

**PEMBUATAN PROTOTIPE *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* BERBASIS
NANOPORI SEMIKONDUKTOR TiO_2 MENGGUNAKAN EKSTRAK
KETAN HITAM (*Oryza sativa*) SEBAGAI SUMBER *DYE***

SKRIPSI

*Diajukan kepada Tim Penguji Skripsi Jurusan Kimia sebagai salah satu
Persyaratan guna Memperoleh gelar Sarjana Sains*



**Oleh
Suwardani
NIM.46823**

**PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2010**

PERSETUJUAN SKRIPSI

PEMBUATAN PROTOTIPE *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* BERBASIS
NANOPORI SEMIKONDUKTOR TiO_2 MENGGUNAKAN EKSTRAK
KETAN HITAM (*Oryza Sativa*) SEBAGAI SUMBER *DYE*

Nama : Suwardani
NIM : 46823
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2010

Disetujui Oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Dr. Hardeli, M.Si
NIP.196401131991031001

Dra. Irma Mon M.Si
NIP.194806191973032001

Ketua Jurusan,

Drs. Zul Afkar, M.S
NIP.195110291977101001

PENGESAHAN

Dinyatakan Lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi

Program studi Kimia Jurusan Kimia Fakultas

Matematika dan ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Padang

Judul : Pembuatan Prototipe *Dye Sensitized Solar Cell*

Berbasis Nanopori Semikonduktor TiO_2

Menggunakan Ekstrak Ketan Hitam

(*Oryza Sativa*) Sebagai Sumber *Dye*

Nama : Suwardani

NIM : 46823

Program Studi : Kimia

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2010

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	: Dr. Hardeli, M.Si	1. _____
2. Sekretaris	: Dra. Irma Mon, M.Si	2. _____
3. Anggota	: Dr. Jon Effendi, M.Si	3. _____
4. Anggota	: Drs. Rusydi Rusyid, M.A	4. _____
5. Anggota	: Dra. Da'mah Agus	5. _____

ABSTRAK

Suwardani (2010) : Pembuatan Prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* Berbasis Nanopori Semikonduktor TiO_2 Menggunakan Ekstrak Ketan Hitam (*Oryza Sativa*) Sebagai Sumber *Dye*

Dye-Sensitized Solar cell (DSSC) merupakan seperangkat sel surya yang berbasis fotoelektrokimia, yang melibatkan transfer muatan listrik dari suatu fasa ke fasa lain. Penelitian ini bertujuan untuk membuat dye-sensitized solar cell dan mengetahui nilai konversi energi surya menjadi energi listrik serta nilai efisiensi yang dihasilkannya. Pada penelitian ini digunakan semikonduktor nanopori TiO_2 yang disintesis dengan metoda sol-gel dan *dye* dari ekstrak ketan hitam (*oryza sativa*). Hasil karakterisasi XRD pada nanopori TiO_2 menunjukkan puncak difraksi yang tinggi dan tegas. Karakterisasi pada substrat kaca yang telah dilapisi TiO_2 menggunakan SEM terlihat morfologi permukaan dari lapisan TiO_2 . Pada karakterisasi absorpsi cahaya UV-VIS dari *dye* ketan hitam diketahui bahwa *dye* dapat menyerap spektrum cahaya pada panjang gelombang 533 nm. Selain itu ketika sel surya disinari dengan cahaya matahari, sel surya dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik dengan tegangan 937 mV dan arus listrik sebesar 0,468 mA untuk area aktif seluas 1x 0.6 cm. Efisiensi yang dihasilkan sudah cukup baik yaitu sebesar 0,405%.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'Alamin, Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pembuatan Prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* Berbasis Nanopori Semikonduktor TiO_2 Menggunakan Ekstrak Ketan Hitam (*Oryza Sativa*) Sebagai Sumber *Dye*”.

Penulisan skripsi ini dilakukan adalah sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

Penulis menyadari, selama pembuatan Skripsi ini penulis mendapatkan bantuan, dorongan pemikiran, pengarahan, nasehat dan bimbingan dari berbagai pihak. Sehingga, akhirnya Skripsi ini dapat diselesaikan. Untuk itu pada kesempatan ini dengan setulus hati penulis mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Dr. Hardeli M.Si selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan kemudahan dan bimbingan yang baik sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
2. Ibu Dra. Hj. Irma Mon, M.Si selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan yang baik sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
3. Bapak Drs. Rusydi Rusyid, MA, Bapak Drs. Nazir KS, M.Pd, M.Si dan Ibu Dra. Da'mah Agus selaku dosen penguji skripsi yang telah memberikan perbaikan terhadap skripsi ini.

