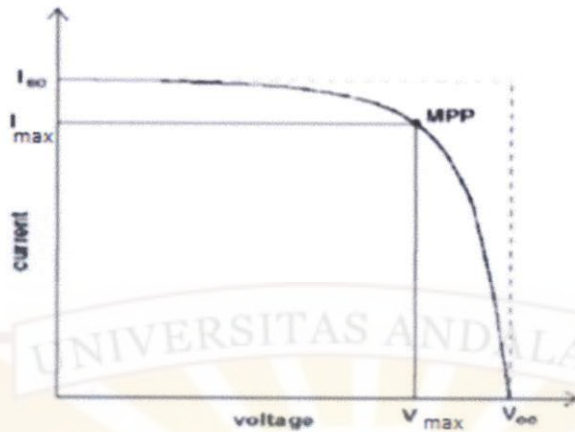
Gambar 2.1 Struktur sel surya Silikon p-n junction
(sumber :Halme, 2002)

Ketika sambungan 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 2.2.



Gambar 2.2 Skema Kerja Sel Surya Silikon
(sumber :Halme, 2002)

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 2.3.



Gambar 2.3 Karakteristik Kurva I-V pada Sel Surya
(Sumber :Makvart, 2003)

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).

Dari kurva arus-tegangan (I-V) dapat ditentukan parameter-parameter keluaran dari sel surya, yaitu arus rangkaian pendek (I_{sc}), tegangan rangkaian buka (V_{oc}), arus maksimum (I_{max}), tegangan maksimum (V_{max}), daya maksimum (P_{max}), fill factor (FF) dan efisiensi konversi (η). Efisiensi konversi sel surya dihitung dengan Persamaan 2.1.

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{Cahaya}} \times 100 \% \quad (2.1)$$

efisiensi sel surya yang didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan dari sel (P_{max}) dibagi dengan daya dari cahaya yang datang (P_{Cahaya}). Nilai efisiensi ini yang menjadi ukuran global dalam menentukan kualitas performansi suatu sel surya.

P_{max} adalah daya maksimum yang dihasilkan oleh sel surya dimana dapat ditentukan dengan Persamaan 2.2.

$$P_{max} = V_{max} \cdot I_{max} = V_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF \quad (2.2)$$

sehingga diperoleh nilai fill factor (FF) pada Persamaan 2.3.

$$FF = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (2.3)$$

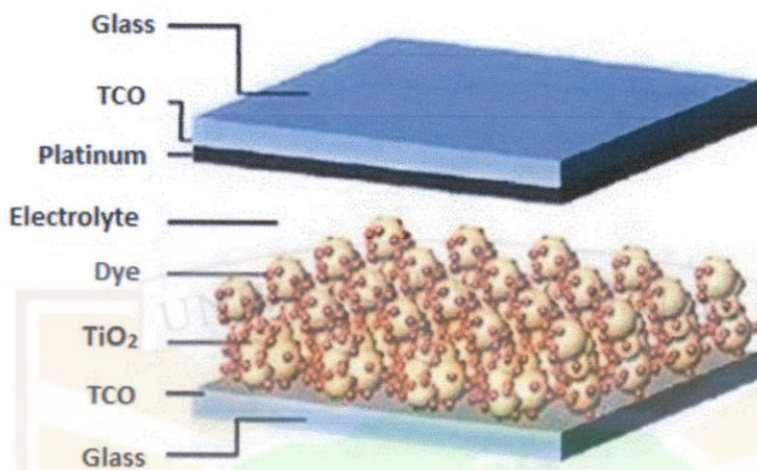
2.2.2 Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) atau sel surya tersensitisasi *dye* adalah sistem sel surya baru yang merupakan modifikasi dari sel surya fotoelektrokimia. Sistem baru ini menitik beratkan penggunaan *dye* (bahan celup/pewarna) sebagai *sensitizer* (zat peka cahaya) untuk menyerap cahaya tampak dan menginjeksikan elektron ke bahan semikonduktor (biasanya TiO_2) (Smestad, 1998). Jika pada sel surya fotoelektrokimia energi cahaya yang diserap harus lebih besar daripada *bandgap* semikonduktor, maka dengan penggunaan *dye* pada DSSC ini dimungkinkan untuk menghasilkan aliran elektron dengan menyerap energi foton cahaya yang lebih kecil daripada *bandgap* semikonduktor. Peristiwa ini dinamakan sensitisasi (Pandey, 2006).

Konversi energi dari elektroda TiO_2 yang ditempeli *dye* dan dicelupkan kedalam elektrolit pertama kali dilaporkan oleh Vlachopoulos pada tahun 1988. Pada sel surya ini, terjadi pemisahan muatan dengan efisiensi yang cukup tinggi. Namun, efisiensi sel surya secara keseluruhan masih rendah (Longo 2003; Soga, 2006). Hal ini dikarenakan tingkat penyerapan cahaya yang rendah karena *dye* terserap pada permukaan TiO_2 yang relatif datar. Permasalahan ini diselesaikan

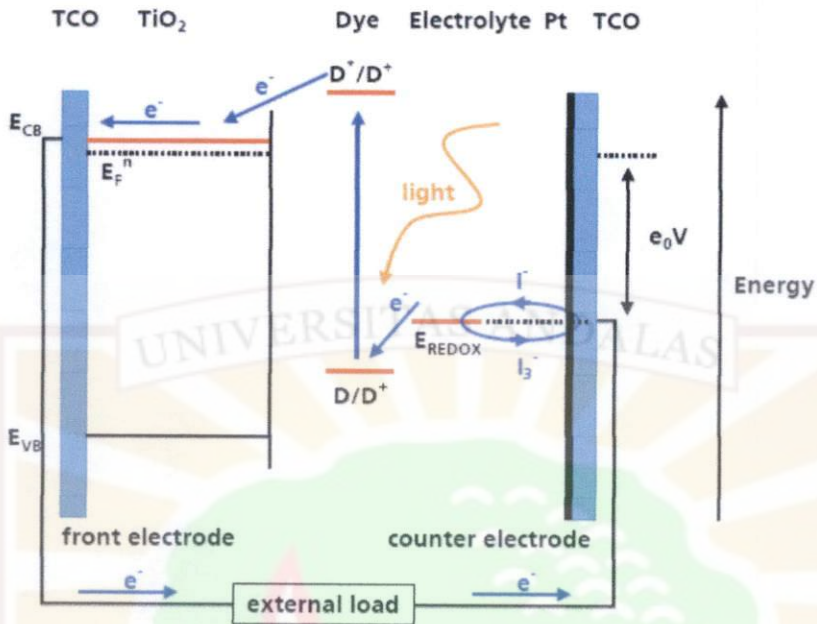
oleh O'Regan dan Gratzel pada tahun 1991 dengan menggunakan TiO_2 yang bersifat nanopori (*mesoporous nanoparticle*). Dengan demikian, luas permukaan partikel TiO_2 secara keseluruhan menjadi lebih luas. Sehingga, *dye* yang bisa menempel menjadi lebih banyak. Akibatnya, efisiensi sel surya secara keseluruhan menjadi lebih tinggi. Hingga saat ini telah dicapai efisiensi 11 % dan kemungkinan mendapatkan nilai lebih tinggi masih terbuka (Soga, 2006).

DSSC terdiri atas lapisan nanokristal TiO_2 berpori sebagai fotoanoda, *dye* sebagai *fotosensitizer*, elektrolit redoks dan elektroda lawan (katoda) yang diberi lapisan katalis untuk mempercepat reaksi redoks dengan elektrolit. Pasangan redoks yang umumnya dipakai yaitu I^-/I_3^- (iodide/triiodide). DSSC berbentuk struktur *sandwich* seperti pada Gambar 2.4, dimana dua elektroda yaitu elektroda TiO_2 tersensitisasi *dye* dan elektroda lawan terkatalisasi mengapit elektrolit membentuk sistem sel fotoelektrokimia. Pada DSSC foton diserap oleh *dye* yang melekat pada permukaan partikel TiO_2 yang bertindak sebagai donor elektron dan berperan sebagai pompa pada fotoelektrokimia. DSSC bekerja pada daerah sinar tampak hingga sedikit infra merah. Sinar tampak merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 390-770 nm, sedangkan infra merah sedikit lebih panjang.



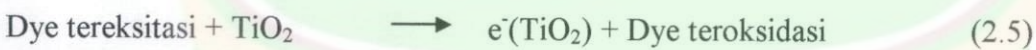
Gambar 2.4 Struktur *Dye-sensitized Solar Cell*
(sumber :Mohtar, 2009)

Prinsip kerja sel surya ini mirip dengan mekanisme dari fotosintesis, yaitu energi cahaya diserap oleh *dye* yang menghasilkan aliran elektron ke elektroda yang bertindak sebagai kolektor elektron. Sel surya mengubah energi cahaya menjadi energi listrik dengan prinsip sebagai berikut, ketika terjadi absorpsi sejumlah cahaya oleh *dye*, energi cahaya ditransfer pada elektron yang terdapat pada molekul *dye*. Elektron tersebut akan tereksitasi dan memiliki energi untuk berpindah melalui lapisan TiO_2 dan *dye* akan mengalir melalui rangkaian luar, sedangkan muatan positif akan berpindah dari *dye* teroksidasi menuju elektrolit *gel* polimer. Elektron akan mengalir menuju elektroda *counter*, kemudian elektron akan ditransfer melalui ion *iodide* yang terdapat pada elektrolit *gel* polimer menuju molekul *dye* untuk menggantikan elektron yang hilang. *Dye* akan kembali siap untuk mengkonversi cahaya menjadi listrik.



Gambar 2.5 Skema Kerja dari DSSC
(sumber : Septina, 2007)

Reaksi yang terjadi dalam sel surya nanokristal TiO_2 tersensitasi *dye* untuk menghasilkan energi, yaitu :



Ketika *dye* dikenai cahaya berupa energi foton, maka elektron dalam *dye* akan tereksitasi. Elektron dalam *dye* yang tereksitasi tersebut akan terinjeksi ke TiO_2 , pelepasan elektron dari *dye* tereksitasi ke TiO_2 akan menghasilkan *dye* teroksidasi. *Dye* yang teroksidasi inilah yang akan melakukan proses oksidasi terhadap *iodide* menjadi *triiodide*. Di dalam elektroda *counter*, *triiodide* akan mengalami regenerasi kembali menjadi *iodide* karena adanya penambahan

elektron yang mengalir melalui rangkaian luar. Iodida ini digunakan untuk mendonor elektron kepada *dye* yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron. *Dye* berperan sebagai pompa fotoelektrokimia yang mengakibatkan eksitasi elektron ke tingkat energi yang lebih tinggi dengan menggunakan energi dari cahaya yang diserap (Smestad, 1998).

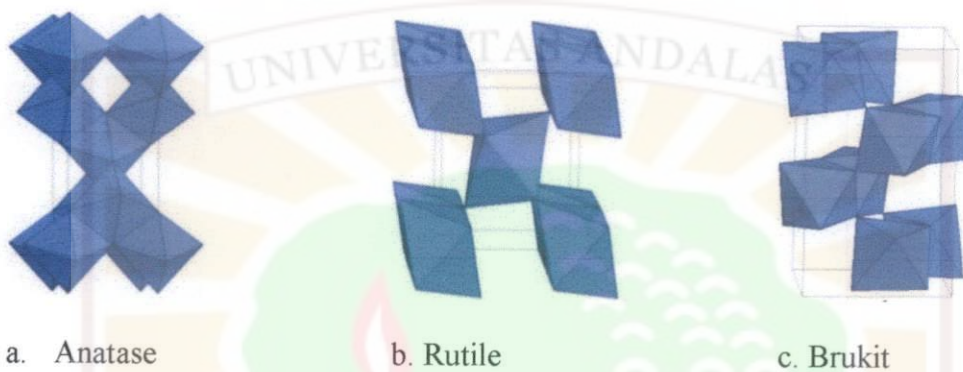
Dari penjelasan tentang prinsip kerja sel surya nanokristal TiO_2 tersensitisasi *dye*, partikel TiO_2 menggantikan karbondioksida (CO_2) berperan sebagai akseptor elektron, *iodide* dan *triiodide* (I^-/I_3^-) menggantikan air dan oksigen berperan sebagai donor elektron (Cherepy dkk, 1997).

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.

2.2.3 Titanium Dioksida (TiO_2)

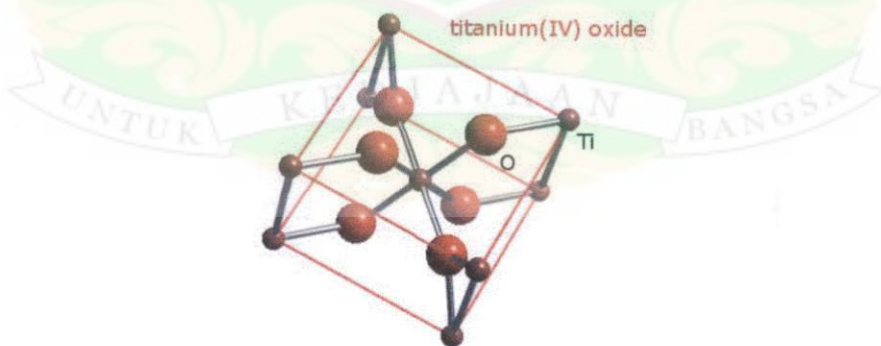
TiO_2 merupakan material semikonduktor tipe-n yang mempunyai ukuran partikel antara 10 sampai 50 nanometer (Smestad, 1998). TiO_2 berperan penting dalam pemanfaatan fotoenergi karena memiliki daya oksidatif dan stabilitas yang tinggi terhadap fotokorosi, murah, mudah didapat dan tidak beracun. TiO_2 mempunyai kemampuan untuk menyerap *dye* lebih banyak karena di dalamnya terdapat rongga dan ukurannya dalam nano, maka disebut nanoporous. Struktur TiO_2 dalam bentuk kristal memiliki tiga bentuk fase kristal yaitu *rutile*, *anatase* dan *brukit*. *Rutile* dan *anatase* cukup stabil, sedangkan *brukit* sulit ditemukan,

biasanya terdapat dalam mineral dan sulit dimurnikan. Untuk aplikasinya pada DSSC, TiO_2 yang digunakan umumnya berfase anatase karena mempunyai kemampuan fotoaktif yang tinggi.



