

KARAKTERISASI EKSTRAK TEH HITAM DAN TINTA CUMI-CUMI SEBAGAI FOTOSENSITISER PADA SEL SURYA BERBASIS PEWARNA TERSENSITISASI

Rachmawati Ningsih¹, Erna Hastuti²

¹Jurusan Kimia, ²Jurusan Fisika UIN MALIKI Malang

Email : ¹rachmawati_ningsih@yahoo.com, ²ernahastuti19@gmail.com

ABSTRACT

*One of the alternative energy potential to be developed to overcome energy crisis in the world is an organic solar cells. In this research has been conducted by making a series of Dyes Sensitized Solar Cells (DSSC) using an organic dye from crude extracts of black tea (*Camellia sinensis*) and ink cuttlefish (*Sepia acuelata*). Solar cell system consisting of crystalline TiO₂, glass conductors, dyes, a electrolyte solution I/I₃⁻ and carbon electrodes. TiO₂ crystals were characterized using X-ray diffraction. Crude extracts of black tea and cuttlefish ink absorption wavelength was analyzed using UV-Vis spectrophotometer. The series of solar cells are measured values of voltage and electric current.*

The results of X-ray diffraction showed that crystalline TiO₂ including anatase crystalline phase and a crystal size is 2.6 nm. The results of UV-Vis spectra of crude extracts of black tea and cuttlefish ink shows the absorption wavelength range in a row of 232-240 nm and 203-207 nm.

Large solar cell power supply voltage without soaking, in a room without light and under a halogen lamp is 0.014 Volt and 0.023 Volt. Large voltage solar cells soaked in crude extracts of black tea for 1 hour at room without light and under a halogen lamp is 0.364 Volt and 0.401 Volt. While that is soaked for 2 weeks is 0.113 Volts and 0.18 Volts.

Keywords: *dye sensitized solar cells (DSSC), TiO₂ crystal, black tea, cuttlefish ink.*

A. PENDAHULUAN

Upaya pengembangan sel surya sebagai solusi alternatif krisis energi dunia merupakan hal yang perlu dan penting untuk dilakukan, mengingat sumber energi sel surya yang melimpah dan terbaharukan. Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi sangat besar, yaitu mencapai 3×10^{24} joule per tahun. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Jadi dengan menutup 0,1 % permukaan bumi dengan sel surya yang memiliki efisiensi 10 %, sudah mampu untuk menutupi kebutuhan

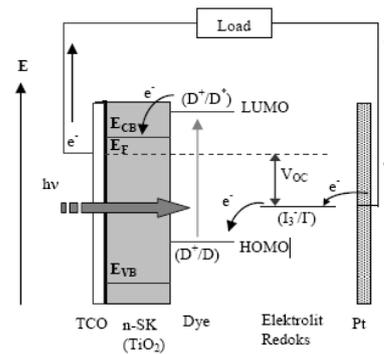
energi di seluruh dunia (Yulianto, 2006 dalam Hardian, dkk, 2010).

Secara garis besar sel surya dibagi menjadi dua bagian berdasarkan material yang digunakan untuk menyerap cahaya matahari, yaitu sel surya anorganik dan organik (Gratzel, 2003). Sel Surya Anorganik (*Inorganik solar cell*) menggunakan bahan anorganik untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh matahari. Biasanya menggunakan silikon sebagai material yang menangkap foton yang dipancarkan oleh matahari. Sel Surya Organik (*Organik Solar cell*) menggunakan material organik atau

dye untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh sumber matahari. Material organik yang digunakan diperoleh dari pigmen tumbuhan, karoten, antosianin, klorofil, dan lain sebagainya. Pewarna (*dye*) yang digunakan dapat berlapis tunggal atau lebih. Hingga saat ini penggunaan pewarna (*dye*) secara berlapis masih terbatas. Sistem kerja sel surya organik meniru sistem kerja fotosintesis.