4. Ibu Dra. Minda Azhar M.Si selaku pembimbing akademik yang telah memberikan nasehatnya agar penulis memiliki kekuatan untuk selalu optimis dalam menyelesaikan pendidikan.
5. Bapak dan Ibu Dosen serta karyawan dan karyawan di jurusan Kimia yang telah memberikan kemudahan dalam berbagai hal.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini, masih memiliki banyak kekurangan. Untuk itu, masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut, untuk kesempurnaan penelitian ini. Dan semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi ilmu pengetahuan.

Padang, Agustus 2010

Penulis,

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Perumusan Masalah	3
C. Pembatasan Masalah	3
D. Tujuan Penelitian	4
E. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)	5
B. Nanopori TiO ₂	12
C. Antosianin Dari Ketan Hitam.....	14
D. Karakterisasi Fotokatalis TiO ₂	16
Difraksi Sinar-X.....	16
SEM (Scanning Electron Microscope).....	18
E. Karakterisasi Molekul Dye.....	18
Spektrofotometer UV-Vis.....	19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian, Waktu dan Tempat	20
B. Objek Penelitian.....	20
C. Variabel Penelitian.....	20
D. Rancangan Penelitian.....	20
E. Alat dan Bahan.....	21
F. Prosedur Penelitian.....	21

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembuatan Prototipe DSSC.....	26
B. Karakterisasi Hasil Penelitian.....	29
C. Analisis Sel Surya.....	36

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan	39
B. Saran	40

DAFTAR PUSTAKA.....	41
---------------------	----

LAMPIRAN.....	43
---------------	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur <i>Dye-Sensitized Solar Cell</i>	5
2. Skema Kerja DSSC.....	10
3. Kurva arus tegangan (I-V).....	10
4. Skema Proses Fotoeksitasi dan Deeksitasi.....	12
5. Struktur Kimia Antosianin <i>Dye</i>	15
6. Adsorpsi senyawa aromatik dihidroxy ke TiO_2	15
7. Difraksi Sinar X.....	17
8. Pola Difraksi TiO_2	29
9. Analisis SEM.....	32
10. Analisis EDAX.....	33
11. Hasil Spektrum Serapan Ketan Hitam.....	35
12. Nilai Tegangan Yang Dihasilkan.....	36
13. Kurva Tegangan dan Arus Terhadap Lama Perendaman dalam <i>Dye</i>	37

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Alur Tahapan Pembuatan DSSC	43
2. Pembuatan Pasta TiO_2	44
3. Preparasi Larutan dye	45
4. Preparasi Larutan Elektrolit.....	46
5. Preparasi <i>Counter-Elektroda</i> Karbon.....	47
6. Pemasangan DSSC	48
7. Tabel Puncak Difraktogram Lapis Tipis TiO_2 P.25 Deggusa dan Perhitungan Ukuran Kristal TiO_2	49
8. Tabel Interpretasi Data Kristal TiO_2	50
9. Nilai $d(A)$ Dari Hasil Pengukuran dan Kartu Interpretasi Data Kristal Sintesis TiO_2	52
10. Hasil Analisis SEM.....	53
11. Hasil Analisis EDAX.....	54
12. Gambar DSSC.....	55
13. Gambar Saat Pengukuran Tegangan.....	56
14. Tabel Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus Terhadap Lama Perendaman Dalam <i>dye</i>	57
15. Perhitungan Nilai Efisiensi Konversi Cahaya Matahari Menjadi Energi Listrik.....	58

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Secara umum sumber energi dikategorikan menjadi dua bagian yaitu *non-renewable* energi dan *renewable* energi. Sumber energi fosil adalah termasuk kelompok yang pertama. Sebagian besar aktivitas di dunia ini menggunakan energi *non-renewable* ini. Berdasarkan data pada tahun 2003, pemakaian sumber energi di dunia didominasi oleh minyak bumi sekitar 54.4%, kemudian gas alam 26.5 %, dan batu bara sekitar 14.1 %, sedangkan *renewable energy* hanya menyumbang 0.2 %. Jumlah pemakaian *renewable energy* ini sangat kecil jika dibandingkan dengan energi fosil yang semakin berkurang. Oleh karena itu, negara-negara di dunia sedang berlomba-lomba mengembangkan energi alternatif yang *renewable*. Salah satu energi alternatif yang cukup menjanjikan adalah sel surya (solar cell) (Suherdiana, 2008).