Gambar 2.6 Struktur Kristal TiO_2
(Sumber : ruby.colorado.edu/smyth/min/tio2.html)

Molekul TiO_2 dalam fase *anatase* atau *rutile* tersusun dari konfigurasi satu ion Ti^{+4} dan enam ion O^{-2} yang membentuk konfigurasi bangun oktahedron dengan sistem kristal tetragonal seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Sistem kristal Titanium dioksida (TiO_2)
(Sumber : www.webelement.com/webelements/compounds.html)

2.2.4 Elektrolit

Elektrolit adalah suatu senyawa bila dilarutkan dalam pelarut (misalnya air) akan menghasilkan larutan yang dapat menghantarkan arus listrik. Elektrolit seringkali diklasifikasikan berdasarkan kemampuannya dalam menghantarkan arus listrik. Elektrolit yang umum digunakan pada DSSC terdiri dari *iodide* (I^-) dan *triiodide* (I_3^-) sebagai pasangan redoks dalam pelarut. Karakteristik ideal dari pasangan redoks untuk elektrolit DSSC yaitu,

1. Potensial redoksnya 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 Elektrolit Padat Berbasis Polimer

Penggunaan elektrolit cair memiliki kelemahan mudah terdegradasi atau bocor, oleh sebab itu elektrolit padat digunakan untuk mengurangi degradasi sel yang terjadi pada elektrolit cair sehingga dapat meningkatkan stabilitas sel surya.

Salah satunya elektrolit padat berbasis *gel* polimer yang didesain untuk memfasilitasi transport ion pada medium dengan tingkat viskositas tinggi dan memiliki kemampuan penuh untuk digunakan dalam proses penerimaan sinar dalam sel (Sung Kang, 2006).

Gel polimer terdiri dari matriks polimer dan pelarut di mana matriks polimer mengikat cairan dan mencegahnya untuk tidak terlepas atau dengan kata lain memainkan peran seperti sebuah wadah yang dapat menampung sejumlah besar pelarut, oleh sebab itu *gel* polimer memiliki sifat antara cair dan padat. Sifat-sifat *gel* polimer tersebut bergantung pada struktur polimer yang membentuk *gel* serta pada interaksi matriks dan pelarutnya.

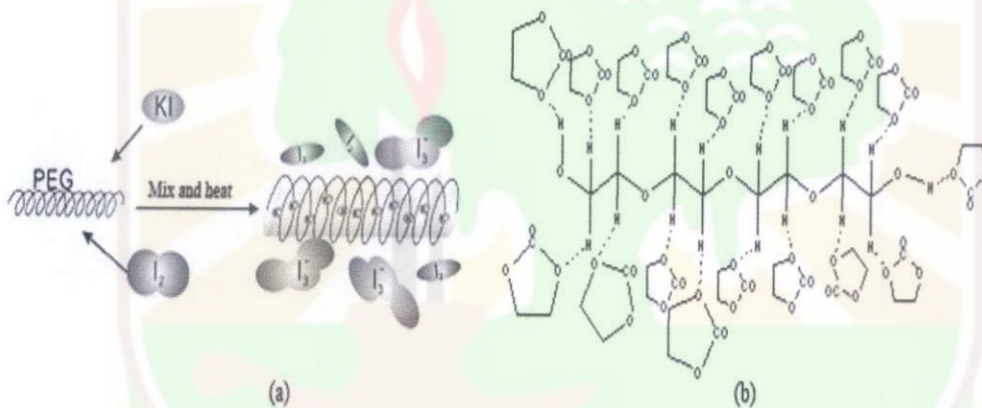
Elektrolit polimer yang mengandung kation atau anion yang bebas bergerak dalam medium elektrolit polimer tersebut akan bertindak sebagai bahan konduktor. Kekonduksian ionik suatu polimer bergantung kepada kepekatan dan mobilitas ionnya. Dari segi fisiknya, elektrolit polimer kelihatan sebagai bahan berfasa padat tetapi struktur didalamnya bersifat seperti fasa cair yang memberi pengaruh kepada perubahan nilai konduksinya (Andrew dkk., 1995).

Menurut Linden (1995), ciri-ciri yang harus dimiliki oleh suatu polimer untuk berfungsi sebagai media dalam elektrolit polimer adalah:

1. Mempunyai atom atau kumpulan atom yang cukup untuk mendonorkan elektron agar terjadi pembentukan ikatan koordinasi dengan kation.
2. Tidak terdapat hambatan pada proses pemutusan ikatan sehingga terjadi pergerakan bagian ikatan polimernya.

3. Mempunyai jarak yang sesuai antara pusat koordinat karena ini sangat penting dalam pembentukan multi ikatan ion secara intra polimer.
4. Mempunyai suhu peralihan yang rendah agar pelepasan anion lebih mudah.

Polimer yang mempunyai ciri-ciri tersebut diantaranya adalah PEG (Polietilen Glikol), dan PEO (Polietilen Oksida). Polimer tersebut telah menunjukkan nilai kekonduksian yang baik apabila didoping dengan garam iodida.



Gambar 2.8 (a) Interaksi Antara Matriks Polimer PEG dengan Garam KI, (b) Struktur Kimianya
(Sumber : Wu, 2008).

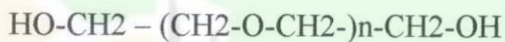
Keunggulan material berbasis polimer sebagai material elektrolit polimer antara lain:

1. Mempunyai hantaran yang cocok untuk aplikasi sel elektrokimia
2. Mempunyai hantaran listrik yang rendah
3. Mempunyai sifat mekanik yang baik
4. Mempunyai kestabilan kimia, elektrokimia dan fotokimia yang baik
5. Mudah dalam pembuatannya (Fiona M, 1997).

2.2.6 Polyethylene Glycol (PEG)

Secara kimiawi, PEG merupakan sekelompok polimer sintetis yang larut air dan memiliki kesamaan struktur kimia berupa adanya gugus hidroksil primer pada ujung rantai polieter yang mengandung oksietilen (-CH₂-CH₂-O-). Beberapa sifat utama dari PEG adalah stabil, tersebar merata, dapat mengikat pigmen, dll.

Angka-angka yang sering termasuk dalam nama-nama PEG menunjukkan berat molekul rata-rata mereka, misalnya, PEG dengan $n = 68$ akan memiliki berat molekul rata-rata sekitar 4000 gr/mol dan akan diberi label PEG-4000. Struktur dari PEG sendiri dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Struktur Poliethilen Glikol (PEG)
(Sumber: Gao, 1993)

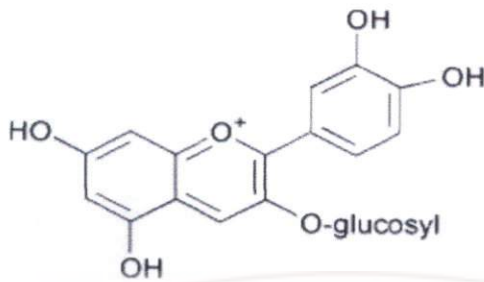
2.2.7 Dye

Dye merupakan molekul pigmen atau senyawa kimia yang dapat menyerap cahaya, sensitisasi merupakan proses membuat sel surya menjadi peka terhadap cahaya, dan injeksi adalah proses transfer elektron dari molekul *dye* ke daerah pita konduksi semikonduktor yang terjadi karena absorpsi cahaya.

Senyawa sintetis yang merupakan turunan dari *rhutenium complex* adalah *sensitizer* yang pertama kali diteliti untuk aplikasi sel surya dan memberikan hasil

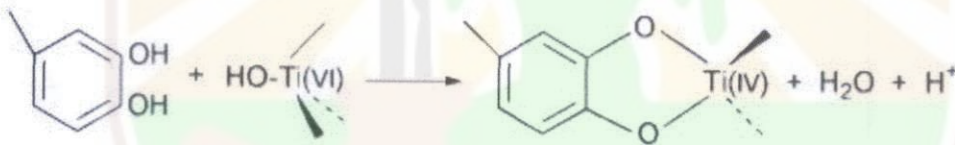
yang cukup menjanjikan (Pandey, 2006). Senyawa ini memiliki gugus karboksil yang berfungsi untuk menempelkan diri (*attachment*) pada permukaan semikonduktor oksida (Gratzel, 2003). Senyawa-senyawa turunan dari *rhutenium complex* telah menunjukkan hasil efisiensi sel surya yang cukup baik ketika diaplikasikan pada sistem sel surya tersensitasi *dye*, hingga di atas 11 %.

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 bahan-bahan alami. Senyawa yang terkandung di dalam bahan-bahan alami tersebut yang berfungsi sebagai *sensitizer* adalah antosianin, klorofil dan karoten. Senyawa antosianin memiliki gugus karbonil dan hidroksil pada struktur molekulnya, sehingga membuatnya mampu berikatan kimia dengan permukaan TiO_2 . *Antocyanin* adalah komposisi kunci dari beberapa *dye* alami. *Antocyanin* potensial dipergunakan sebagai *sensitizer* karena memiliki spektrum cahaya dalam rentang yang cukup lebar, dari merah hingga biru. Sementara pada klorofil terdapat gugus alkil pada struktur karoten juga mencegah terjadinya ikatan yang efektif ke permukaan TiO_2 (Hao, 2006). *Antocyanin* menyebabkan warna merah dan ungu pada banyak buah dan bunga. Salah satu pigmen *cyenin* yang memegang peranan penting dalam proses absorpsi cahaya yaitu *cyanidin 3-O- β -glucoside*, struktur kimianya ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Struktur Kimia *Antocyanin Dye*
(Sumber: Hao, 2006)

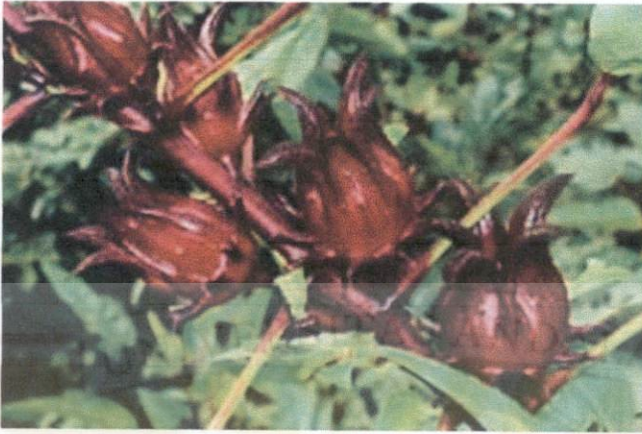
Pada Saat molekul *dye* berinteraksi dengan TiO_2 , terjadi absorpsi *cyanin* ke permukaan TiO_2 , menggantikan OH dari struktur Ti(IV) yang berkombinasi dengan proton dari grup *cyanin* (Septina, 2007), Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Absorpsi Senyawa *Cyanin* pada permukaan TiO_2
(Sumber: Septina, 2007)

2.2.8 *Antocyanin* Bunga Rosella

Bunga rosella (*Hibiscus sabdariffa*) adalah sejenis tanaman semak (perdu) yang ada di seluruh wilayah tropis dunia. Bunga rosella mempunyai warna cerah, kelopak bunga berwarna gelap dan lebih tebal. Bunganya keluar dari ketiak daun dan merupakan bunga tunggal, yang berarti pada tangkai hanya terdapat satu bunga. Bunga ini mempunyai 8-11 helai kelopak dengan panjang 1 cm, yang pangkalnya saling berlekatan dan berwarna merah.



Gambar 2.12 Bunga rosella (*Hibiscus sabdariffa*)

Bunga rosella merupakan salah satu tanaman yang mengandung zat warna *antocyanin*. *Antocyanin* merupakan pewarna yang paling penting dan tersebar luas dalam tumbuhan. Pigmen yang berwarna kuat dan larut dalam air ini adalah penyebab warna dalam daun, bunga, dan buah. *Antocyanin* memberikan warna ungu kemerahan pada kelopak bunga rosella dan berperan mencegah kerusakan sel akibat paparan sinar Ultra Violet berlebih.

Antocyanin terbagi menjadi tiga kelompok yaitu antosianidin, aglikon, dan glukosida. Antosianidin yang merupakan inti dari aglikon memberikan warna merah pada kelopak bunga. Oleh karena itulah kelopak bunga rosella dapat digunakan sebagai molekul dye yang akan mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. Jenis *Antocyanin* yang terdapat pada Rosella adalah *Delphinidin 3 sambubioside* dan *cyanidin 3 sambubioside* (Mardhiah, 2010).