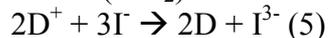
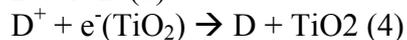
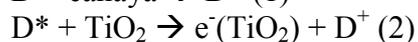
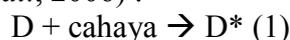
Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT) tersusun dari beberapa bahan, diantaranya yaitu zat warna (*dye*) yang berfungsi sebagai penyerap radiasi matahari dan semikonduktor celah lebar seperti TiO_2 sebagai transport pembawa muatan. Penelitian tentang sel surya organik dengan menggunakan variasi sumber zat warna alami telah banyak dilakukan, kebanyakan zat warna diekstrak dari bagian-bagian tanaman, diantaranya yaitu kembang sepatu, buah delima, kulit manggis, klorofil alga dan kulit kayu tingi (Kartini, 2009). Tapi penelitian yang mengkaji potensi zat warna pada sumber nabati dan sumber hewani sebagai bahan sel surya organik, sepengetahuan penulis belum pernah dilakukan sebelumnya. Pada penelitian ini dilakukan karakteristik senyawa zat warna hitam dari ekstrak teh hitam (*Camellia sinensis*) dan tinta cumi-cumi (*Sepia officinal*) sebagai bahan pembuatan sel surya organik.

Prinsip kerja sel surya TiO_2 tersensitisasi *dye* ditunjukkan secara skematik pada Gambar 1, sedangkan urutan proses yang terjadi di dalam sel surya dirangkum pada persamaan (1-5). *Dye* (D) menyerap sebuah foton mengakibatkan elektron tereksitasi dari level HOMO ke LUMO pada molekul *dye*.



Gambar 1 Skema Kerja Sel Surya Pewarna Tersensitisasi

Dye tereksitasi (D^*) menginjeksi sebuah elektron ke dalam pita konduksi (CB) semikonduktor (TiO_2) yang berada sedikit lebih tinggi daripada level konduksi TiO_2 . Elektron tersebut melintas melewati partikel-partikel TiO_2 menuju kontak belakang berupa lapisan konduktif transparan ITO (*Indium Tin Oxide*), selanjutnya ditransfer melewati rangkaian luar menuju elektroda lawan. Elektron masuk kembali ke dalam sel dan mereduksi sebuah donor teroksidasi (I) yang ada di dalam elektrolit. *Dye* teroksidasi (D^+) akhirnya menerima sebuah elektron dari donor tereduksi (I^{3-}) dan tergenerasi kembali menjadi molekul awal (D). Rangkaian reaksi kimia di dalam sel adalah sebagai berikut (Li, *et. al.*, 2006) :



Tegangan yang dihasilkan oleh sel surya nanokristal tersensitisasi *dye* berasal dari perbedaan tingkat energi konduksi elektroda semikonduktor TiO_2 dengan potensial elektrokimia pasangan elektrolit redoks (I/I^{3-}). Sedangkan arus yang dihasilkan dari sel surya ini terkait langsung dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses

konversi dan bergantung pada intensitas penyinaran serta kinerja *dye* yang digunakan (Li, *et. al.*, 2006).

Salah satu kekurangan dari sel surya fotoelektrokimia ini adalah stabilitasnya yang rendah, terutama akibat degradasi dan kebocoran pada elektrolit cair yang digunakan. Oleh karena itu, akhir-akhir ini pengembangan penelitian sel surya fotoelektrokimia 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, *et. al.*, 2006) atau berbasis bahan organik atau anorganik sebagai konduktor *hole* (Lancelle, *et. al.*, 2006).

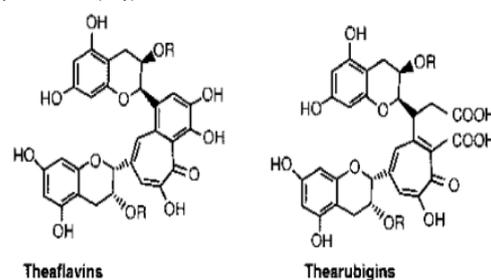
1. Struktur Warna Teh Hitam

Teh hitam diperoleh melalui proses fermentasi. Dalam hal ini fermentasi tidak menggunakan mikrobia sebagai sumber enzim, melainkan dilakukan oleh enzim polifenol oksidase yang terdapat di dalam daun teh itu sendiri. Pada proses ini, katekin (flavanol) mengalami oksidasi dan akan menghasilkan tearubigin.