Dye-sensitized solar cell (DSSC) merupakan sel surya yang berbasis fotoelektrokimia. Fotoelektrokimia merupakan suatu proses transfer muatan listrik dari suatu fasa ke fasa lain, yang merupakan hubungan antara perubahan kimia dan kerja listrik (Setyawan,2008). DSSC yang berbasis Sel elektrokimia merupakan sistem yang memasukkan reaksi redoks untuk menghasilkan atau menggunakan energi listrik. Sel surya ini pertama kali ditemukan oleh Michael Gratzel dan Brian O'Regan pada tahun 1991 dan dikenal sebagai Gratzel Cells. Efisiensi DSSC masih lebih rendah dari efisiensi solar sel silikon yang dapat

mencapai 17-25%. Namun demikian pembuatan sel surya silikon masih mahal dan tidak ramah lingkungan. Nilai *price to performance ratio* DSSC masih tinggi dibandingkan energi fosil, Jadi DSSC masih potensial menjadi energi alternatif. DSSC muncul seiring dengan perkembangan nanoteknologi yang beberapa tahun ke depan akan menjadi sangat penting bagi kehidupan manusia. Pada DSSC terjadi proses absorpsi cahaya oleh molekul *dye*, Molekul *dye* yang menyerap cahaya matahari tersebut akan mengalami eksitasi elektron. Elektron yang tereksitasi tersebut akan diseparasi oleh semikonduktor nanokristal anorganik yang mempunyai *band-gap* yang lebar. Salah satu semikonduktor anorganik yang mempunyai *band-gap* lebar serta sering digunakan yaitu titanium dioksida (TiO_2). Nanopartikel TiO_2 digunakan dalam penelitian ini karena selain memiliki efisiensi tinggi juga inert, tidak berbahaya, murah, dan memiliki karakteristik optik yang baik. Karakteristik lain juga dibutuhkan adalah penggunaan bahan *dye* yang mampu menyerap spektrum cahaya lebar dan cocok dengan pita energi TiO_2 yaitu 3,2 eV. (Septina,2008).

Pada penelitian ini digunakan ketan hitam (*oryza sativa*) sebagai sumber *dye*. Ketan hitam merupakan salah satu bahan organik yang bisa digunakan sebagai molekul *dye* dalam DSSC karena mengandung zat warna antosianin. Antosianin merupakan senyawa yang mampu menyerap cahaya matahari dengan baik, antosianin inilah yang menyebabkan warna merah dan ungu pada banyak buah dan bunga (Suhardiana,2008). Senyawa antosianin pada penelitian ini diperoleh dari hasil ekstraksi ketan hitam. Sebelumnya juga telah dilakukan penelitian dengan menggunakan senyawa organik yang mengandung

antosianin yaitu kol merah, kulit manggis dan buah delima. Beras ketan memiliki kandungan antosianin yang tinggi serta dapat diperoleh di banyak tempat, sehingga mudah mendapatkannya dalam jumlah banyak. Dari hasil penelitian ini diharapkan *dye* dari ketan hitam mampu menghasilkan efisiensi performansi sel surya yang tinggi.

Berdasarkan uraian di atas, maka dilakukan penelitian dengan judul **“Pembuatan prototipe *Dye-sensitized solar cell* berbasis nanopori semikonduktor TiO_2 menggunakan ekstrak ketan hitam (*oryza sativa*) sebagai sumber *dye*.”**

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah “Berapakah efisiensi DSSC berbasis nanopori semikonduktor anorganik TiO_2 dengan memanfaatkan ekstrak ketan hitam sebagai sumber *dye*?”

C. Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini masalah yang diangkat dibatasi pada aspek-aspek yaitu,

1. Variasi lama perendaman sel dalam molekul *dye*
2. Variasi konsentrasi larutan elektrolit yang digunakan
3. TiO_2 jenis P.25 Degussa
4. Ketan hitam jenis setail

D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan,

1. Pembuatan DSSC menggunakan ekstrak ketan hitam sebagai sumber *dye*.
2. Mengetahui jumlah arus listrik yang dihasilkan DSSC dan efisiensi maksimalnya.

E. Manfaat Penelitian

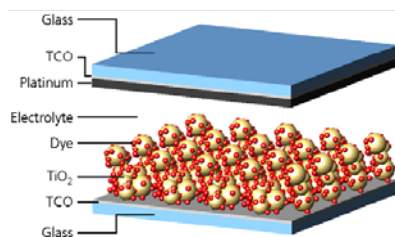
Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi sumbangan bagi ilmu pengetahuan terutama ilmu Fotokatalis untuk menemukan metode pemanfaatan energi alternatif dengan cara yang ramah lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. 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 disebut juga terobosan pertama dalam teknologi sel surya sejak sel surya silikon. DSSC adalah sel surya fotoelektrokimia, sehingga menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan. Selain elektrolit, DSSC terbagi menjadi beberapa bagian yang terdiri dari nanopori TiO_2 , molekul *dye* yang teradsorpsi di permukaan TiO_2 , dan katalis yang semuanya dideposisi diantara dua kaca konduktif, seperti terlihat pada Gambar 1 (R. Sastrawan, 2006).



Gambar 1. Struktur *Dye-sensitized Solar Cell*

Pada bagian atas dan alas sel surya merupakan *glass* yang sudah dilapisi oleh TCO (*Transparent Conducting Oxide*) biasanya SnO_2 , 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^- (iodida/triiodida). Pada permukaan elektroda dilapisi

soleh nanopori TiO_2 yang mana *dye* teradsorpsi di pori TiO_2 . Salah satu keuntungan utama teknologi DSSC dibandingkan dengan teknologi sel surya lain yaitu proses fabrikasinya yang relatif simpel, dan peralatan fasilitas yang dibutuhkan relatif mudah dan murah.