2.2.9 Surfaktan Sodium Dodecyl Sulfate (SDS)

Surfaktan merupakan suatu molekul yang memiliki gugus hidrofilik dan gugus lipofilik sehingga dapat mempersatukan campuran yang terdiri dari air dan minyak. Aktifitas surfaktan diperoleh karena sifat ganda dari molekulnya. Molekul surfaktan memiliki bagian polar yang suka akan air (hidrofilik) dan bagian non polar yang suka akan minyak atau lemak (lipofilik). Umumnya bagian non polar (lipofilik) merupakan rantai alkil yang panjang, sementara bagian yang polar (hidrofilik) mengandung gugus hidroksil.

Surfaktan sodium dodecyl sulfat (SDS) memiliki rumus kimia $C_{12}H_{25}SO_4Na$ yang merupakan surfaktan anion yang biasa terdapat dalam produk-produk pembersih noda minyak dan kotoran. Pada penelitian ini surfaktan SDS digunakan sebagai molekul yang menyebarkan nanopartikel TiO_2 , agar tidak terjadi penumpukan partikel pada satu tempat.

2.2.10 Karakterisasi Lapisan TiO_2

1. X-Ray Diffractometer (XRD)

Sinar-X akan menunjukkan gejala difraksi bila sinar tersebut jatuh pada jarak antar atomnya kira-kira sama dengan panjang gelombang sinar tersebut. Bila berkas elektron menjerami suatu kristal, maka sinar-X yang terbentuk akan dihamburkan. Panjang gelombang hamburan ini keluar dari seluruh atom dalam sampel dan interferensi dari radiasi hamburan yang berasal atom-atom yang berbeda menyebabkan intensitas yang berbeda.

Spektroskopi difraksi sinar-X atau *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan suatu metoda untuk melihat bentuk kristal zat padat. XRD dapat menentukan struktur kristal dengan mengukur selisih antar bidang dalam kristalnya.

Metode yang sering digunakan sebagai alternatif dalam menentukan ukuran nanopartikel adalah metode Scherrer. Ukuran kristalin ditentukan berdasarkan pelebaran puncak difraksi sinar-X yang muncul. Metode ini sebenarnya memprediksi ukuran kristalin dalam material, bukan ukuran partikel. Jika satu partikel mengandung sejumlah kristal yang kecil-kecil maka informasi yang diberikan metode Scherrer adalah ukuran kristalin tersebut, bukan ukuran partikel. Untuk partikel berukuran nanometer, biasanya satu partikel hanya mengandung satu kristal.

Berdasarkan metode Scherrer, makin kecil ukuran kristal, maka makin lebar puncak difraksi yang dihasilkan. Kristal yang berukuran besar dengan satu orientasi menghasilkan puncak difraksi mendekati sebuah garis vertikal. Kristal yang sangat kecil menghasilkan puncak difraksi yang sangat lebar. Lebar puncak difraksi tersebut memberikan informasi tentang ukuran kristal. Hubungan antara ukuran kristal dengan lebar puncak difraksi dapat diaproksimasi dengan persamaan Scherrer.

$$D = \frac{k\lambda}{B \cos \theta} \quad (2.8)$$

dengan:

D = adalah diameter (ukuran kristal),

λ = panjang gelombang sinar-X yang digunakan,

θ_B = adalah sudut Bragg , B adalah FWHM (*Full Width at Half Maximum*)

pada $2\theta \times (\pi/180)$ satu puncak yang dipilih,

k = konstanta material yang nilainya kurang dari satu. Nilai yang umumnya dipakai untuk k adalah 0,9

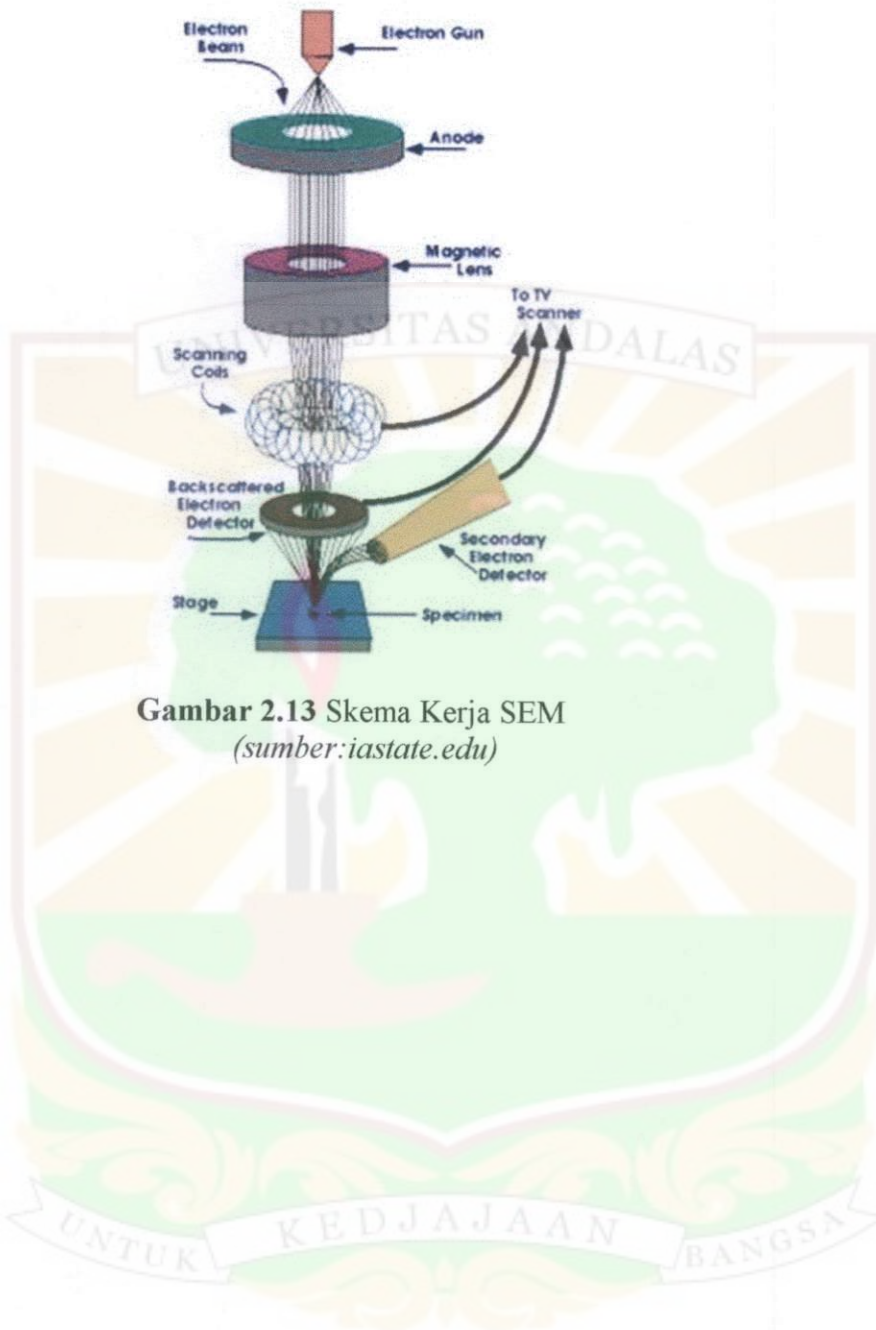
2. Scanning Electron Microscope (SEM)

Bentuk morfologi permukaan sampel dapat dilihat dengan menggunakan SEM. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1 – 0,2 nm. Disamping itu dengan menggunakan elektron kita juga bisa mendapatkan beberapa jenis pantulan yang berguna untuk keperluan karakterisasi.

Prinsip kerja dari SEM adalah sebagai berikut:

1. Sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda.
2. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus memindai (scan) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
4. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT).

Secara lengkap skema SEM dijelaskan oleh Gambar 2.13



Gambar 2.13 Skema Kerja SEM
(sumber: iastate.edu)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 WAKTU DAN LOKASI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas, dari bulan Agustus 2011 sampai dengan Januari 2012.

3.2 ALAT DAN BAHAN PENELITIAN

3.2.1 Peralatan

1. Gelas kimia 100 ml
2. Mikropipet
3. Pengaduk magnetic (*magneticstirrer*) Ika C-Mag HS
4. Cawan petri
5. Oven MEMMERT
6. Mortar
7. Multimeter digital HELES
8. Luxmeter LUTRON LX-108
9. Timbangan digital OHAUS GALAXY™160
10. Kertas saring Whatman 90
11. *Scotch Tape* 3M
12. Pinset
13. Batang pengaduk

3.2.2 Bahan

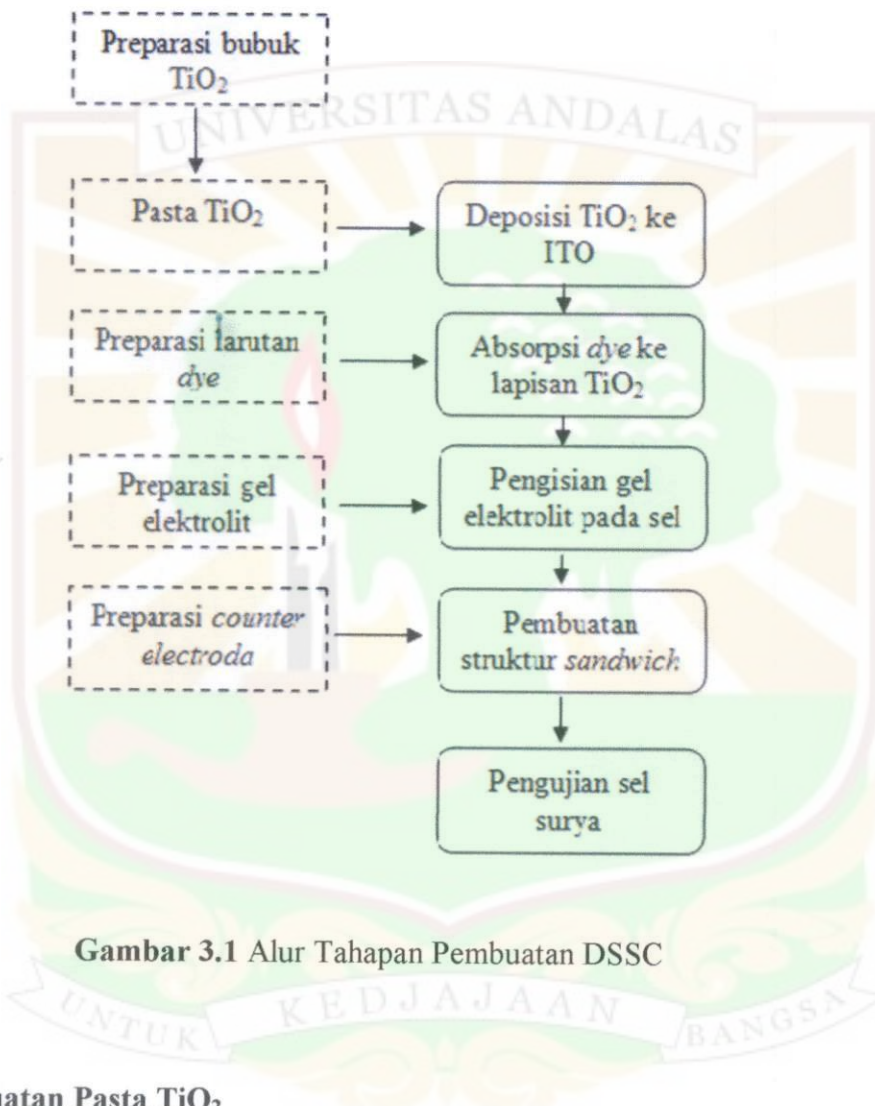
1. Nanopartikel anatase TiO_2 dari BRATACO
2. Etanol dari Merck
3. Aquabides
4. Kalium iodida (KI) dari Merck
5. Iodin (I_2) dari Merck
6. *Polyvinyl Alcohol* (PVA) dari Bratachem
7. Asam asetat dari Merck
8. Kelopak bunga rosella
9. *Graphite* (pensil 2B)
10. *Acetonitrille* (Asetonitril) dari Merck
11. Kaca konduktif (TCO) jenis ITO (*Indium tin oxide*)
12. *Polyethylene glycol* (PEG) – 4000 dari BRATACO



3.3 TATA LAKSANA PENELITIAN

Secara umum alur tahapan pembuatan DSSC ditunjukkan pada Gambar

3.1.



Gambar 3.1 Alur Tahapan Pembuatan DSSC

3.3.1 Pembuatan Pasta TiO₂

Bubuk TiO₂ sebanyak 1 gr ditambahkan ke dalam 20 ml Aquabides, kemudian diaduk hingga merata menggunakan *Magnetic Stirrer* selama 10 menit pada temperatur 60 °C. Selanjutnya Polivinil Alkohol (PVA) sebanyak 2 gr ditambahkan ke dalam larutan TiO₂ tersebut dan diaduk selama 50 menit pada suhu 60 °C sampai terbentuk pasta. Setelah pasta dingin ditambahkan 0,5 gr SDS

yang telah dilarutkan ke dalam 1 ml aquabides sebagai surfaktan, kemudian diaduk secara perlahan dan dibiarkan selama 10 menit.

3.3.2 Preparasi Larutan Dye

Kelopak bunga rosella segar sebanyak 10 gr digerus dengan menggunakan mortar hingga halus. Selanjutnya ditambahkan 25 ml etanol, 4 ml asam asetat, dan 20 ml aquabides, kemudian dibiarkan selama 24 jam. Setelah 24 jam, ekstrak dye antosianin disaring dengan menggunakan kertas saring *Whatman* 90 dan disimpan dalam botol berwarna gelap.