Teaflavin adalah senyawa yang memberikan karakteristik warna dan rasa pada teh hitam. Teaflavin berwarna oranye sedangkan tearubigin berwarna merah kecoklatan (Scharbert, Holzmann, Hofmann, 2004). Teh hitam juga terdiri dari senyawa lain yaitu Tearubigin tetapi sedikit yang mengetahui tentang kegunaannya (Bode, Ann M. dan Dong, Zigang, 2003). Teaflavin berkontribusi pada *briskness* serta kecerahan dari teh hitam, sementara tearubigin berkontribusi pada warna dan rasa,

dan kafein memberikan efek stimulasi dari teh hitam (Balentine dan Bouwens, 1997). katekin teh teroksidasi untuk membentuk oligomer flavanol, termasuk teaflavin, tearubigin, dan oligomer lainnya. Teaflavin termasuk campuran teaflavin (TF-1), teaflavin-3-gallate (TF-2a), teaflavin-3-gallate (TF-2b), dan teaflavin-3, 3-digallate (TF-3) (Lin, *et.al.*, 2000). Senyawa polifenol pada teh hitam ditunjukkan pada gambar 2.

Major black tea polyphenols



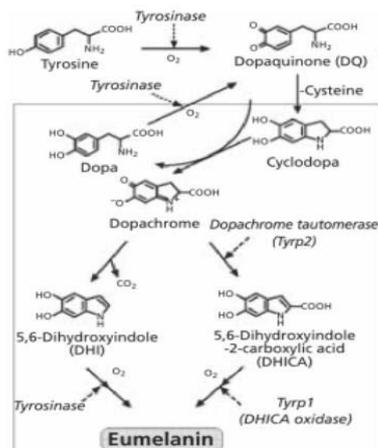
Gambar 2. Senyawa Polifenol Utama Pada Teh Hitam

2. Struktur Zat Warna Tinta Sotong

Tinta sotong pada umumnya mengandung senyawa kimia tirosinase yang dapat merusak indra pembau dan perasa predator. Tinta cephalopoda juga mengandung neurotransmitter dopamin (DA) dan L-dopa. Menurut beberapa penelitian, senyawa tersebut dapat berfungsi memberikan rangsang cephalopoda lain dalam kehadiran predator. Tiap-tiap jenis cephalopoda memproduksi tinta yang berbeda, pada umumnya, jenis *octopuses* memproduksi tinta yang hitam, jenis *squid* memiliki tinta yang berwarna biru kehitaman dan jenis *cuttlefish* memiliki tinta berwarna coklat (Anonymous₄, 2011).

Penelitian Magareli *et. al.*, 2010 menjelaskan, bahwa melanin pada sotong *Sepia Officinalis* mengandung

98% eumelanin. Eumelanin tersebut merupakan polimer yang terdiri atas 20% kopolimer 5,6-dihidroksiindol (DHI) dan 75% pasang kopolimer 5,6-dihidroksiindol-2-asam karboksilat (DHICA). Berikut biosintesis eumelanin (Nordlund, 2006). Biosintesis eumelanin ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Biosintesis Eumelanin

B. BAHAN DAN METODE

1. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi substrat kaca berlapis bahan *Transparent Conductive Oxide* (TCO), koloid TiO_2 (TiNano 40), Iodolyte (TG-50), Polietilen Glikol 400 (PEG 400), asetilaseton, etanol, metanol, asam asetat, aseton, kloroform, teh hitam, tinta sotong dan pensil 2B. Peralatan yang digunakan antara lain multimeter, Magnetic Stirrer Hotplate, Scotch (3M) tape, batang gelas (*glass stirring rod*), neraca Ohaus 311, kertas tisu, filter, mortar, pH Indikator Acilit (pH 0-6), Lampu Halogen 24 Watt, Spektrofotometer UV-Vis, Difraksi Sinar-X.