Substrat

Substrat yang digunakan pada DSSC yaitu jenis TCO (*Transparent Conductive Oxide*) yang merupakan kaca transparan konduktif. Material substrat 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 $400\text{--}500^\circ\text{C}$, dan kedua material tersebut merupakan pilihan yang cocok karena tidak mengalami *defect* pada range temperatur tersebut (Septina, 2007).

Nanopori TiO_2

Penggunaan oksida semikonduktor dalam fotoelektrokimia dikarenakan kestabilannya menghadapi fotokorosi. Selain itu lebar pita energinya yang besar ($> 3\text{eV}$), dibutuhkan dalam DSSC untuk transparansi semikonduktor pada sebagian besar spektrum cahaya matahari. 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 teradsorp yang implikasinya akan menaikkan jumlah cahaya yang terabsorb.

Dye

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. Namun *dye* jenis ini cukup sulit untuk disintesa dan ruthenium complex komersil berharga mahal. Alternatif lain yaitu penggunaan *dye* dari buah-buahan, khususnya *dye* antosianin.

Elektrolit

Elektrolit yang digunakan pada DSSC terdiri dari pasangan redoks dalam pelarut yaitu I^- dengan I_3^- . 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.

Katalis Counter-Elektroda

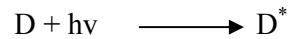
Katalis dibutuhkan untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodida pada TCO. Platina, material yang umum digunakan sebagai katalis pada berbagai aplikasi, juga sangat efisien dalam aplikasinya pada DSSC. Walaupun mempunyai kemampuan katalitik yang tinggi, platina merupakan material yang mahal. Sebagai alternatif, Kay & Gratzel mengembangkan desain DSSC dengan menggunakan *counter-elektroda* karbon sebagai lapisan katalis. Karena luas permukaannya yang tinggi, *counter-elektroda* karbon mempunyai keaktifan reduksi triiodida yang menyerupai elektroda platina (Septina, 2007).

Fabrikasi DSSC

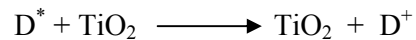
Fabrikasi DSSC dilakukan dengan menggabungkan dua kaca TCO dengan lapisan yang berbeda membentuk struktur *sandwich*, yaitu elektroda dan counter-elektroda yang dilapisi katalis. Kay dan Gratzel mengembangkan tiga lapisan struktur sel *monolithic* untuk mengadaptasi proses produksi sel surya lapisan tipis sehingga lebih mudah mencapai tahap komersialisasi. Pada struktur *monolithic*, semua lapisan dari sel dideposisikan masing-masing pada satu kaca yang dilapisi TCO, sedangkan satu kaca lain yang berlawanan berfungsi sebagai pelindung dan elektroda lawan (Septina, 2007).

Cara kerja

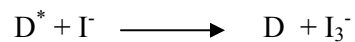
Pada dasarnya prinsip kerja dari DSSC merupakan reaksi dari transfer elektron. Proses pertama dimulai dengan terjadinya eksitasi elektron pada molekul *dye* akibat absorpsi foton. Elektron tereksitasi dari *ground state* (D) ke *excited state* (D^{*}) (R. Sastrawan, 2006).



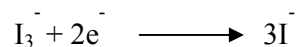
Elektron dari *excited state* kemudian langsung terinjeksi menuju *conduction band* (E_{CB}) titania sehingga molekul *dye* teroksidasi (D^+).



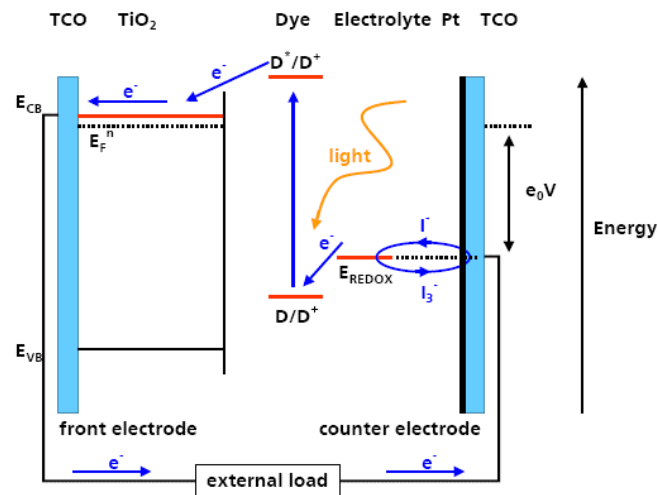
Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I^-) maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi.



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 iodida (I^-).



