
**PENGARUH TEMPERATUR KALSINASI GRAFIT-TiO₂ TERHADAP PERFORMA
DYE SENSITIZER SOLAR CELL (DSSC) BERBASIS DYE DARI DAUN SUJI
(*Dracaena Angustifolia*)**

Oleh
Insira Insani Fitri
Akademi Teknik Adikarya
Email: insani.fst@gmail.com

Abstrak

Titanium Dioxide (TiO₂) merupakan salah satu semikonduktor ber-*band gap* lebar yang sering digunakan. TiO₂ mempunyai selisih *band gap* lebar yaitu sebesar 3,2 eV (energi celah). Namun untuk aplikasinya pada DSSC TiO₂ harus memiliki permukaan yang luas untuk meningkatkan fotokataliknya maka didoping dengan grafit. Pendopongan grafit dapat memperkecil agregat TiO₂. Ukuran kristal yang kecil akan memiliki luas permukaan yang lebih luas, dan ini sangat menguntungkan jika diaplikasikan pada sel surya DSSC.

Dye yang umumnya digunakan sebagai sumber *sensitizer* adalah tumbuhan atau dedaunan. Daun suji merupakan pigmen zat warna klorofil. Berdasarkan penelitian (Prananto, 2013), diperoleh hasil ekstrak klorofil daun cincau dapat dijadikan sebagai fotosensitizer pada DSSC, dilihat dari DSSC yang dibuat menghasilkan tegangan setelah diukur dengan multimeter, sumber cahaya didapat dari lampu neon 20 watt. diperoleh hasil ekstrak klorofil dari daun katuk, hasil pengujian menunjukkan serapan cahaya larutan klorofil memiliki puncak spektrum serapan dengan nilai tertinggi sebesar 2,508 au sebelum diawetkan dan 2,710 au setelah diawetkan. Hasil pengukuran sifat optik dan listrik menunjukkan bahwa pengawetan klorofil dapat mempertahankan kualitas klorofil dari daun katuk.

Kata Kunci: Daun suji (*Dracaena Angustifolia*), Klorofil, DYE, Grafit-TiO₂, Solar Cell.

PENDAHULUAN

Sinar matahari merupakan sumber daya tak terbatas yang dapat kita gunakan sebagai sumber energi. Sinar matahari dapat mengatasi masalah energi yang tengah dihadapi. Salah satu bentuk pemanfaatan energi dari matahari ini adalah dengan menggunakan *photovoltaic cell* atau yang lebih banyak dikenal sebagai *solar cell*, yaitu pembangkit tenaga listrik dengan tenaga surya generasi terbaru yang lebih dikenal dengan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). DSSC adalah jenis sel surya yang tersusun dari 3 komponen utama yaitu elektroda kerja (*working electrode*), elektroda lawan (*counter electrode*) dan larutan elektrolit

Titanium Dioxide (TiO₂) merupakan salah satu semikonduktor ber-*band gap* lebar yang sering digunakan. TiO₂ mempunyai selisih *band gap* lebar yaitu sebesar 3,2 eV

(energi celah). Namun untuk aplikasinya pada DSSC TiO₂ harus memiliki permukaan yang luas untuk meningkatkan fotokataliknya maka didoping dengan grafit. Pendopongan grafit dapat memperkecil agregat TiO₂. Ukuran kristal yang kecil akan memiliki luas permukaan yang lebih luas, dan ini sangat menguntungkan jika diaplikasikan pada sel surya DSSC.

Dye yang umumnya digunakan sebagai sumber *sensitizer* adalah tumbuhan atau dedaunan. Daun suji merupakan pigmen zat warna klorofil. Berdasarkan penelitian (Prananto, 2013), diperoleh hasil ekstrak klorofil daun cincau dapat dijadikan sebagai fotosensitizer pada DSSC, dilihat dari DSSC yang dibuat menghasilkan tegangan setelah diukur dengan multimeter, sumber cahaya didapat dari lampu neon 20 watt. diperoleh hasil ekstrak klorofil dari daun katuk, hasil

pengujian menunjukkan serapan cahaya larutan klorofil memiliki puncak spektrum serapan dengan nilai tertinggi sebesar 2,508 au sebelum diawetkan dan 2,710 au setelah diawetkan. Hasil pengukuran sifat optik dan listrik menunjukkan bahwa pengawetan klorofil dapat mempertahankan kualitas klorofil dari daun katuk (Darwis dkk, 2015).