2. Pembuatan Elektroda TiO_2

Larutan TiO_2 dibuat dengan menambahkan larutan suspensi PVA

sampai terbentuk pasta. Suspensi PVA dibuat dengan menambahkan Polyvinyl Alcohol (PVA) sebanyak 10% berat ke dalam air kemudian diaduk pada temperatur 80°C . Suspensi tersebut ditambahkan pada bubuk TiO_2 sebanyak kurang lebih 10% volume kemudian diaduk sampai merata. Derajat viskositas dari pasta diatur supaya didapatkan pasta yang optimal. Jika diperlukan, ditambahkan air pada campuran PVA dan TiO_2 . Selanjutnya dilakukan deposisi TiO_2 pada substrat kaca berlapis TCO dengan teknik *casting*. Sebelumnya substrat TCO terlebih dahulu dicuci dengan sabun dan dibilas dengan etanol dan aseton. Selanjutnya pada ke dua sisi TCO yang berhadapan ditutup dengan selotip scotch (3M) sekitar 5 mm dan pada kedua sisi lainnya ditutup sekitar 3 mm, sehingga bagian TCO yang dikosongkan seluas 1 cm^2 . Setelah itu larutan koloid TiO_2 didistribusikan secara merata di atas substrat kaca TCO dengan batang gelas. Kemudian di keringkan di udara dan scotch tape dibuka, selanjutnya dipanaskan pada suhu 130°C selama 25 menit.

3. Ekstraksi Maserasi Teh Hitam (*Camellia sinensis*)

Sampel teh hitam yang halus ditimbang sebanyak 100 gram dimasukkan kedalam erlenmeyer, kemudian direndam dengan campuran pelarut 42 mL aquades, 50 mL metanol 95%, dan 8 mL asam asetat p.a dalam erlenmeyer dan diaduk dengan menggunakan *shaker* dengan kecepatan 120 rpm (*rotation per minutes*) selama 5 jam (Hartini, 2004). Ekstraksi dilakukan pada erlenmeyer yang bagian luarnya telah dilapisi aluminium foil. Kemudian larutan ekstrak teh hitam disaring. Hasil yang didapat

dipindahkan pada botol gelap dan terhindar dari sinar matahari.

4. Ekstraksi Maserasi Tinta Sotong (*Sepia acuelata*)

Ekstraksi dibuat dengan mengambil kantong tinta sotong (*Sepia acuelata*) dan memasukkan tintanya ke dalam wadah. Ekstrak tersebut dimasukkan kedalam erlenmeyer berbeda kemudian diaduk dengan menggunakan *shaker* dengan kecepatan 250 rpm (*rotation per minutes*) selama 1 jam kemudian didiamkan selama 24 jam. Ekstraksi dilakukan pada gelas beker yang bagian luarnya telah dilapisi aluminium foil. Kemudian larutan ekstrak tinta sotong (*sepia acuelata*) disaring. Ekstrak yang didapat dipindahkan pada botol gelap agar terhindar dari sinar matahari.

5. Pembuatan Elektrolit Gel Polimer

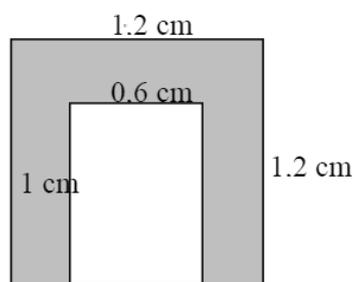
Larutan elektrolit iodide/triiodide dibuat dengan prosedur berikut :

- Sebanyak 0,8 gram kalium iodida (KI) dilarutkan ke dalam 10 mL asetonitril, kemudian diaduk
- Sebanyak 0,127 gram Iodin (I_2) ditambahkan ke dalam larutan tersebut, kemudian diaduk sampai rata
- Larutan disimpan dalam botol tertutup

Elektrolit padat yang digunakan berbasis polimer PEG (polyethylene glycol) dengan berat molekul (BM) 400. Sebanyak 7 g PEG dilarutkan dengan 25 mL kloroform hingga membentuk gel, selanjutnya dimasukkan beberapa tetes larutan yang mengandung elektrolit redoks I^-/I_3^- . Campuran tersebut diaduk dengan pengaduk magnetik sambil dipanaskan pada suhu 80°C selama satu jam hingga homogen dan membentuk gel.