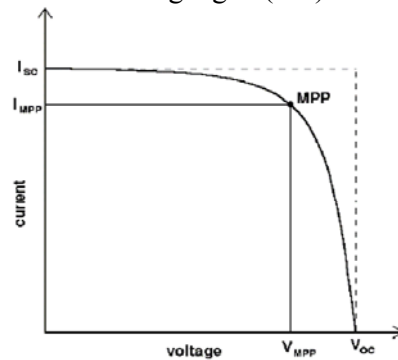
Iodida ini digunakan untuk mendonor elektron kepada *dye* yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron. Dengan siklus ini terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik.



Gambar 2. Skema Kerja dari DSSC (R. Sastrawan, 2006)

Performansi Sel Surya

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



Gambar 3. kurva arus tegangan (Halme, 2002)

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).

Efisiensi

Tingginya efisiensi konversi energi surya menjadi listrik pada DSSC merupakan daya tarik berkembangnya riset mengenai DSSC, selain dari proses produksi yang simpel dan biaya produksi yang murah.

Konversi energi matahari menjadi energi listrik menghasilkan arus listrik dan tegangan. Nilai arus listrik dan tegangan ini dapat diukur dengan menggunakan suatu alat yang disebut multimeter digital. Sedangkan besarnya efisiensi sel surya yang dihasilkan dapat dihitung menurut hubungan:

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

$P_{\max}$ adalah daya maksimum yang dihasilkan oleh sel surya dan P_{in} adalah daya sumber cahaya yang digunakan. P_{in} dapat bersumber dari matahari dengan intensitas sekitar 1000 W/m^2 atau 100 mW/cm^2 . Daya maksimum diberikan oleh hubungan:

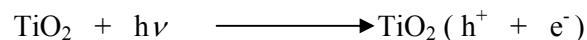
$$P_{\max} = V_{\max} \cdot I_{\max}$$

Dengan $V_{\max}$ adalah tegangan maksimum yang dihasilkan sel surya dan $I_{\max}$ merupakan arus maksimum yang dihasilkan (Maddu,2007). Dari nilai η yang dihasilkan inilah kita bisa mengetahui bagus atau tidaknya konversi energi yang dihasilkan sehingga bisa dijadikan sebagai solusi energi alternatif.

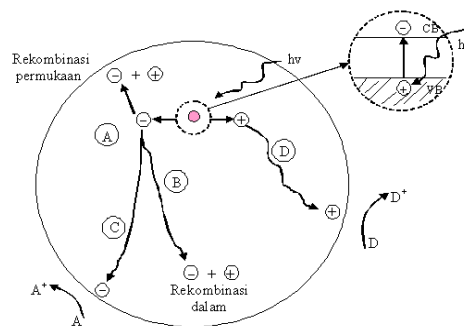
B. Nanopori TiO₂

Di alam umumnya TiO₂ mempunyai tiga fasa yaitu rutil, anatase, dan brookite. Fasa rutil dari TiO₂ 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 TiO₂ 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 rutil diatas 35 nm (Septina, 2007)

Fotokatalisis TiO₂ telah banyak dipakai untuk mengatasi masalah-masalah lingkungan seperti detoksifikasi udara dan air. Sebagai semikonduktor, TiO₂ mempunyai celah pita (*band gap*) sebesar 3,2 eV yang bila disinari dengan sinar UV berenergi > 3,2 eV atau pada panjang gelombang < 388 nm akan menghasilkan pasangan elektron (e⁻) dan hole (h⁺), seperti pada persamaan berikut:

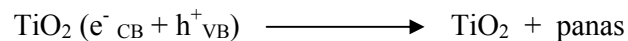


Proses fotoeksitasi dan deeksitasi fotokatalis TiO₂ dapat dilihat pada Gambar 4 berikut:

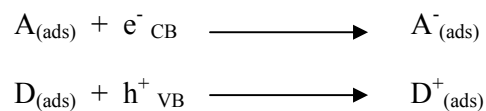


Gambar 4. Skema proses fotoeksitasi dan deeksitasi (Linsebigler, et al., 1995)

Bila partikel TiO_2 disinari UV, maka elektron pada pita valensi (*valence band*, VB) akan mengadsorpsi sinar tersebut dengan energi $\geq$ band gap TiO_2 . Energi tersebut digunakan untuk berpindah ke pita konduksi (*conduction band*, CB) dan meninggalkan hole positif pada VB . Pasangan elektron-hole yang terbentuk sebagian berekombinasi di dalam partikel (jalur B), sebagian lagi berekombinasi di permukaan partikel (jalur A), dan sebagian lagi sampai ke permukaan partikel tanpa mengalami rekombinasi. Reaksi rekombinasi pasangan e^- / h^+ dapat dilihat pada persamaan berikut ini (Linsebigler, et. al., 1995 :740).