3.3.3 Preparasi Gel Elektrolit

Kalium Iodida (KI) sebanyak 0,8 gr dilarutkan ke dalam 10 ml Asetonitril kemudian ditambahkan 0,2 gr I_2 dan diaduk. Pada larutan tersebut ditambahkan 0,5 gr PEG - 4000 dan diaduk selama 1 jam pada suhu $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. PEG- 4000 ditambahkan dengan variasi 1,5 gr, 2,5 gr, 3,5 gr, 4,5 gr dan 5,5 gr.

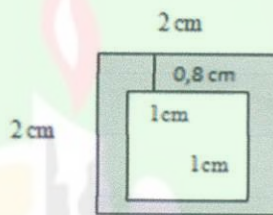
3.3.4 Preparasi Counter-Electroda Karbon

Sebagai sumber karbon, digunakan grafit dari pensil 2B. Pensil 2B diarsir pada bagian konduktif ITO hingga merata. Kemudian kaca dibakar di atas nyala lampu minyak tanah dengan posisi arsiran menghadap api. Pembakaran dilakukan hingga jelaga menutupi permukaan konduktif ITO.

3.4 FABRIKASI DSSC

Setelah masing-masing komponen DSSC berhasil dibuat, kemudian dilakukan fabrikasi untuk membentuk sel surya dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pada ITO yang dipotong menjadi ukuran 2 x 2 cm dibentuk area tempat TiO_2 dideposisikan dengan bantuan *Scotch Tape* pada bagian kaca konduktif sehingga terbentuk area sebesar 1 x 1 cm seperti pada Gambar 3.2. *Scotch Tape* juga berfungsi sebagai pengatur ketebalan pasta TiO_2 .



Gambar 3.2 Skema Area Deposisi Pasta TiO_2

2. Pasta TiO_2 dideposisikan di atas area yang telah dibuat pada kaca konduktif dengan metode *Doctor Blade*, yaitu dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakan pasta. Kemudian lapisan dikeringkan selama 45 menit dan dibakar dalam oven listrik pada temperatur $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 30 menit.
3. Lapisan TiO_2 kemudian direndam dalam larutan *Dye* selama 30 menit. Setelah perendaman kaca ITO dibilas dengan aquabides dan etanol dan kemudian dikeringkan.
4. *Counter-Electroda* Karbon diletakkan di atas lapisan TiO_2 yang telah ditetesi *gel* elektrolit dengan struktur *sandwich* dimana, di masing-masing

ujung diberi *offset* sebesar 0,8 cm untuk kontak elektrik. Kemudian agar struktur selnya mantap dijepit dengan klip pada kedua sisi dan sel surya siap untuk diuji.

3.5 PENGUJIAN DAN KARAKTERISASI

3.5.1 Karakterisasi Lapisan TiO₂

1. X-Ray Diffractometer (XRD)

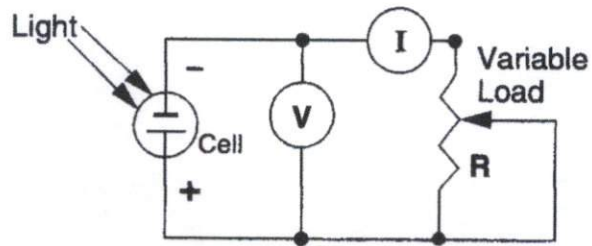
Struktur kristal dari lapisan TiO₂ pada kaca ITO dikarakterisasi dengan XRD dilakukan di Laboratorium Teknik Pertambangan ITB. Sampel berupa lapisan tipis dianalisa dengan teknik difraksi sinar-X menggunakan monokromator grafit radiasi Cu K α .

2. Scanning Electron Microscope (SEM)

Karakterisasi menggunakan peralatan SEM dilakukan di Laboratorium Geologi Kuarter Bandung. SEM digunakan untuk menganalisa bentuk morfologi permukaan sampel.

3.5.2 Pengukuran Arus dan Tegangan Listrik

Sel surya yang telah dirangkai diukur besar arus dan tegangan dengan multimeter dimana digunakan potensiometer sebagai hambatan. Sumber cahaya yang digunakan adalah cahaya matahari saat matahari cerah pada siang hari yang diukur menggunakan luxmeter. Skema rangkaian Sel surya dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Skema Rangkaian Listrik Pengujian Sel Surya

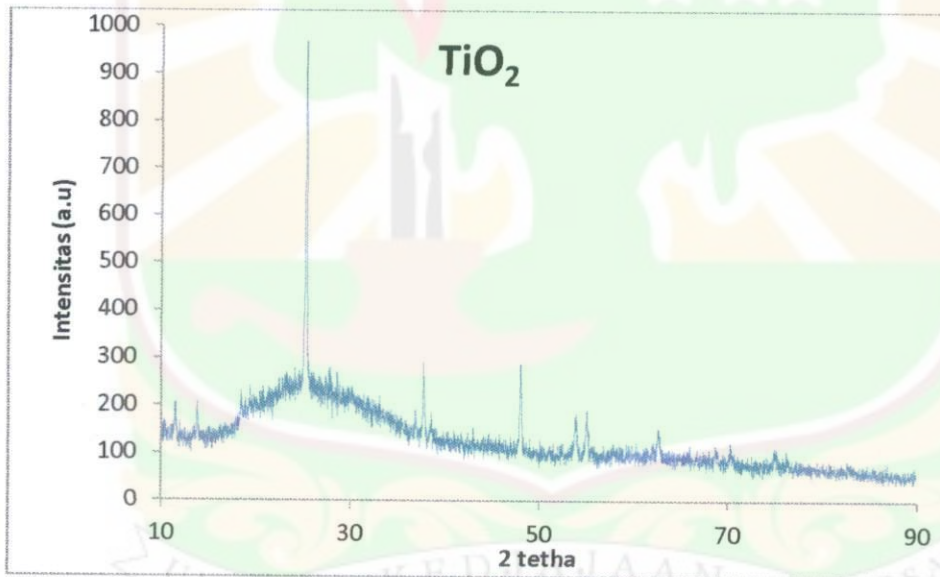
Setelah dilakukan karakterisasi dan dipilih sampel terbaik kemudian dilakukan fabrikasi, langkah selanjutnya diukur besar tegangan dan kuat arus pada DSSC.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis XRD

Pengujian XRD sebagai karakterisasi dilakukan untuk mengetahui fasa apa yang terkandung dalam sampel TiO_2 . Hasil karakterisasi elektroda TiO_2 pada kaca ITO diperoleh berupa pola difraksi (difraktogram) yang terdiri dari puncak-puncak karakteristik TiO_2 , seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pola XRD Elektroda TiO_2

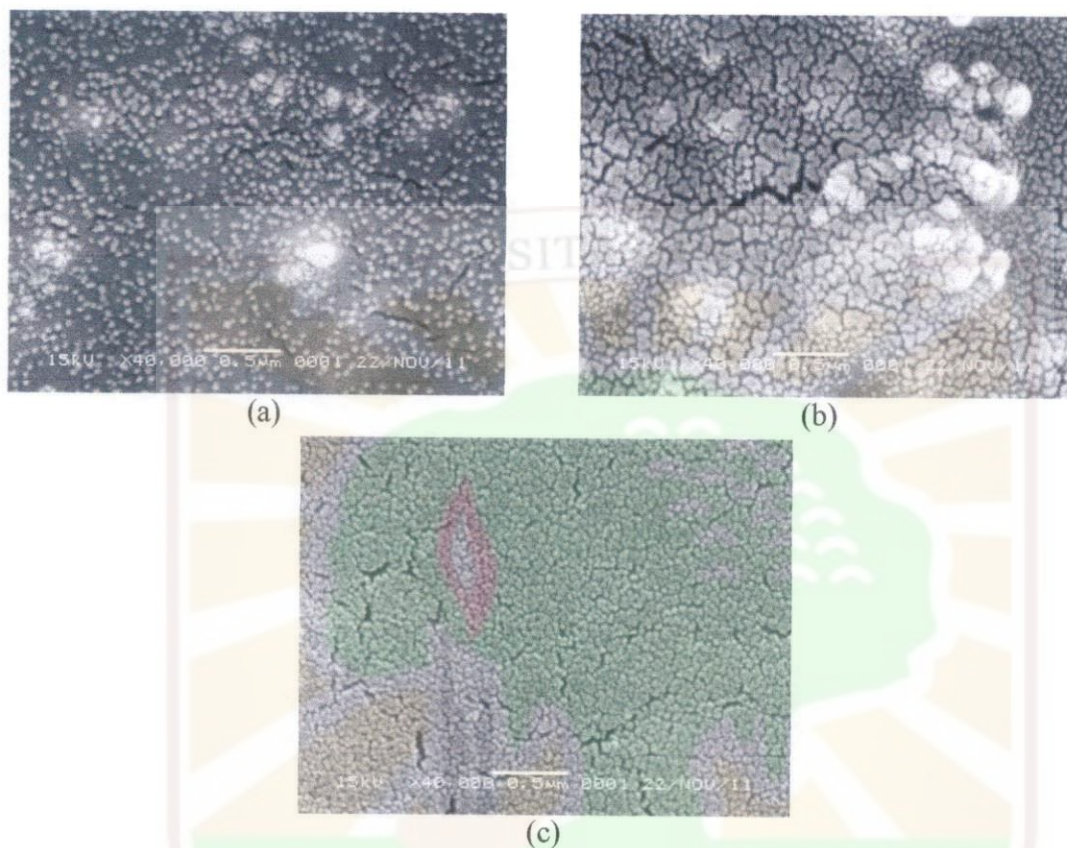
Hasil XRD pada Gambar 4.1 memperlihatkan bahwa hanya terdapat fasa anatase dan tidak ditemukan fasa lain. Nomor Tabel Hanawalt yang cocok dengan pola difraksi yang didapat dari hasil eksperimen adalah data JCPDF 21-1272 (Lampiran 1). Semua puncak pola difraksi untuk sampel tersebut teridentifikasi

sebagai fasa anatase berstruktur tetragonal dengan konstanta kisi $a = b = 3,785 \neq c = 9,513$ dimana $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$.

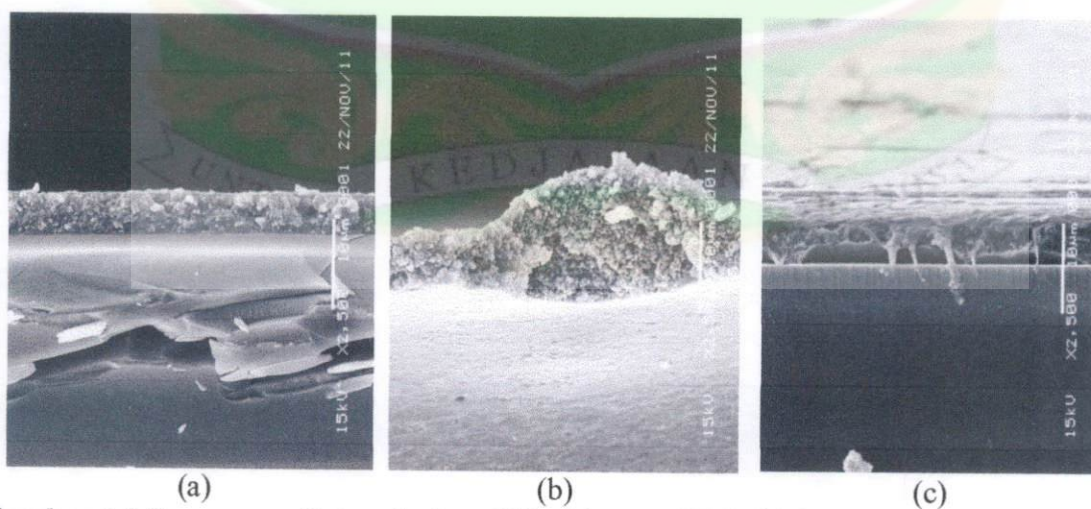
Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa TiO_2 yang disintesis sesuai untuk diaplikasikan dalam DSSC karena mempunyai fasa kristal anatase yang memiliki kemampuan fotoaktif yang tinggi. Selain itu derajat kristalinitas sampel ini cukup baik dilihat dari intensitas puncak difraksi yang tinggi dan tegas, 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 dan dapat meningkatkan efisiensi sel surya.

4.2 Analisis SEM

Karakterisasi SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan lapisan TiO_2 pada kaca ITO. Lapisan TiO_2 terdiri dari campuran bubuk TiO_2 , aquabides, PVA dan surfaktan SDS yang dideposisikan pada kaca ITO dengan menggunakan metoda *Doctor Blade*. Hasil SEM yang diperoleh berupa morfologi permukaan dan penampang lintang lapisan TiO_2 untuk masing-masing variasi penggunaan SDS sebagai surfaktan.



Gambar 4.2 Permukaan lapisan TiO_2 (a) tanpa SDS, (b) SDS 0,1 gr, (c) SDS 0,5 gr



Gambar 4.3 Penampang lintang lapisan TiO_2 (a) tanpa SDS, (b) SDS 0,1 gr, (c) SDS 0,5 gr

Dari Gambar 4.2 (a) terlihat bahwa permukaan lapisan yang terbentuk cukup homogen, meskipun masih terdapat sedikit TiO_2 yang belum terdistribusi dengan sempurna terlihat dengan adanya tumpukan putih pada lapisan. Partikel TiO_2 tampak hampir seragam dengan ukuran sekitar 50 nm. Gambar 4.3 (a) merupakan penampang lintang dari lapisan TiO_2 . Dapat dilihat ketebalan lapisan adalah 5 μm merata disepanjang substrat ITO.