6. Pembuatan dan pengujian *Dye Sensitized Solar Cell* dengan *dye* ekstrak teh hitam dan tinta sotong

TCO dipotong menjadi ukuran $1,2 \times 1,2$ cm dibentuk area tempat TiO_2 dideposisikan dengan bantuan *Scotch tape* pada bagian kaca yang konduktif sehingga terbentuk area sebesar $1 \times 0,6$ cm dengan ilustrasi seperti pada Gambar 4. *Scotch tape* juga berfungsi sebagai pengatur ketebalan pasta TiO_2 .



Gambar 4. Ilustrasi Skema Area Deposisi Pasta

Pasta TiO_2 dilapiskan pada kaca TCO dengan pelapisan teknik *doctor blade* yaitu dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakan pasta TiO_2 lalu lapisan dikeringkan dengan cara dianginkan selama 15 menit dan dibakar pada suhu 130°C selama 30 menit.

Kemudian kaca TCO berlapis TiO_2 direndam dalam ekstrak pewarna (*dye*) pada sebuah cawan petri dengan variasi perendaman 1 jam dan 2 minggu. Setelah kaca TCO direndam, kemudian dicuci menggunakan aquades dengan menggunakan pipet tetes dan dicuci kembali dengan menggunakan metanol, lalu dikeringkan dengan tissue (Pancaningtyas dan Akhlus, 2009).

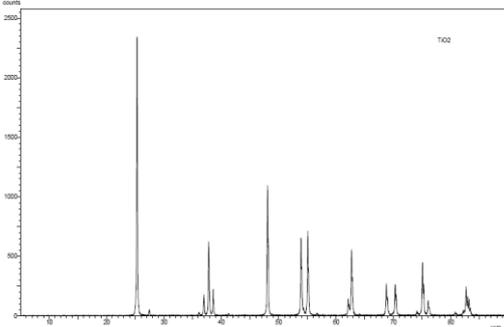
Elektroda kerja berlapis TiO_2 yang telah dibuat kemudian diletakkan diatas meja dengan posisi kaca TCO yang terlapis TiO_2 di

bagian atas. Elektroda kerja tersebut kemudian ditempelkan dengan elektroda pembanding (*counter electrode*) secara berhadapan. Di antara kedua elektroda diteteskan larutan elektrolit.

Sumber karbon didapatkan dari graphite pensil. Graphite diarsirkan ke TCO pada bagian konduktifnya kemudian dipanaskan pada temperatur 450 °C selama 10 menit agar graphite membentuk kontak yang baik antara partikel karbon dengan TCO.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Senyawa TiO₂ hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan instrumen Difraksi Sinar X di Laboratorium IBID ITS (Institut Teknologi Sepuluh November) Surabaya. Hasil karakterisasi XRD ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Hasil Karakteristik Difraktogram TiO₂

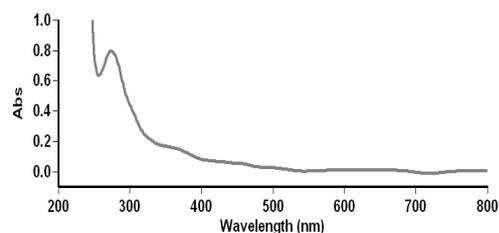
Grafik menunjukkan bahwa TiO₂ memiliki intensitas yang tinggi. Hal ini menunjukkan TiO₂ memiliki derajat kristalinitas yang tinggi sehingga proses difusi elektron akan lebih cepat sehingga proses transfer elektron secara keseluruhan dalam SSPT lebih tinggi sehingga dapat meningkatkan efisiensinya. Dari hasil pola difraksi yang diperoleh, sampel TiO₂ memiliki puncak pada sudut 2θ sekitar 25°, 36°, 37°, 38°, 48°, 53°, 55°, 52°, 68°, 70°, 74°, 75°,

yang bersesuaian dengan puncak-puncak yang dimiliki oleh fasa anatase berdasarkan data JCPDS No. 21-1276. Fase anatase sangat berpengaruh dalam sel surya karena memiliki kemampuan fotoaktif yang tinggi.