Elektron yang sampai ke permukaan partikel (jalur C) akan mendominasi dirinya kepada molekul teradsorpsi di permukaan (molekul yang teradsorpsi), sedangkan hole yang sampai ke permukaan (jalur D) akan menarik elektron dari molekul yang ada di permukaan partikel (mengoksidasi molekul tersebut).



Semikonduktor TiO_2 merupakan semikonduktor yang paling sesuai untuk aplikasi lingkungan secara luas. Menurut Hoffman et., al. (Septina ,2008) keunggulan TiO_2 dibandingkan fotokatalis semikonduktor lainnya adalah sebagai berikut,

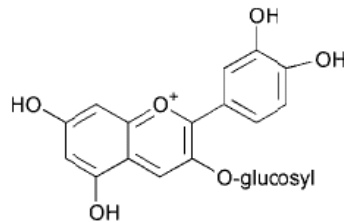
- Mempunyai celah pita (band gap) yang besar (3,2 eV untuk anatase dan 3,0 eV untuk rutile), sehingga memungkinkan banyak terjadinya eksitasi elektron ke pita konduksi dan pembentukan hole pada pita valensi saat diinduksi cahaya UV.
- TiO_2 mempunyai sifat stabil terhadap cahaya (fotostabil)
- Mampu menyerap sinar UV dengan baik.
- Bersifat inert dalam reaksi.
- Tidak beracun dan tidak larut dalam kondisi eksperimen.
- Memiliki kemampuan oksidasi yang tinggi, termasuk zat organik yang sulit terurai seperti haloaromatik, polimer, herbisida dan pestisida.
- Konsumsi energi yang rendah sehingga biaya yang diperlukan juga rendah.

C. Antosianin Dari Ketan Hitam

Molekul *dye* dalam desain sel surya *dye*-Sensitized solar cell (DSSC) berperan sebagai pompa elektron molekular. *Dye* menyerap cahaya tampak, memompa sebuah elektron ke dalam semikonduktor, menerima elektron dari pasangan redoks dalam larutan, dan seterusnya berulang dalam suatu siklus. *Dye* atau zat warna identik dengan adanya gugus yang menghasilkan warna yang disebut sebagai kromofor. *Dye* yang digunakan adalah yang mengandung gugus kromofor terkonyugasi sehingga memungkinkan terjadinya transfer elektron.

Antosianin merupakan senyawa yang menyebabkan warna merah dan ungu pada banyak buah dan bunga. Salah satu pigmen cyanin yang memegang peranan

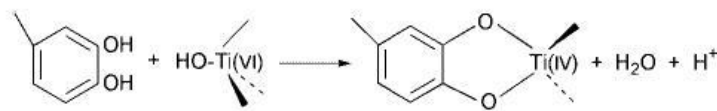
penting dalam proses absorpsi cahaya yaitu *cyanidin 3-O- β -glucoside*, struktur kimianya ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur Kimia Antosianin Dye (Septina,2007)

Dari struktur dapat diketahui bahwa pigmen antosianin memiliki cukup banyak ikatan π terkonyugasi. Ikatan π ini berguna untuk menangkap foton dari cahaya matahari yang mengenai sampel. Daerah yang paling berguna dari spektrum UV adalah daerah dengan panjang gelombang di atas 200 nm yaitu daerah transisi π ke π^* untuk senyawa dengan ikatan rangkap terkonyugasi serta beberapa transisi n ke σ^* dan n ke π^* (Fessenden, 1990:440).

Saat molekul *dye* ini berinteraksi dengan TiO_2 terjadi adsorpsi cyanidin ke permukaan TiO_2 , menggantikan OH^- dari struktur Ti(IV) yang berkombinasi dengan proton dari grup cyanidin (Septina,2007), seperti terlihat skemanya pada Gambar 6.



Gambar 6. Adsorpsi Senyawa cyanidin ke TiO_2 .

Beras hitam mengandung pigmen yang berkhasiat meningkatkan daya tahan tubuh terhadap penyakit, memperbaiki kerusakan sel hati, mencegah gangguan fungsi ginjal, mencegah kanker dan tumor serta memperlambat penuaan dini. Beras yang berwarna putih agak transparan hanya memiliki sedikit aleuron.

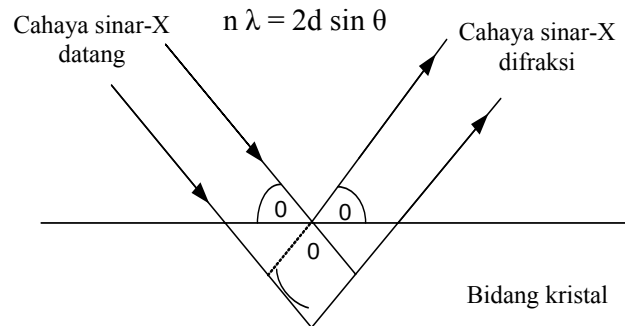
Beras merah, aleuron dan endospermianya mengandung gen yang memproduksi antosianin yang merupakan sumber warna merah atau ungu. Pada beras hitam aleuron dan endospermianya memproduksi antosianin dengan intensitas tinggi sehingga berwarna ungu pekat mendekati hitam (Suardi, 2009). Berdasarkan banyaknya kandungan antosianin, beras ketan hitam dapat digunakan sebagai molekul *dye* yang akan mengkonversi energi surya menjadi energi listrik.