Pengaruh penambahan 0,1 gr SDS pada sampel menghasilkan lapisan TiO_2 dengan permukaan yang retak-retak (Gambar 4.2 (b)). Pada penampang lintangnya (Gambar 4.3 (b)) terlihat ketebalan lapisan yang tidak merata. Ketidak homogenan ini kemungkinan disebabkan oleh kurangnya jumlah surfaktan (SDS) yang ditambahkan.

Untuk penambahan 0,5 gr SDS pada sampel, dihasilkan lapisan TiO_2 yang lebih halus dengan pori-pori diantara butiran-butiran partikel TiO_2 yang diikat oleh matriks PVA. Morfologi permukaan lapisan ini dapat dilihat pada Gambar 4.2 (c) dimana ukuran partikel TiO_2 rata-rata sebesar 35 nm dan ketebalan lapisan adalah 5 μm (Gambar 4.3 (c)). Bentuk morfologi seperti ini sesuai digunakan pada DSSC, karena morfologi lapisan berpori yang lebih banyak dapat meningkatkan jumlah molekul *dye* yang terserap pada permukaan partikel-partikel TiO_2 . Semakin banyak volume pori yang terbentuk, maka semakin luas ruang yang dapat ditempati oleh molekul *dye*. Hal ini menyebabkan penyerapan foton lebih mudah sehingga meningkatkan jumlah elektron terinjeksi ke permukaan TiO_2 yang pada akhirnya dapat meningkatkan performa sel surya.

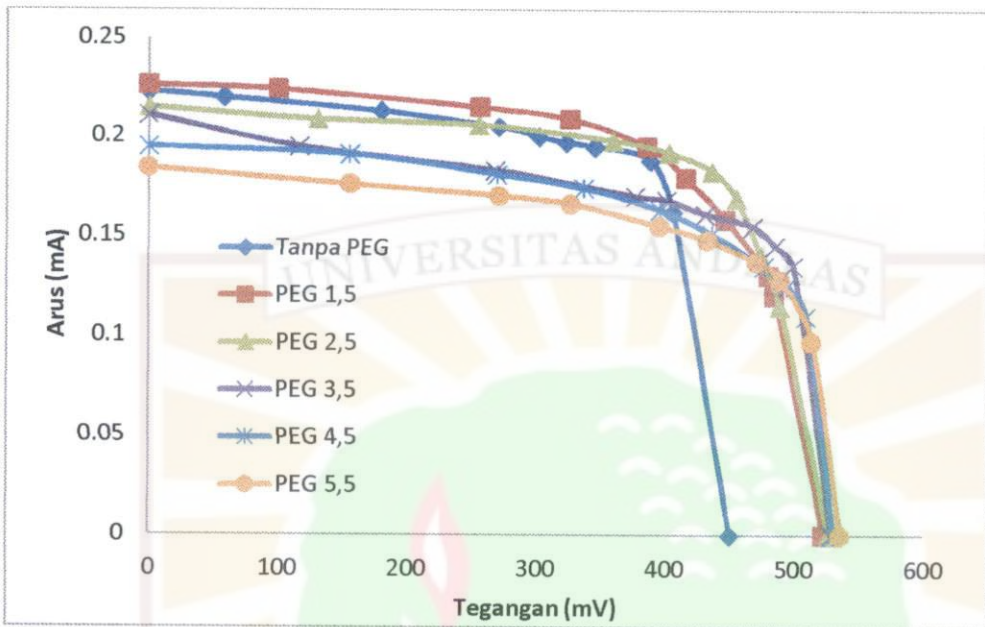
4.3 Analisis Arus dan Tegangan Sel Surya

Pengukuran arus dan tegangan pada sel surya dilakukan untuk masing-masing variasi PEG pada *gel* elektrolit yang digunakan, dengan lama pengukuran 7 hari. Sel surya diuji menggunakan sumber cahaya matahari yang diukur pada pukul 12.00 sampai 13.00 siang ketika langit tidak berawan. Disamping itu, untuk skala laboratorium telah dilakukan pula pengujian besar arus dan tegangan menggunakan penyinaran dari OHP (Over Head Projector) dengan tingkat intensitas yang sama dengan intensitas cahaya matahari yaitu $13,82 \text{ mW/cm}^2$, sehingga diperoleh hasil pengukuran yang hampir sama (Lampiran 3).

Dari karakteristik arus dan tegangan yang diperoleh pada penyinaran matahari dapat ditentukan parameter-parameter sel surya, diantaranya tegangan *open circuit* (V_{oc}), arus *short circuit* (I_{sc}), tegangan maksimum (V_{maks}), arus maksimum (I_{maks}) dan daya maksimum (P_{maks}). Dari parameter-parameter tersebut dapat ditentukan nilai *fill factor* (FF) dan efisiensi sel surya (η).

Tabel 4.1 Data pengukuran hari pertama dengan daya yang dihasilkan cahaya matahari $13,85 \text{ mW}$

Massa PEG (gr)	V_{oc} (mV)	I_{sc} (mA)	V_{maks} (mV)	I_{maks} (mA)	P_{maks} (mW)	FF	η (%)
Tanpa PEG	450	0,223	388,4	0,188	71,465	0,71	0,53
1,5	523	0,226	385,6	0,195	75,192	0,64	0,54
2,5	527	0,215	435,5	0,183	79,696	0,7	0,57
3,5	528,9	0,211	466,9	0,155	72,369	0,65	0,52
4,5	530,4	0,195	435,4	0,151	65,745	0,64	0,47
5,5	535,8	0,184	470,3	0,137	64,431	0,65	0,46



Gambar 4.4 Kurva arus dan tegangan pada pengukuran hari pertama dengan cahaya matahari

Pada Tabel 4.1 terlihat perbandingan hasil pengukuran arus dan tegangan untuk masing-masing variasi elektrolit. Hasil Pengukuran pada sel surya dengan elektrolit cair berupa campuran garam KI/I_2 menghasilkan efisiensi sebesar 0,53 % sedikit lebih besar jika dibandingkan dengan dengan penelitian yang dilakukan oleh Andari (2011) sebesar 0,52 %. Perbedaan ini disebabkan nilai daya maksimum yang dihasilkan oleh sel surya sebesar 71,465 mW, lebih besar dibandingkan yang diperoleh Andari (2011) yaitu 66,69 mW.

Penggunaan *gel* elektrolit mempengaruhi besar efisiensi yang dihasilkan oleh sel surya. Pengukuran arus dan tegangan menghasilkan efisiensi sebesar 0,54 % untuk PEG 1,5 gr, 0,57 % untuk PEG 2,5 gr, 0,52 % untuk PEG 3,5 gr, 0,47 % untuk PEG 4,5 gr, dan 0,46 % untuk PEG 5,5 gr. Perbedaan efisiensi yang dihasilkan

disebabkan perbedaan besar arus dan tegangan maksimum yang diperoleh. Pada penambahan PEG yang lebih besar diperoleh arus yang lebih kecil, hal ini disebabkan semakin kentalnya *gel* elektrolit sehingga menghasilkan resistansi yang lebih besar dan mempengaruhi nilai arus yang dihasilkan oleh sel surya.

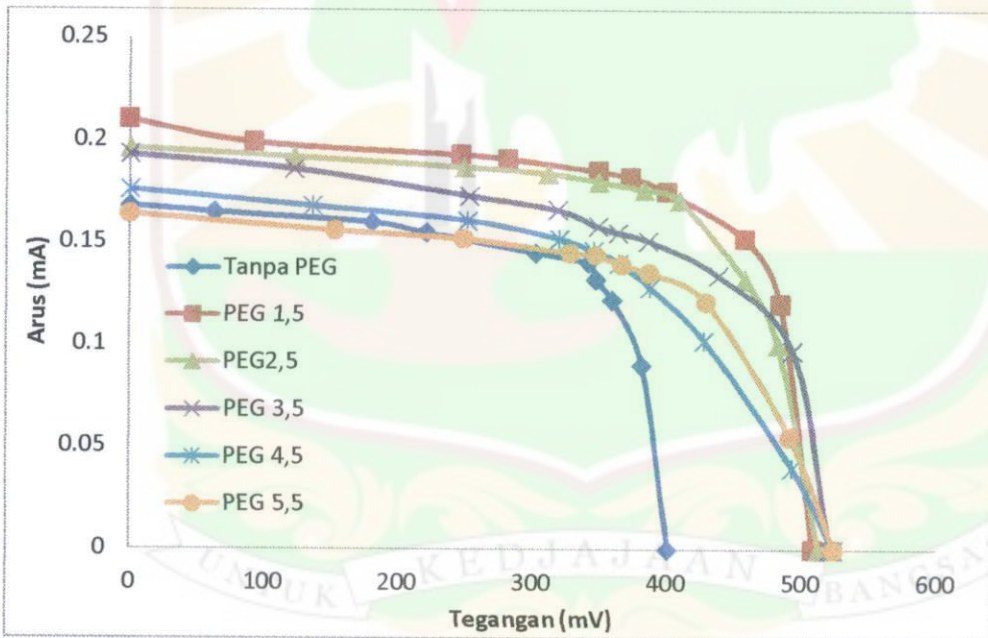
Pada Pengukuran hari pertama ini, nilai efisiensi terbesar dihasilkan oleh sel surya yang menggunakan *gel* elektrolit dengan massa PEG 2,5 gr, dimana efisiensinya sebesar 0,57 %. Hasil ini sudah lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu seperti penelitian Pancaningtyas (2010) yang menggunakan elektrolit campuran garam KI/I₂ dengan PEO (Polietilen Oksida) yang memperoleh efisiensi sebesar 0,124 %, selanjutnya penelitian Maddu (2010) dengan *gel* elektrolit PEG yang mengandung garam iodida menghasilkan efisiensi sebesar 0,4 %. Perbandingan hasil penelitian sebelumnya dapat terlihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan parameter sel surya hasil penelitian dengan penelitian sebelumnya

Parameter sel surya	Pancaningtyas (2010)	Maddu (2010)	Andari (2011)	Hasil Penelitian
Substat yang digunakan	ITO	ITO	ITO	ITO
Elektrolit	Gel Elektrolit (PEO)	Gel Elektrolit (PEG)	Elektrolit Cair KI/I ₂	Gel Elektrolit (PEG)
Sumber <i>dye</i>	Mangsi	Rhutenium 353	Rosella	Rosella
V _{max}	289,4 mV	340 mV	238,2 mV	435,5 mV
I _{max}	0,14 mA	0,088 mA	0,28 mA	0,183 mA
P _{max}	0,04 mW	29,92 mW	66,69 mW	79,69 mW
I _{sc}	0,125 mA	0,115 mA	0,3 mA	0,215 mA
V _{oc}	538 mV	480 mV	234 mV	527 mV
Fill Factor	0,34	0,54	0,95	0,7
Efisiensi (%)	0,124	0,4	0,52	0,57

Tabel 4.3 Data pengukuran hari ketiga dengan daya yang dihasilkan cahaya matahari 13,82 mW

Massa PEG (gr)	V _{oc} (mV)	I _{sc} (mA)	V _{maks} (mV)	I _{maks} (mA)	P _{maks} (mW)	FF	η (%)
Tanpa PEG	400,5	0,168	340,7	0,14	47,698	0,7	0,34
1,5	508,6	0,21	399,2	0,175	69,86	0,65	0,51
2,5	512,6	0,196	408,5	0,171	69,853	0,69	0,5
3,5	521,3	0,193	437,5	0,134	58,625	0,58	0,41
4,5	523,7	0,176	363,7	0,14	50,918	0,55	0,38
5,5	524,2	0,164	386,3	0,135	52,15	0,61	0,37



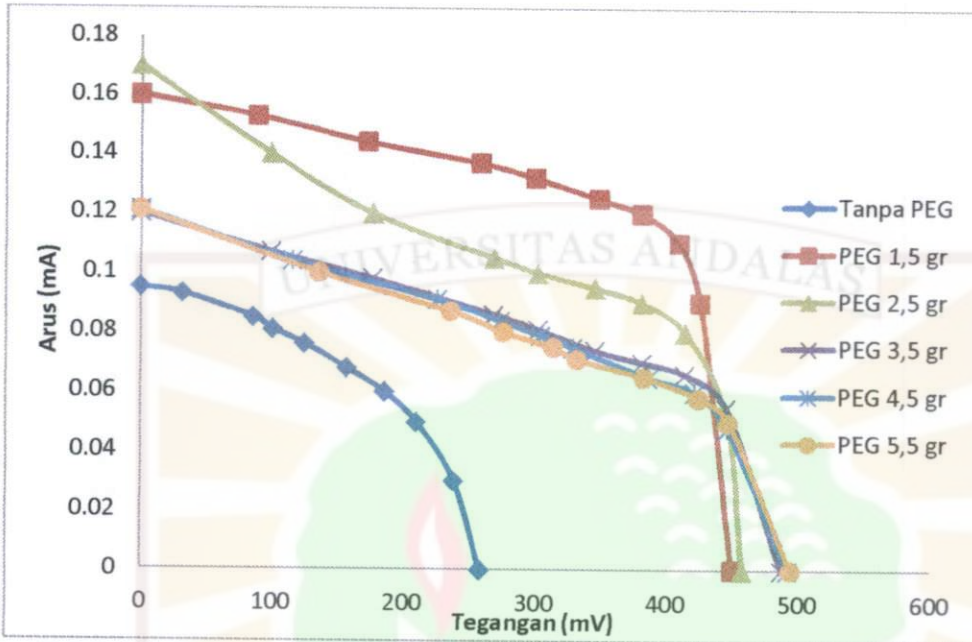
Gambar 4.5 Kurva arus dan tegangan pada pengukuran hari ketiga dengan cahaya matahari

Hasil pengukuran hari ketiga terlihat pada Tabel 4.3, dimana besar efisiensi yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan pengukuran pada hari pertama. Nilai efisiensi maksimal dihasilkan sel surya dengan *gel* elektrolit PEG 1,5 gr sebesar

0,51% dengan arus maksimum 0,175 mA dan tegangan maksimum 399,2 mV, sedangkan efisiensi terkecil untuk *gel* elektrolit diperoleh pada penggunaan PEG sebanyak 5,5 gr yaitu sebesar 0,37 % dengan arus maksimum 0,135 mA dan tegangan maksimum 386,3 mV. Nilai efisiensi yang dihasilkan dengan penggunaan *gel* elektrolit pada pengukuran hari ketiga ini lebih besar jika dibandingkan dengan penggunaan elektrolit cair yang menghasilkan efisiensi sebesar 0,34 % dengan arus maksimum 0,14 mA dan tegangan maksimum 340,7 mV. Penurunan efisiensi *gel* elektrolit pada pengukuran hari ketiga ini rata-rata sebesar 0,07 % dibandingkan hari pertama, sedangkan untuk elektrolit cair KI/I₂ terjadi penurunan sebesar 0,19 %. Dapat disimpulkan bahwa pada pengukuran hari ketiga telah terjadi penurunan performa sel surya yang menggunakan elektrolit cair KI/I₂.