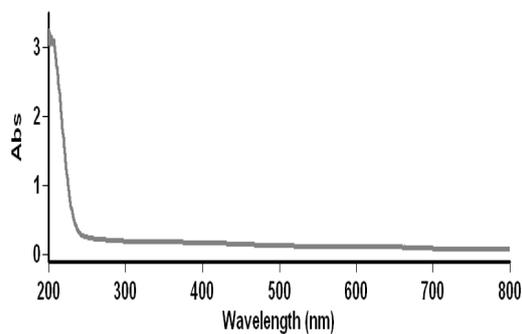
Ukuran kristal dihitung menggunakan persamaan Scherer. Dari hasil perhitungan didapatkan rata-rata ukuran kristal TiO₂ adalah 2,6 nm. Dalam aplikasi sel surya TiO₂ tersensitisasi dye, ukuran partikel TiO₂ berskala nanometer ini memiliki kelebihan dapat menampung dye lebih banyak karena semakin kecil ukuran kristal, semakin banyak rongga yang terbentuk.

1. Analisa Spektra UV-Vis Ekstrak Kasar Teh Hitam dan Tinta Sotong

Analisa ekstrak kasar teh hitam menggunakan spektrofotometer UV-Vis dilakukan untuk mengetahui daerah serapan panjang gelombang maksimum kandungan senyawa kimia yang terkandung dalam ekstrak kasar tersebut. Spektrofotometer UV-Vis merupakan instrumen yang dapat digunakan untuk keperluan analisa kualitatif maupun kuantitatif. Dalam penelitian ini, analisa yang dilakukan adalah analisa kualitatif, yaitu dengan mempelajari transisi elektron-elektron yang terjadi pada tingkatan orbital tertentu akibat adanya energi.



Gambar 6. Spektra UV-Vis Ekstrak Kasar Teh Hitam



Gambar 7. Spektra UV-Vis Ekstrak Kasar Tinta Sotong

Hasil spektra UV-Vis ekstrak kasar teh hitam menunjukkan adanya serapan panjang gelombang maksimum pada daerah 232-240 nm. Sedangkan pada hasil spektra UV-Vis ekstrak kasar tinta sotong menunjukkan serapan panjang gelombang maksimum pada daerah 203-207 nm. Hal ini mengindikasikan adanya transisi elektron dari orbital $n \rightarrow \pi^*$ dan orbital $\pi \rightarrow \pi^*$ pada kedua ekstrak kasar tersebut. Pada gambar 6 dan 7 berturut-turut ditampilkan gambar spektra UV-Vis ekstrak kasar teh hitam dan tinta sotong.

Adanya transisi elektron dari orbital $n \rightarrow \pi^*$ dan orbital $\pi \rightarrow \pi^*$ dapat dijadikan asumsi awal adanya ikatan rangkap dalam struktur kandungan senyawa kimia kedua ekstrak kasar tersebut. Kemungkinan serapan tersebut dapat ditimbulkan akibat adanya ikatan C=O, C=N atau C=C.