D. Karakterisasi Fotokatalis TiO_2

Karakterisasi katalis dilakukan untuk mengetahui data spesifik dari katalis TiO_2 yang terbentuk. Karakterisasi yang dilakukan pada semikonduktor ini adalah XRD dan SEM/EDAX. Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui struktur kristal, ketebalan, morfologi permukaan, komposisi unsur, dan keaktifan DSSC.

Difraksi Sinar - X

Sibilia, (1988) menyatakan bahwa difraktometer sinar-X adalah suatu alat yang dapat digunakan untuk melihat difraktogram (pola difraksi sinar-X) suatu padatan kristal yang bila diberi sinar-X. Suatu kristal memiliki bidang yang dibentuk oleh atom-atom yang tertata secara teratur. Sinar-X yang mengenai bidang tersebut didifraksikan dengan sudut tertentu akan memiliki jarak antar bidang tertentu (d) dan sudut difraksi tertentu (2θ). Hubungan antar panjang gelombang sinar-X (λ) pada bidang kristal dengan jarak antar bidang (d) dan sudut difraksi (θ), tingkat difraksi (n), proses yang terjadi dijelaskan oleh Gambar 7 berikut:



Gambar 7. Difraksi sinar X (West:1989)

The Joint Committee on Powder Diffraction Standards telah mempublikasikan pola difraksi bubuk lebih kurang 50.000 senyawa. Senyawa yang tidak dikenal diidentifikasi dengan membandingkan jarak interplanar dan intensitas pola bubuk untuk pola dalam file difraksi bubuk. Jika data fluorescence sinar X yang mendeskripsikan komposisi unsur ditambahkan, jumlah pola bisa direduksi. Pencarian sistematis dengan komputer biasanya berperan untuk identifikasi selama satu jam. Campuran yang dinaikkan menjadi sembilan senyawa bisa sering diidentifikasi secara lengkap.

Selanjutnya untuk mengidentifikasi senyawa dalam bentuk bubuk, analisa pola difraksi juga bisa digunakan untuk menentukan ukuran kristal, derajat kristalinitas dari materi yang dipadatkan secara cepat, komposisi fasa daerah permukaan transformasi keramik yang dikuatkan dan penggabungan parameter lainnya dengan materi kristalin. Komposisi fasa telah ditentukan secara kuantitatif dengan program line least square yang mengizinkan pemisahan puncak yang overlap.

SEM (Scanning Electron Microscope)

Sibilia (1988) mengungkapkan bahwa SEM digunakan untuk menyelidiki atau mengungkapkan topografi benda padat. Alat ini jauh lebih unggul dari pada mikroskopi transmisi elektron atau optikal. Resolusi dari SEM ini adalah 3 nm, kira-kira dua kali lebih besar daripada mikroskop optikal dan satukali lebih kecil daripada mikroskop transmisi elektron sehingga SEM memiliki perbedaan antara dua teknik lainnya.

Prinsip dari SEM ini ialah elektron mengisi areal kosong yang difokuskan dengan lensa elektromagnetik pada permukaan bahan. Spesies disinkronkan dengan tabung sinar katoda yang ditunjukkan atau ditampilkan pada layar, ketidakelastisan emisi elektron terpengaruh dari permukaan sampel dan bersatu dengan gemerlapan dari signal yang digunakan untuk mengatur kecermerlangan dari tabung sinar katoda. Kamera memberikan catatan *image* yang akan ditampilkan pada layar skematik (bagan) dari SEM.

Aplikasi dari SEM ini digunakan untuk mempelajari fiber (serat) materi, keramik, campuran, logam, katalis, polimer dan materi biologi. Untuk mendapatkan informasi dengan pemeriksaan pada permukaan materi yang alami. SEM pada sampel TiO_2 untuk mengetahui ukuran partikel dan struktur nanopori material TiO_2 (Tjahjanto, 2001).

E. Karakterisasi molekul *dye*

Karakterisasi UV-Vis pada molekul *dye* untuk mengetahui adanya ikatan rangkap terkonjugasi pada senyawa.