Tabel 4.4 Data pengukuran hari kelima dengan daya yang dihasilkan cahaya matahari 13,80 mW

Massa PEG (gr)	V _{oc} (mV)	I _{sc} (mA)	V _{maks} (mV)	I _{maks} (mA)	P _{maks} (mW)	FF	η (%)
Tanpa PEG	258	0,095	185,3	0,06	11,118	0,45	0,08
1,5	450	0,16	380,8	0,12	45,696	0,63	0,33
2,5	457,9	0,17	380,8	0,09	34,272	0,44	0,25
3,5	487,5	0,12	413,8	0,066	27,31	0,47	0,2
4,5	492,5	0,121	421,3	0,06	25,278	0,42	0,18
5,5	494,7	0,121	382,6	0,065	24,869	0,41	0,17

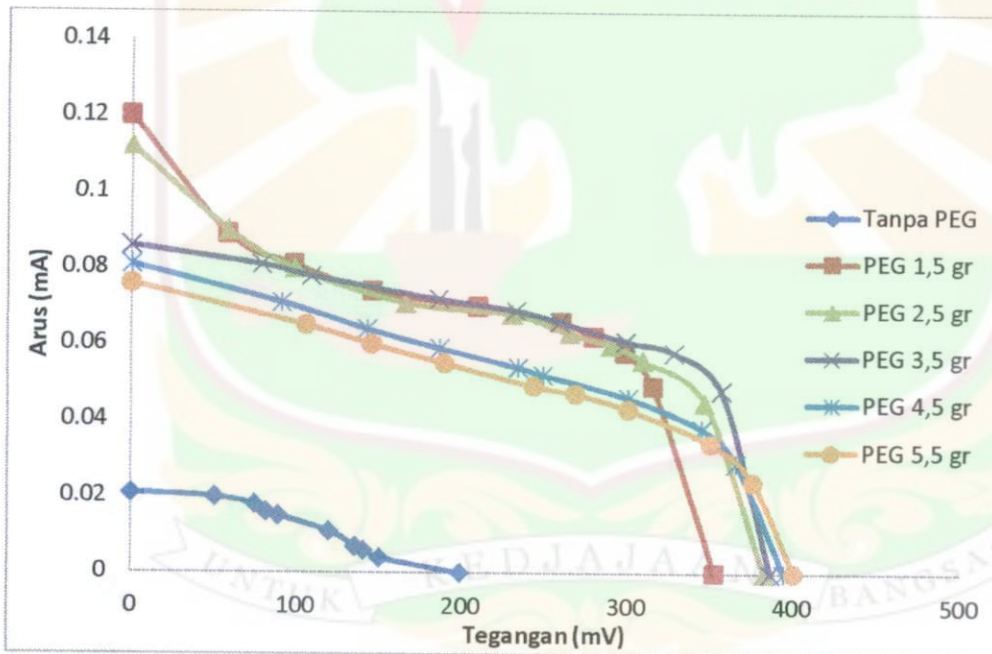


Gambar 4.6 Kurva arus dan tegangan pada pengukuran hari kelima dengan cahaya matahari

Pengukuran hari kelima (Tabel 4.4) menunjukkan hasil pengukuran arus dan tegangan untuk masing-masing variasi elektrolit. Pada pengukuran hari kelima efisiensi yang dihasilkan oleh sel surya masih mengalami penurunan yang sangat besar. Penurunan yang sangat besar ini tidak hanya dialami oleh elektrolit cair KI/I_2 tetapi juga pada penggunaan *gel* elektrolit. Efisiensi *gel* elektrolit paling kecil dihasilkan pada penambahan 5,5 gr PEG yaitu sebesar 0,17 % dimana pada pengukuran hari pertama bernilai 0,46 %. Dapat dilihat telah terjadi penurunan efisiensi sebesar 0,29 % untuk penambahan 5,5 gr PEG pada pengukuran hari kelima.

Tabel 4.5 Data pengukuran hari ketujuh dengan daya yang dihasilkan cahaya matahari 13,86 mW

Massa PEG (gr)	V _{oc} (mV)	I _{sc} (mA)	V _{maks} (mV)	I _{maks} (mA)	P _{maks} (mW)	FF	η (%)
Tanpa PEG	198,9	0,021	88,7	0,015	1,331	0,32	0,009
1,5	352,9	0,12	279,2	0,062	17,31	0,41	0,126
2,5	382,6	0,112	289,5	0,06	17,37	0,40	0,125
3,5	386,4	0,086	327,5	0,058	18,595	0,57	0,128
4,5	394,4	0,081	300,1	0,046	13,804	0,43	0,099
5,5	400,3	0,076	300,1	0,043	12,904	0,42	0,093



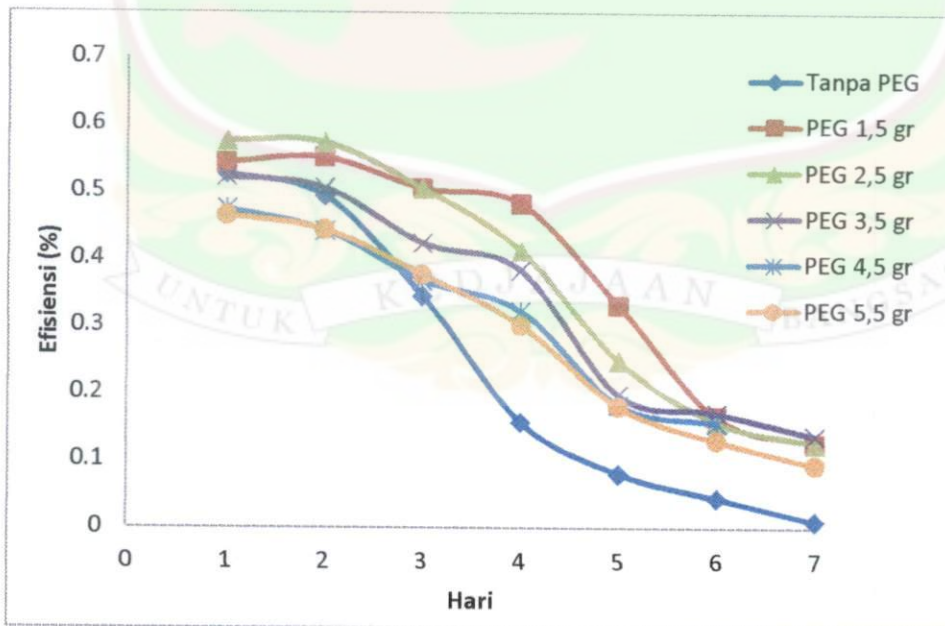
Gambar 4.7 Kurva arus dan tegangan pada pengukuran hari ketujuh dengan cahaya matahari

Pengukuran hari ketujuh (Tabel 4.5) menghasilkan efisiensi yang sangat jauh lebih kecil, hal ini menunjukkan performa sel surya sudah sangat menurun. Efisiensi

maksimum dihasilkan pada penggunaan *gel* elektrolit dengan PEG sebanyak 1,5 gr yaitu 0,126 % dengan arus maksimum 0,062 mA dan tegangan maksimum 279,2 mV sedangkan efisiensi untuk elektrolit cair jauh lebih kecil yaitu 0.009 % dengan arus maksimum 0,015 mA dan tegangan maksimum 88,7 mV.

Hasil penelitian dengan menggunakan *gel* elektrolit PEG-4000 pada pengukuran hari ketujuh jauh lebih baik jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh oleh Pancaningtyas (2010) yang menggunakan elektrolit campuran garam KI/I_2 dengan PEO dimana nilai efisiensi yang diperoleh hanya 0,033 %, arus maksimum 0,008 mA dan tegangan maksimum 136,6 mV.

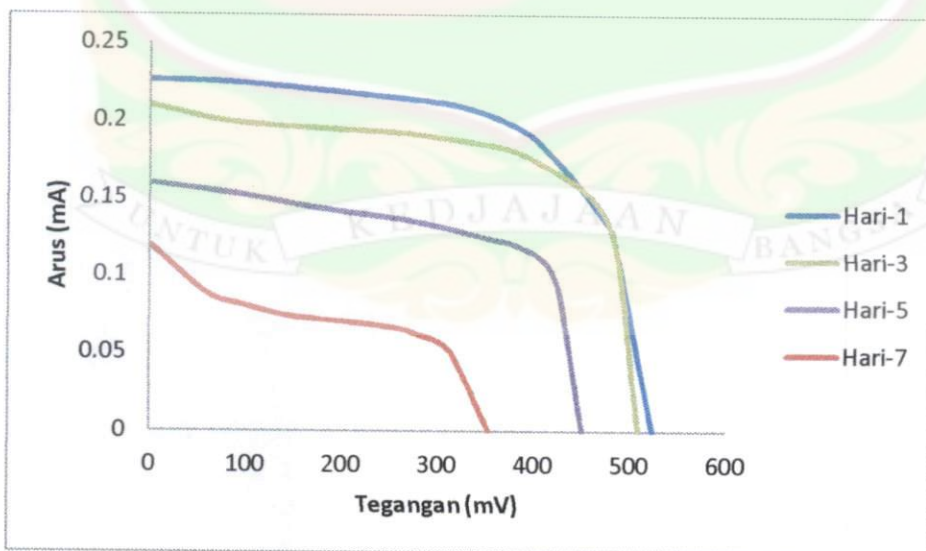
Selama tujuh hari pengukuran nilai efisiensi yang dihasilkan oleh sel surya mengalami penurunan untuk setiap variasi penggunaan elektrolit. Perbandingan penurunan efisiensi terlihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Kurva penurunan nilai efisiensi sel surya

Pada Gambar 4.8 terlihat penurunan nilai efisiensi terbesar dialami pada sel yang menggunakan elektrolit cair dibandingkan sel yang menggunakan *gel* elektrolit. Pada *gel* elektrolit dengan variasi penggunaan PEG, penurunan nilai efisiensi yang tidak terlalu besar terjadi pada *gel* elektrolit dengan massa PEG 1,5 gr.

Kurva arus dan tegangan yang diperoleh dari hasil pengukuran selama tujuh hari cukup ideal untuk pengukuran hari pertama dan hari ketiga (Gambar 4.4 dan Gambar 4.5), sedangkan untuk pengukuran hari kelima dan ketujuh (Gambar 4.6 dan Gambar 4.7) masih belum ideal, hal ini dapat terlihat pada kelengkungan kurva yang semakin landai. Hal ini disebabkan adanya hambatan internal pada sel surya dan degradasi yang terjadi pada elektrolit yang digunakan, hal tersebut mengakibatkan menurunnya arus maksimum yang mengalir melalui sel. Dari perbandingan tersebut penggunaan *gel* elektrolit yang menghasilkan nilai efisiensi paling stabil adalah *gel* elektrolit dengan massa PEG 1,5 gr (Gambar 4.8).



Gambar 4.9 Kurva Arus dan Tegangan dengan *Gel* Elektrolit PEG 1,5 gr pengukuran hari-1 sampai dengan hari-7

Pada Gambar 4.9 terlihat kurva yang dihasilkan cukup ideal dan tidak terlihat penurunan kurva yang terlalu landai. Penurunan arus maksimum sel sebanding dengan penurunan tegangannya dan menghasilkan kurva yang hampir sama kelengkungannya walaupun arus dan tegangan yang dihasilkan pada hari berikutnya lebih kecil dibandingkan hari sebelumnya. Bentuk kurva tersebut disebabkan Matriks PEG telah dapat mengikat I/I_3^- yang berasal dari garam KI dan I_2 sehingga meminimalkan penguapan dan degradasi pada elektrolit.