2. Analisa Sel Surya Pewarna Tersentisisasi

Sel surya yang sudah dirangkai kemudian dilakukan pengujian kemampuan konversinya dengan menggunakan penyinaran lampu halogen. Pada sel surya yang tanpa perendaman ekstrak pewarna didapatkan tegangan listrik sebesar 0,014 Volt pada ruangan tanpa sinar,

dan 0,023 Volt ketika diletakkan di bawah lampu halogen. Pada sel surya yang direndam dalam ekstrak kasar teh hitam selama 1 jam, didapatkan nilai tegangan listrik pada ruangan tanpa sinar sebesar 0,364 Volt dan di bawah sinar lampu halogen tegangannya adalah 0,401 Volt. Pada sel surya yang direndam dalam ekstrak kasar teh hitam selama 2 minggu didapatkan hasil tegangan listrik pada ruangan tanpa sinar sebesar 0,113 Volt dan dibawah sinar lampu tegangannya sebesar 0,18 Volt. Hal ini menunjukkan bahwa pada perendaman 1 jam dalam ekstrak pewarna alami yang menempel pada TiO_2 dapat meningkatkan kinerja sel surya sehingga tegangan yang didapatkan lebih tinggi. Pada saat penyinaran, jumlah pasangan elektron-hole pada daerah persambungan $\text{TiO}_2/\text{dye}/\text{carbon}$. Pasangan elektron akan terpisah dengan adanya medan listrik yang kemudian akan berkontribusi pada tegangan dan arus yang dihasilkan. Tapi perendaman yang terlalu lama justru dapat menyebabkan nilai tegangan yang dihasilkan menurun. Hal ini disebabkan karena semakin banyak pewarna (*dye*) yang menempel pada TiO_2 menghambat terjadinya eksitasi elektron.

Pengukuran tegangan listrik pada sel surya yang direndam dalam ekstrak kasar tinta sotong tidak dapat dilakukan karena lapisan TiO_2 dan pewarna tidak menempel dengan baik pada kaca konduktor. Ekstrak tinta sotong yang cenderung berbentuk koloid dan memiliki viskositas yang tinggi, berpengaruh pada proses perendaman sel surya. Dalam proses tersebut diperkirakan zat warna tidak dapat terabsorpsi dengan baik pada TiO_2 dan

cenderung membentuk lapisan baru yang menutupi lapisan TiO_2 , akibatnya nilai tegangan listrik sel surya tidak dapat diukur.

Pengujian pada arus listrik sel surya tidak menunjukkan hasil karena sensitivitas alat yang kurang tinggi, sehingga tidak dapat mengukur arus yang sangat kecil. Rendahnya nilai arus dipengaruhi oleh lama perendaman, semakin berkurangnya lapisan zat pewarna, ketebalan TiO_2 dan disposisi TiO_2 pada substrat TCO yang kurang sempurna. Penggunaan ekstrak kasar teh hitam juga masih kurang baik karena daerah serapannya tidak lebar sehingga sinar lampu tidak dapat diserap secara maksimal. Dengan kurang luasnya daerah serapan menyebabkan foton yang diserap semakin kecil sehingga arus yang dihasilkan kecil.

Pada saat pengukuran, nilai tegangan menunjukkan angka yang tidak stabil. Hal ini disebabkan karena enkapsulasi sel surya yang kurang sempurna sehingga larutan elektrolit mudah sekali menguap oleh panas sumber cahaya.

Kelemahan sel surya organik adalah kestabilan tegangannya rendah dan terjadi penurunan tegangan yang cepat pada kondisi penyinaran. Parameter-parameter fotovoltaiik yang terukur sangat dipengaruhi oleh struktur lapisan aktif penyusun sampel yaitu TiO_2 dan larutan dye. Ketebalan lapisan yang terlalu besar dengan struktur permukaan yang tidak homogen dapat memperbesar hambatan internal sel sehingga mengurangi mobilitas muatan yang melewati sel.

D. KESIMPULAN

Rangkaian sel surya menggunakan kristal semikonduktor

TiO_2 , larutan elektrolit I^-/I_3^- , elektroda karbon, kaca konduktor dan pewarna alami. Zat pewarna alami (*dye*) yang digunakan berasal dari ekstrak kasar teh hitam dan tinta sotong. Analisa menggunakan Difraksi Sinar-X menunjukkan bahwa kristal TiO_2 merupakan fase kristal anatase dengan ukuran kristal sebesar 2,6 nm. Hasil spektra UV-Vis ekstrak kasar teh hitam dan tinta sotong menunjukkan range daerah serapan panjang gelombang berturut-turut yaitu 232-240 nm dan 203-207 nm.