Spektrofotometer UV – VIS

Spektrofotometer Ultra Violet dan Sinar Tampak (UV/VIS) adalah sejenis peralatan yang digunakan untuk mengukur serapan molekul organik/anorganik yang diberikan sumber tenaga Ultra Violet dan sinar tampak. Identifikasi dengan spektroskopi ultraviolet bertujuan untuk mengetahui adanya ikatan rangkap terkonjugasi yang terdapat dalam suatu molekul. Daerah panjang gelombang dari spektrum ultraviolet berkisar antara 200-400 nm. Spektrum ultraviolet dari senyawa organik berhubungan dengan transisi elektron dari tingkat energi yang lebih rendah ke tingkat energi yang lebih tinggi. Transisi umumnya terjadi antara orbital ikatan atau orbital pasangan elektron sunyi (n) dengan orbital anti ikatan yang tak terisi elektron (Sastrohamidjojo, 1991:11). Daerah yang paling berguna dari spektrum UV adalah daerah dengan panjang gelombang di atas 200 nm yaitu daerah transisi π ke π^* untuk senyawa dengan ikatan rangkap terkonjugasi serta beberapa transisi n ke σ^* dan n ke π^* (Fessenden, 1990:440).

Profil absorpsi dari *dye* dianalisa dengan menggunakan UV-VIS Spektrometer dengan instrumen U-1800 Spectrophotometer. Panjang gelombang cahaya yang digunakan yaitu antara 1000-190 nm, lebar slit 4nm, dengan kecepatan scan 200nm/menit.

Panjang Gelombang UV = 190 – 380 nm dan panjang Vis = 380 – 750 nm. Spektrum UV biasanya diukur dalam larutan sangat encer dan pelarut harus tidak menyerap pada panjang gelombang dimana dilakukan pengukuran. Pelarut yang biasa digunakan adalah etanol 95%, metanol p.a, air, dan heksana (Sudjadi, 1983:180).

BAB V

PENUTUP

A. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam penelitian ini telah berhasil dilakukan pembuatan prototipe *dye-sensitized solar cell* (DSSC) dengan menggunakan kombinasi bahan anorganik TiO_2 dan bahan organik dari ekstrak ketan hitam.
2. Ketan hitam sebagai sumber *dye* antosianin yang digunakan dapat mengkonversi energi surya dari cahaya matahari menjadi energi listrik. Dengan nilai tegangan maksimum yang dihasilkan 0,9 V dan Arus maksimum sebesar 0,450 mA. Efisiensi yang dihasilkan oleh sel surya sebesar 0,405 %.

B. SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan ini maka penulis menyarankan,

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pemasangan sel sehingga diperoleh desain yang optimal untuk menjaga performansi DSSC.
2. Agar dilakukan penelitian khusus tentang sifat-sifat yang dimiliki masing-masing komponen DSSC sehingga dapat mendukung penelitian untuk mendapatkan nilai efisiensi maksimum dari sel surya.
3. Masih perlu dilakukan penelitian-penelitian DSSC dengan memvariasikan desain sel untuk menghasilkan desain yang sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

- Benedix,R., et al. 2000. “*FTIR Application of Titanium Dioxide Photocatalysis to Create Self-Cleaning Building Materials*”. Applied Catalysis B: Enviromental. 5,157-167. diakses Tanggal 5 November 2009 .
- Fessenden & Fessenden. 1994. (Aloysius Hadyana Pudjaatmaka:penterjemah). “*Kimia Organik*”. Jakarta: Erlangga
- Green, M. A. 2009. “*Solar Cell Efficiency Tables (Version 33)*”. Prog. Photovolt: Res. Appl., 17:85–94.
- Indrasari, Siti .2009. “*Beras untuk Penderita Diabetes*”. Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian vol.31/02. Balai besar penelitian tanaman padi. Subang.
- J. Halme. 2002. “*Dye Sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cells : technical review and preliminary tests*”. Master Thesis of Helsinki University of Technology.
- Linseibigler, A. L., Lu Guangguan and Yates Jr, J. T. 1995. “*Photokatalysis on TiO₂ Surface: Principles, Mechanisms, and Selection Result*”. Chem,Rev., 95, 735-758,1995. diakses tanggal 8 Mei 2010.
- Maddu, Akhiruddin.,Mahfuddin Zuhri, dan irmansyah. 2007. “*Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah sebagai Fotosensitizer pada Sel Surya TiO₂ Nanokristal Tersensitisasi Dye*”. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- R. Sastrawan. 2006. “*Photovoltaic modules of dye solar cells*”, Disertasi University of Freiburg.
- Sastrohamidjojo. H. 1991. “*Spektroskopi*”. Liberty: Yogyakarta
- Septina, Wilman. 2007. “*Pembuatan Solar Cell Murah Dengan Bahan Organic-Inorganik (Dye-Sensitized Solar Cell)*”. Diakses tanggal 15 Oktober 2008.
- Setyawan, Heru. 2008. “*Teknik Reaksi Elektrokimia, GagasanSederhana Elektrokimia*”. JurusanTeknik KimiaFTI –ITS. Diakses tanggal 23 januari 2010.
- Sibilia, Jhon.P. 1988. “*A Guide to Materials Characterization and Chemical Analysi*”. VCH Publishers. New York