Secara keseluruhan karakteristik keluaran sel surya dengan penggunaan *gel* elektrolit berbasis *Polyethylene Glycol* (PEG) - 4000 menunjukkan performa yang lebih baik dari elektrolit cair dalam penelitian ini. Keluaran arus dari sel surya dengan *gel* elektrolit menunjukkan stabilitas keluaran arus yang lebih tinggi dibanding sel dengan elektrolit cair. Namun kinerja sel surya yang dihasilkan belum maksimal, khususnya nilai efisiensi konversi (η) yang masih sangat kecil (dibawah 1%). Nilai efisiensi yang sangat rendah dikarenakan nilai arus yang sangat kecil (dalam orde mikroampere). Arus sel surya sangat ditentukan oleh mekanisme transfer dan transpor elektron di dalam sel. Diyakini bahwa telah terjadi transfer elektron dari *dye* teroksidasi ke dalam lapisan fotoelektroda, namun diperkirakan belum optimal, demikian juga transfer elektron di dalam lapisan fotoelektroda belum berjalan baik karena hambatan lapisan yang sangat besar.

Penurunan kinerja sel surya dengan elektrolit *gel* dan cair juga disebabkan tingkat difusi I^- yang rendah melalui matriks polimer dan mudahnya penguapan dari pelarut elektrolit cair. Selain itu, iodin yang merupakan komponen redoks dalam

larutan elektrolit memiliki stabilitas yang rendah karena mudah teroksidasi oleh udara. Proses oksidasi ini akan dipercepat oleh panas. Degradasi elektrolit ini akan menghambat proses regenerasi elektron sehingga menyebabkan arus dan kinerja sel menurun. Faktor lain yang juga berpengaruh terhadap stabilitas dan performa sel surya yaitu adanya kerusakan pada zat warna yang merupakan zat organik yang bersifat kurang stabil. Kerusakan zat pewarna ini akan menyebabkan terganggunya proses penyerapan cahaya sehingga dapat menurunkan kemampuan sel dalam menangkap foton.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini telah berhasil dilakukan pembuatan *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) menggunakan *gel* elektrolit berbasis *Polyethylene Glycol* (PEG)-4000 dengan *dye* dari ekstraksi bunga rosella.
2. Berdasarkan penelitian dan hasil analisis diperoleh bahwa penggunaan *gel* elektrolit pada DSSC mampu menghasilkan keluaran dan performa sel yang cukup baik dari pada elektrolit cair. Gel elektrolit PEG mampu mengkonversi sinar menjadi arus listrik dengan luas area aktif sel surya 1 cm^2 pada pengukuran hari pertama dengan efisiensi, tegangan *open circuit* dan arus *short circuit* masing-masing sebesar 0,57 %, 527 mV dan 0,215 mA untuk penggunaan PEG sebanyak 2,5 gr.
3. Dari kurva arus dan tegangan yang diperoleh, penggunaan *gel* elektrolit yang menghasilkan kurva arus dan tegangan yang cukup ideal adalah *gel* elektrolit dengan massa PEG 1,5 gr dengan parameter keluaran: tegangan *open circuit* (V_{oc}) 523 mV, arus *short circuit* (I_{sc}) 0,226 mA, *fill factor* (ff) 0,64, efisiensi energi (η) 0,54 % pada pengukuran hari pertama.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka penulis menyarankan beberapa hal:

1. Perlu diteliti lebih lanjut tentang pengaruh konsentrasi PEG pada *gel* elektrolit terhadap performa sel surya.
2. Selain penggunaan elektrolit juga perlu dikaji lebih jauh mengenai pengaruh berbagai karakteristik komponen DSSC terhadap kemampuan sel surya, yaitu jenis substrat, proses pembuatan lapisan TiO_2 , jenis *dye*, elektroda pembanding, sumber dan intensitas cahaya yang digunakan.
3. Pengukuran arus dan tegangan yang dihasilkan DSSC perlu dilakukan untuk rentang waktu yang lebih lama.



DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Andari, Rafika, 2011, *Sintesis Dan Karakterisasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Dengan Sensitizer Antosianin Dari Bunga Rosella (Hibiscus Sabdariffa)*, Tesis Program Studi Fisika Program Pasca Sarjana Universitas Andalas, Padang.
- Andrew, X., Vicedo, T. and Fringant, C, 1995, *Plasticization of Cross-linked Polymer Electrolytes. Journal of Power Sources*, 54. 487-490.
- Cherepy, N. J., Greg P. Smestad, M. Gratzel, Jin Z. Zhang, 1997, *Ultrafast Electron Injection : Implications for a Photoelectrochemical Cell Utilizing an Anthocyanin Dye-Sensitized TiO₂ Nanocrystalline Electrode*. *J. Phys. Chem.* 101: 9342-9351.
- De Freitas JN, Nogueira V, Ito BI, Soto-Oviedo MA, Longo C, De Paoli MA & NogueiraAF, 2006, *Dye-Sensitized Solar Cells and Solar Module Using Polymer Electrolytes: Stability and Performance Investigation. Intern'l. J. Photoenergy* 2006:1-6.
- De Paoli, M.A., Claudia Longo, 2003, "Dye-Sensitized Solar Cell: A Successful Combination of Materials," *Journal Brazillian Chemistry Society*, Vol. 14, No. 6, hal. 889-901.
- Gao, Kuixiong, 1993, *Polyethylene glycol as an embedment for microscopy and histochemistry*. CRC Press. Page.1-10
- Gratzel, M., dan O'Regan, B., 1991, "A Low Cost, High-Efficiency Solar Cell Based on Dye Sensitized Colloidal TiO₂ Films", *Journal of Nature*, Vol. 353.
- Gratzel, M., 2003, "Review: Dye Sensitized Solar Cells", *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, Vol. 4, hal. 145-153.
- Gray, Fiona M., 1997, "Polimer Electrolytes".
- Hao, S.C., Wu, J.H., Huan, Y., Lin, J. *Natural Dyes As Photosensitizers for Dye-Sensitized Solar Cell. Solar Energy* 2006; 80: 209-214.
- Halme, Janne, 2002, *Dye-Sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cell: technical review and preliminary test*. Master Thesis of Helsinki University of Technology.
- Linden, D., 1995, *Handbook of Batteries*. Inc: McGraw-Hill.

- Longo C, Paoli MA De, 2003, *Dye-sensitized solar cells: a successful combination of materials*. *J Braz Chem Soc*; 14(6): 889-901.
- Maddu, A., dkk., 2007, *Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosensitizer pada Sel Surya TiO₂ Nanokristal Tersensitisasi dye*, *Makara, Teknologi*, Vol. 11, NO. 2, November 2007: 78-84.
- Maddu, A., dkk., 2010, *Sel Surya Tersensitasi Dye Padat Menggunakan Fotoelektroda Komposit TiO₂/Ta₂O₅ dan Elektrolit Gel Polimer*, *Prosiding Seminar Nasional Fisika 2010*.
- Mardiah, 2010, *Ekstaraksi Kelopak Bunga dan Batang Rosella (Hibiscus sabdariffa) sebagai Pewarna Merah Alami*, Skripsi Jurusan Teknologi Pangan dan Gizi Universitas Djuanda, Bogor.
- Markvart, Tom, 2003, *Practical handbook of photovoltaics : Fundamentals and Applications*. Elsevier . UK.
- Pancaningtyas, Lidya dan Syafsir Akhlus, 2010, *Peranan Elektrolit Pada Performa Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT)*, Skripsi Kimia Fisik FMIPA ITS, Surabaya.
- Pandey A, Samaddar AB., 2006, *Dye sensitized photo voltaic devices: an answer to the daunting challenge of future energy crisis*. *Advances in Energy Research*: 497-502.
- Septina, wilman dkk., 2007, *Pembuatan Solar Cell Murah dengan Bahan-Bahan Organik-Inorganik*. Laporan Penelitian Bidang Energi. ITB : Bandung.
- Smestad, G.P. et al., 1998, *Journal Chemistry Education*, 75 (6) 1.
- Soga, T., 2006, *Nanostructured Materials for Solar Energy Conversion*. Elsevier BV: Amsterdam.
- Sung Kang, Moon, 2006, *Electrochemical characterization of Dye Sensitized solar cells employing polymer-gel electrolytes and novel Pt-counter electrodes*, Samsung SDI Corporate R&D Center, Korea.
- Wibowo, Azhari, 2011, *Pemanfaatan Buah Karamunting (Rhodomyrtus tomentosa) Sebagai Dye pada Sel Surya DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell) Berbasiskan TiO₂*. Skripsi Jurusan Fisika Universitas Andalas, Padang.
- Wongcharee, K., 2006, *Dye-Sensitized Solar Cell Using Natural Dyes Extracted From Rosella and Blue Pea Flowers*, Department of Chemical Engineering, Manakorn University of Technology, Nong Chok, Bangkok, Thailand.

Wu, Jihuai, Zhang Lan, Sanchun Hao, Pingjiang Li, Jianming Lin, Miaoliang Huang, Leqing Fang, and Yunfang Huang. 2008. *“Progress on the electrolytes for dye-sensitized solar cells,” Institute of Materials Physical Chemistry, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China.*

<http://ruby.colorado.edu/~smyth/min/tio2.html>. J.N. de Freitas, V. Nogueira, B.I. Ito, M.A. Soto- Oviedo, C. Longo, M.-A. De Paoli, A.F. Nogueira, Intern'l. J. Photoenergy (2006) 1, diakses pada tanggal 12 November 2011 pukul 20.00 WIB.

<http://mse.iastate.edu/microscopy/college.html>, diakses pada tanggal 10 Desember 2011 pukul 13.00 WIB.

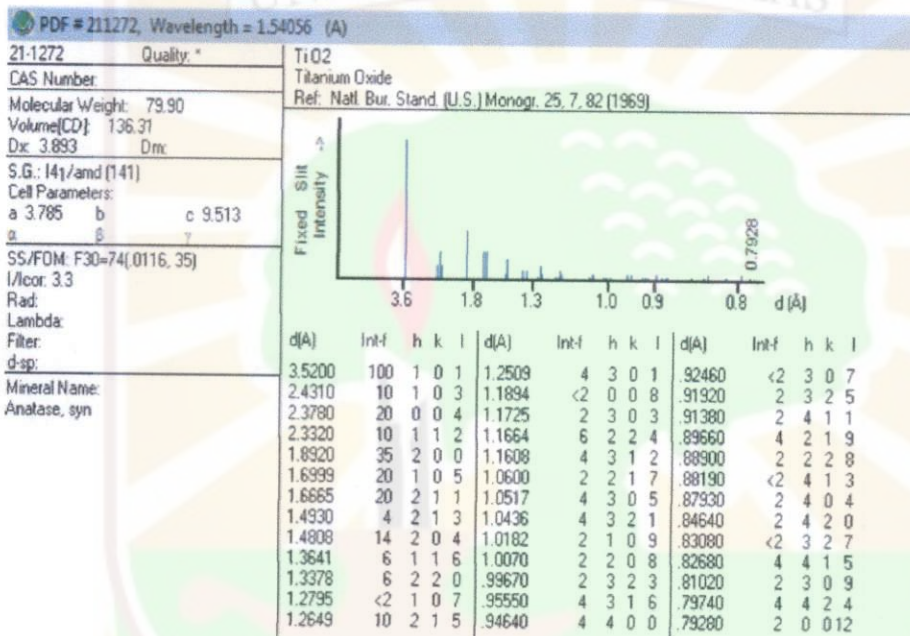
<http://www.webelement.com/webelements/compounds.html>, diakses pada tanggal 4 Januari 2012 pukul 19.00 WIB.



Lampiran 1

Tabel Hanawalt

Pencocokan jarak antar bidang eksperimen dan intensitas relatif pola difraksi nanopartikel TiO₂ dengan Tabel Hanawalt (21-1272).