Nilai tegangan listrik sel surya tanpa perendaman, pada ruangan tanpa sinar dan di bawah lampu halogen berturut-turut sebesar 0,014 Volt dan 0,023 Volt. Nilai tegangan listrik sel surya yang direndam dalam ekstrak kasar teh hitam selama 1 jam pada ruangan tanpa sinar dan di bawah lampu halogen berturut-turut sebesar 0,364 Volt dan 0,401 Volt. Sedangkan yang direndam selama 2 minggu berturut-turut sebesar 0,113 Volt dan 0,18 Volt. Nilai tegangan listrik sel surya yang direndam dalam ekstrak tinta sotong tidak dapat diukur, begitu juga dengan nilai arus listrik sel surya yang direndam dalam ekstrak kasar teh hitam dan tinta sotong.

E. UCAPAN TERIMAKASIH

Rasa syukur dan ucapan terima kasih yang tulus kami sampaikan kepada UIN Maulana Malik Ibrahim Malang atas suport dana penelitian ini melalui anggaran DIPA Lembaga Penelitian dan Pengembangan tahun 2011. Terima kasih juga untuk semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

F. DAFTAR PUSTAKA

- Chmiel, Gehring, Uhlendorf, 1998, *Dye sensitized solar cells (SSPT) : Progress toward application*, 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion, 6 July Vienna Austria
- Fiore, Poli, Cosmo, 2004, *Dopamine in teh ink defence sistem sepia officinalis : biosyntehsis vesicular compartmentation in mature gland cells nitric oxide (NO)/cGMP –induced depletion and fate in secreted ink*, J. Biochem., 378, 785-791
- Gratzel, 2004, *Conversion of sunlight to electric power by nanocrystalline dye-sensitized solar cells*, J. Photochem. Photobiol. A: Chem, 164, 3-14
- Halme, 2002, *Dye-sensitized nanostructured and organik photovoltaic cells : technical review and preliminary tests*, Master's tehsis, Departemen of Engineering Physics and Matehmatics, Helsinki University of Technology, Espoo
- Kartini, 2009, *Rekayasa Material Berbasis Sumber Daya Alam Silika-Alumina : Sel Surya berbasis Sistem Sandwich Nanokristal Semikonduktor Celah Lebar dan Zat Warna Alam (Natural Dye-sensitized Solar Cells)*, FMIPA UGM, 3-38
- Kay dan Gratzel, 1996, *Low cost photovoltaic modules based on dye sensitized nanocrystalline titanium dioxide and carbon powder*, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 44, 99-177
- Li L., Wang, P. Wang, 2006, *Sol. Energy Mater*, Sol. Cells 90, 546
- Maddu, Zuhri, 2007, *Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah sebagai Fotosinsitizer Sel Surya TiO₂ Nanokristal tersensitisasi Dye*, Makara, Teknologi, Vol 11, 2, 78-84
- O'Regan, B and M. Gratzel, 1991, *A low cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ film*, Nature, 353, 737-739
- Sirimanne, Senevirathna, Premalal, Sivakumar, 2006, *Utilization of Natural Pigment Extracted from Pomegranate Fruits as Sensitizer in Solid-State Solar Cells*, J. Photochem, Photobiol, A: Chem, 177, 324-327
- Smestad dan Gratzel, 1998, *Demonstrating Electron Transfer and Nanotechnology : A natural Dye-sensitized Nanocrystalline Energy Converter*, J. Chem. Educ, 75, 752-756
- Spitler, Mark, Anne, 2002, *Spektral Sensitization of Nanocrystalline Solar Cell*, United States Patent 6, 359, 211
- Tanaka, Inoue, Betsumiya, 2001, *Two type of oxidative dimerization of teh black tea polivenol teaflavin*, J. Agric. Food Chem., 49, 5785-5789
- Wolfbauer, Bond, Eklund, 2001, *A channel flow cell sistem specifically designed to test teh efficiency of redox shuttles in dye sensitized solar cells*, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 70, 85-101