Berdasarkan penelitian terdahulu, efisiensi konversi energi (η) DSSC optimum 0,0055% dihasilkan dengan menggunakan jumlah grafit sebesar 30%. Waktu perendaman optimum lapis tipis TiO₂ pada ekstrak kol merah sebesar 24 jam dengan efisiensi sebesar 0,0055%. Berdasarkan penelitian Zen dkk (2015), hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi sel surya tergantung pada massa grafit dan kecepatan putaran *spin coating*. Dengan menggunakan TiO₂ sebesar 0,7 gram yang dilapiskan diatas FTO dan diberi elektrolit campuran PVA dan LiOH, efisiensi terbaik sebesar 0,06% tercapai pada saat massa grafit 0,4 gram.

METODELOGI PENELITIAN

Peralatan dan Bahan Penelitian

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari alat sintesa dan karakterisasi. Alat sintesa terdiri dari peralatan gelas, kertas saring, neraca analitik, *hot plate*, substrat *Transparent Conductive oxide* (TCO), cawan petri, mortar dan alu, oven, *stirrer*, *furnace*, *Ultrasonic Cleaner*, *hair drayer*, blender, penjepit, spatula dan multimeter digital. Alat karakterisasi meliputi: *Spektrofotometer UV-Vis*, *X-Ray Diffraction* (XRD), *Surface Area Analyzer* (SAA) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun suji (*Dracaena Angustifolia*), Titanium dioksida (TiO₂), grafit, metanol, etanol, aquades, *Polyethylene Glycol* (PEG), *Iodine* (I₂) dan *Kalium Iodide* (KI)

Preparasi Material

Substrat TCO dipotong dengan ukuran 2,5 x 1,5 cm. Substrat kemudian direndam dalam etanol selama 10 menit untuk menghilangkan materi pengotor pada substrat. Selanjutnya dikeringkan dengan menggunakan *hair drayer*.

Preparasi Grafit-TiO₂

Serbuk TiO₂ seberat 3,5 g dengan massa Grafit-TiO₂ 14% wt dicampurkan dengan etanol sebanyak 15 ml dan kemudian dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer*. Selanjutnya, Grafit-TiO₂ dikalsinasi pada suhu 350°C, 450°C, 550°C dan 650°C selama 60 menit. Setelah dikalsinasi, Grafit-TiO₂ yang diperoleh dikarakterisasi dengan menggunakan XRD, SAA dan SEM.

Pendeposisian Grafit-TiO₂

Grafit-TiO₂ yang telah dipreparasi kemudian dideposisikan di atas substrat TCO menggunakan metode *doctor blade* yaitu diratakan dengan menggunakan spatula dan dikalsinasi kembali pada suhu 450°C selama 30 menit.

Preparasi Larutan Dye

Daun suji (*Dracaena angustifolia*) sebanyak 200 g hancurkan hingga menjadi ekstrak. Ekstrak kemudian dilarutkan dengan 20 ml *metanol* dan direndam selama 24 jam. Setelah itu, ekstrak disaring dengan kertas saring agar diperoleh larutan *dye* dan diuji panjang gelombangnya dengan menggunakan *Spektrofotometer UV-Vis*.

Preparasi Larutan Elektrolit

Pembuatan larutan elektrolit dilakukan dengan cara melarutkan sebanyak 0,8 g KI ke dalam larutan 10 ml PEG dan kemudian diaduk hingga homogen. Selanjutnya ditambahkan I₂ sebanyak 0,127 g ke dalam larutan tersebut hingga terlarut dengan sempurna. Larutan elektrolit yang sudah jadi kemudian disimpan dalam botol.

Sensitisasi Lapisan Oksida

Sensitisasi lapisan oksida dilakukan dengan mencelupkan substrat TCO yang telah dikalsinasi ke dalam *dye* larutan daun suji. Kemudian, substrat TCO diletakkan dengan

posisi layer oksida menghadap ke atas dan dibiarkan selama 24 jam. Setelah itu, *layer* TCO dibilas dengan *aquades* dan keringkan dengan kertas *tissue*.