Eksperimen		Hanawalt	
d	I	d	I
3.5215	734	3.5200	100
2.4330	45	2.4310	10
2.3808	121	2.3780	20
2.3312	28	2.3320	10
1.8931	146	1.8920	35
1.7014	74	1.6999	20
1.6670	88	1.6665	20
1.4818	52	1.4808	14
1.3637	16	1.3641	6
1.3386	20	1.3378	6
1.2649	29	1.2649	10
1.2466	12	1.2509	4
1.1652	8	1.1664	6

Lampiran 2

Perhitungan Nilai efisiensi konversi Cahaya Matahari menjadi energi listrik

$$\text{Tegangan maksimum } (V_{\max}) = 435.5 \text{ mV}$$

$$\text{Arus maksimum } (I_{\max}) = 0.183 \text{ mA}$$

$$1 \text{ lux} = 0,09 \text{ ft-cd}$$

$$1 \text{ ft} = 0,304 \text{ m}$$

$$1 \text{ lux} = \frac{1}{0,09 \times (0,304)^2} \text{ cd/m}^2$$
$$= 120,23 \text{ cd/m}^2$$

$$\text{Intensitas cahaya matahari yang diukur } (I) = 1152 \text{ lux} = 13,85 \text{ mW/cm}^2$$

$$P_{\max} = V_{\max} \cdot I_{\max}$$
$$= 435.5 \text{ mV} \times 0.183 \text{ mA}$$
$$= 79,7 \text{ mW}$$

Efisiensi (η)

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{in}} \times 100 \%$$
$$= \frac{79,7 \cdot 10^{-3}}{13,85} \times 100\%$$
$$= 0,57 \%$$

MILIK
UPT PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS ANDALAS

Lampiran 3

Hasil Pengukuran Dengan Sumber Cahaya OHP ($13,82 \text{ mW/cm}^2$)

a. Pengukuran hari pertama

Massa PEG (gr)	V_{oc} (mV)	I_{sc} (mA)	V_{maks} (mV)	I_{maks} (mA)	P_{maks} (mW)	FF	η (%)
Tanpa PEG	451,2	0,225	395,3	0,18	71,154	0,70	0,51
1,5	520,1	0,226	400,5	0,182	72,891	0,62	0,53
2,5	525,1	0,215	438,4	0,18	78,912	0,69	0,57
3,5	530	0,21	465,2	0,158	73,501	0,66	0,53
4,5	532	0,195	475,3	0,138	65,591	0,63	0,47
5,5	534,3	0,185	471,6	0,138	65,08	0,66	0,47

b. Pengukuran hari ketiga

Massa PEG (gr)	V_{oc} (mV)	I_{sc} (mA)	V_{maks} (mV)	I_{maks} (mA)	P_{maks} (mW)	FF	η (%)
Tanpa PEG	401,5	0,17	354,2	0,137	48,525	0,71	0,35
1,5	504	0,2	403,5	0,178	71,823	0,71	0,52
2,5	514,3	0,198	400,5	0,174	69,687	0,68	0,50
3,5	520,8	0,195	443,9	0,135	59,926	0,59	0,43
4,5	522,9	0,175	365,3	0,14	51,142	0,56	0,36
5,5	525,8	0,165	385,9	0,135	52,092	0,60	0,37

c. Pengukuran hari kelima

Massa PEG (gr)	V _{oc} (mV)	I _{sc} (mA)	V _{maks} (mV)	I _{maks} (mA)	P _{maks} (mW)	FF	η (%)
Tanpa PEG	255,7	0,095	185,9	0,06	11,154	0,45	0,08
1,5	450,4	0,162	413,5	0,12	49,62	0,68	0,36
2,5	460,4	0,15	382,9	0,092	35,226	0,51	0,25
3,5	485,6	0,13	385,7	0,072	13,826	0,44	0,20
4,5	491,3	0,125	388,3	0,067	26,0161	0,42	0,18
5,5	495,4	0,12	425,3	0,056	23,816	0,40	0,17

d. Pengukuran hari ketujuh

Massa PEG (gr)	V _{oc} (mV)	I _{sc} (mA)	V _{maks} (mV)	I _{maks} (mA)	P _{maks} (mW)	FF	η (%)
Tanpa PEG	200,3	0,024	98,7	0,017	1,677	0,34	0,012
1,5	354,6	0,1	277,3	0,062	17,192	0,48	0,124
2,5	384,3	0,115	287,2	0,059	16,944	0,38	0,12
3,5	385,2	0,086	329,2	0,055	18,106	0,54	0,13
4,5	393,8	0,08	298,1	0,044	13,116	0,41	0,094
5,5	398,1	0,075	295,5	0,043	12,706	0,42	0,09



Lampiran 4

Hasil Pengukuran Dengan Sumber Cahaya Matahari

a. Pengukuran hari pertama

Tanpa PEG		PEG 1,5 gr		PEG 2,5 gr		PEG 3,5 gr		PEG 4,5 gr		PEG 5,5 gr	
V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I
450	0	523	0	527	0	528.9	0	530.4	0	535.8	0
405.2	0.162	484.4	0.12	488.4	0.115	498.8	0.135	508.7	0.11	513.2	0.097
388.4	0.188	480.2	0.13	473.2	0.14	484.5	0.145	494.4	0.125	488.9	0.128
345	0.195	446.4	0.158	454.4	0.169	466.9	0.155	476.1	0.135	470.3	0.137
322.9	0.197	415.9	0.179	435.5	0.183	430.5	0.161	435.4	0.151	432.1	0.148
302	0.2	385.6	0.195	402.1	0.192	400.5	0.168	395.6	0.163	394.8	0.155
270.5	0.205	325.8	0.209	359.3	0.198	376.4	0.17	336.3	0.174	326	0.166
179.4	0.213	255.9	0.215	255	0.206	268.2	0.183	269.7	0.181	271.1	0.17
57.8	0.22	99.8	0.224	129.8	0.209	115.8	0.195	155.2	0.191	155.6	0.176
0	0.223	0	0.226	0	0.215	0	0.211	0	0.195	0	0.184

b. Pengukuran hari ketiga

Tanpa PEG		PEG 1,5 gr		PEG 2,5 gr		PEG 3,5 gr		PEG 4,5 gr		PEG 5,5 gr	
V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I
400.5	0	508.6	0	512.6	0	521.3	0	523.7	0	524.2	0
380.7	0.09	484	0.12	482.1	0.1	493.4	0.097	493	0.04	491.4	0.055
358.4	0.122	457.5	0.152	457.5	0.132	437.5	0.134	427.4	0.102	428.5	0.121
346.2	0.132	399.2	0.175	408.5	0.171	385.6	0.151	386.6	0.128	386.3	0.135
340.7	0.14	372.1	0.182	382.4	0.176	362.9	0.155	363.7	0.14	365.7	0.139
301.5	0.145	348.3	0.185	348.3	0.18	348.2	0.158	345.2	0.146	346.3	0.144
220.4	0.155	280.7	0.191	310.6	0.184	318.1	0.166	319.5	0.152	327.2	0.145
180	0.16	245.9	0.193	248.3	0.187	252.3	0.173	251.1	0.161	248.1	0.152
62.7	0.165	91.8	0.199	121.8	0.192	121.9	0.186	135.7	0.168	152.5	0.156
0	0.168	0	0.21	0	0.196	0	0.193	0	0.176	0	0.164

c. Pengukuran hari kelima

Tanpa PEG		PEG 1,5 gr		PEG 2,5 gr		PEG 3,5 gr		PEG 4,5 gr		PEG 5,5 gr	
V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I
258	0	450	0	457.9	0	487.5	0	492.5	0	494.7	0
238.3	0.03	425.3	0.09	445.3	0.052	445.3	0.055	446.2	0.048	447.5	0.05
209.7	0.05	409.4	0.11	413.8	0.08	413.8	0.066	421.3	0.06	424.7	0.058
185.3	0.06	380.8	0.12	380.8	0.09	380.8	0.07	385.4	0.065	382.6	0.065
156.4	0.068	348.2	0.125	345.2	0.095	345.2	0.074	328.1	0.075	331.4	0.071
124.5	0.076	300.1	0.132	301.9	0.1	301.9	0.081	303.6	0.079	313.5	0.075
100	0.081	258.3	0.137	268.6	0.105	268.6	0.086	272.6	0.084	275.8	0.08
85.6	0.085	172.7	0.144	175.9	0.12	175.9	0.098	225.3	0.091	235.8	0.087
31.6	0.093	88.8	0.153	98.8	0.14	98.8	0.107	115.4	0.104	135.9	0.1
0	0.095	0	0.16	0	0.17	0	0.12	0	0.121	0	0.121

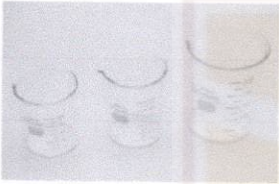
d. Pengukuran hari ketujuh

Tanpa PEG		PEG 1,5 gr		PEG 2,5 gr		PEG 3,5 gr		PEG 4,5 gr		PEG 5,5 gr	
V	I	V	I	V	I	V	I	V	I	V	I
198.9	0	352.9	0	382.6	0	386.4	0	394.4	0	400.3	0
149.8	0.004	315	0.049	346.2	0.045	356.1	0.048	365.4	0.029	375.9	0.024
140.5	0.006	298.3	0.058	308.7	0.056	327.5	0.058	344.4	0.038	350.4	0.034
135.2	0.007	279.2	0.062	289.5	0.06	298.5	0.061	300.1	0.046	300.1	0.043
119.3	0.011	259.7	0.066	264.5	0.063	258.6	0.066	248.7	0.052	268.5	0.047
88.7	0.015	209.2	0.07	229.8	0.068	232.2	0.069	233.4	0.054	243.1	0.049
81.6	0.016	145.4	0.074	165.2	0.071	185.1	0.072	185.9	0.059	189.5	0.055
74.8	0.018	98.1	0.081	98.1	0.08	108.4	0.078	142.4	0.064	145.2	0.06
50.3	0.02	58.2	0.089	58.2	0.09	78.4	0.081	90.6	0.071	105.7	0.065
0	0.021	0	0.12	0	0.112	0	0.086	0	0.081	0	0.076



Lampiran 5

Foto Peralatan Penelitian



Gelas kimia



Kertas saring
Wathman 90



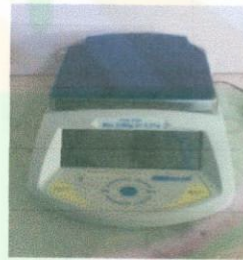
*Hot Plate Magnetik
Stirrer C-MAG HS*



Mortar



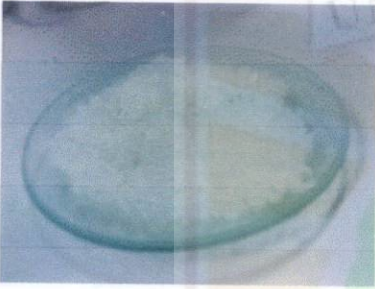
Oven Memmert



Timbangan digital
PGW 2502i

Lampiran 6

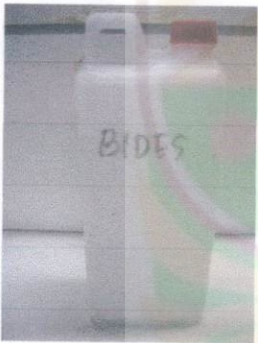
Foto Bahan Penelitian



Poliethilen Gliokol (PT. Brataco, Indonesia,)



TiO₂ (Titanium Dioxide)
(PT. Brataco, Indonesia,)



Aquabides



Etanol

Lampiran 7

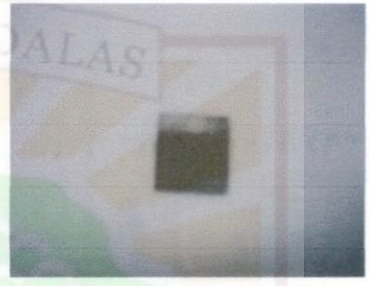
Foto Hasil Penelitian



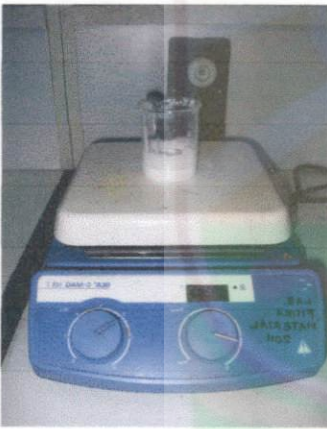
Elektrolit



Lapisan TiO_2 dengan Dye



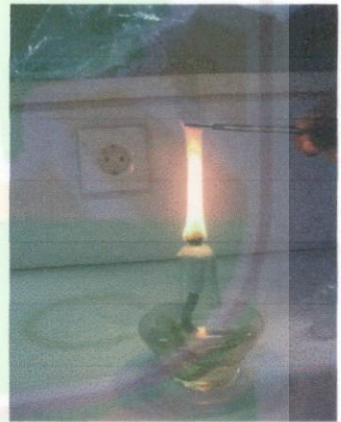
Elektroda Karbon



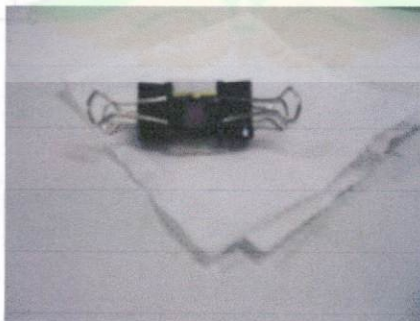
Pembuatan Pasta TiO_2



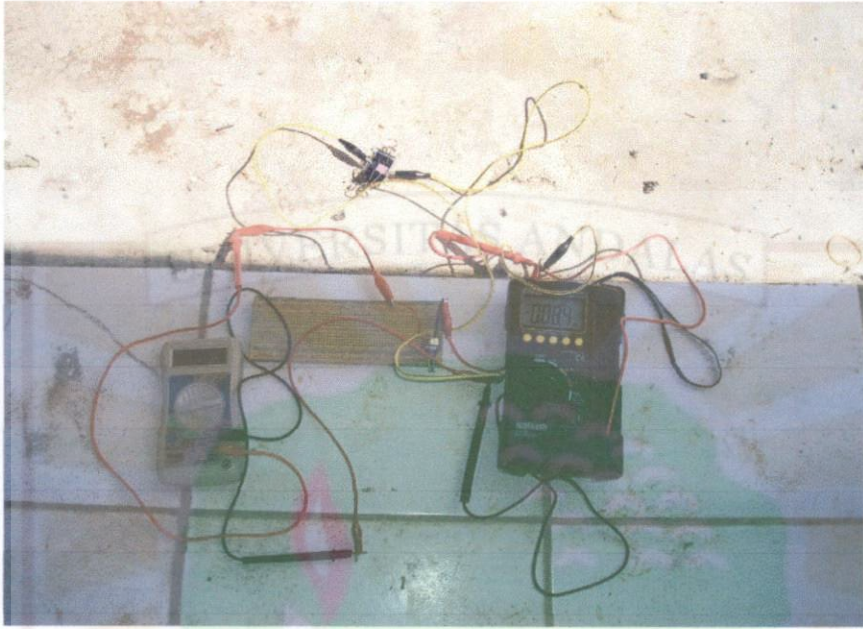
Dye Rosella



Deposisi Karbon



Prototipe DSSC



Pengukuran Arus dan Tegangan dengan penyinaran matahari