Preparasi Counter-electrode

Selotip yang telah disiapkan direkatkan pada sisi substrat kaca TCO hingga memiliki ukuran akhir 1,5 x 1 cm. Selanjutnya grafit dihaluskan dengan mortar, lalu ditimbang sebanyak 3,5 g dan dicampurkan dengan etanol sebanyak 15 ml dan diaduk. Setelah itu, pasta grafit dideposisikan pada substrat kaca TCO dan dipanaskan pada temperatur 200°C selama 20 menit.

Perakitan Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Substrat kaca TCO dengan lapisan Grafit-TiO₂ dan *counter electrode* grafit ditumpuk dengan permukaan yang saling berhadapan sehingga membentuk sebuah struktur *sandwich*. Selanjutnya diteteskan larutan elektrolit triiodida sebanyak 2-3 tetes di kedua ujung prototipe DSSC dan biarkan larutan elektrolit terserap ke dalam lapisan oksida. Kemudian pada kedua sisi dijepit dengan menggunakan penjepit kertas agar prototipe melekat sempurna. Diberikan *offset* pada sel yang dibuat dengan menggunakan penjepit buaya pada tepi elektroda lawan dan elektroda kerja sebagai kontak elektrik. DSSC siap untuk diuji kelistrikkannya. Pengujian dilakukan menggunakan sumber cahaya sinar matahari untuk mengetahui tegangan dan arus yang dihasilkan dengan menggunakan multimeter digital.

Teknik Analisa Data

Karakterisasi absorbansi Dye Ekstrak Daun Suji. Daun suji yang telah diekstraksi menjadi larutan *dye* diuji absorbansinya dengan menggunakan *Spektrofotometer UV-Vis* pada panjang gelombang 350-800 nm.

Karakterisasi Struktur Kristal Dan Ukuran Kristal Grafit-TiO₂. Penentuan struktur kristal dan ukuran partikel nanopori Grafit-TiO₂ dilakukan uji karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD).

Karakterisasi Luas Permukaan Grafit-TiO₂. Penentuan luas permukaan

semikonduktor Grafit-TiO₂ yang dihasilkan, dilakukan uji karakterisasi menggunakan *Surface Area Analyzer* (SAA).

Karakterisasi Morfologi Permukaan Grafit-TiO₂. Penentuan morfologi semikonduktor Grafit-TiO₂ dilakukan uji karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

Karakterisasi Arus dan Tegangan Sel Surya Dengan Rangkaian. Pada uji karakteristik ini, performansi sel surya dapat dilihat melalui pengukuran arus dan tegangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persiapan Material Penyusun DSSC

Material penyusun DSSC berupa sepasang kaca TCO, dimana satu sisi kaca TCO ini akan dilapisi semikonduktor. Semikonduktor berperan sebagai elektroda kerja, dan pada sisi yang satu nya lagi akan dilapisi dengan karbon grafit sebagai elektroda pembanding. Sebelum diaplikasikan, kaca TCO ini dibersihkan dengan cara merendam substrat kaca TCO dengan etanol guna membersihkan kotoran pada permukaan kaca TCO

Pembuatan Semikonduktor Grafit-TiO₂

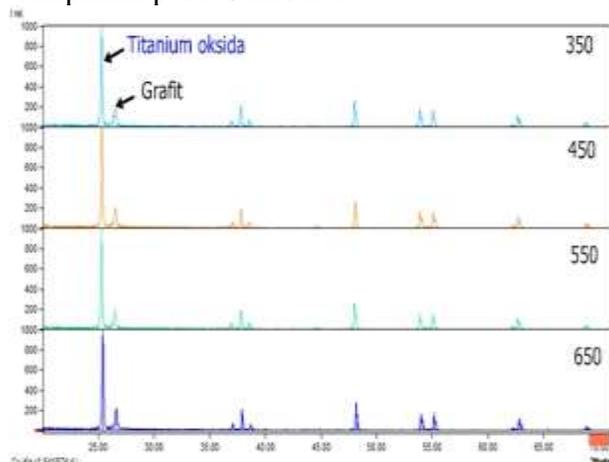
Pembuatan semikonduktor ini dibuat dengan mencampurkan 3,5 g serbuk TiO₂ dan 14% grafit kemudian dihomogenkan dengan 15 mL etanol. Digunakan 14 % karena pada penelitian sebelumnya yang mana dikatakan bahwa penambahan grafit 14 % didapat ukuran kristal yang paling kecil, ukuran kristal yang kecil ini memiliki luas permukaan yang lebih luas.

Grafit-TiO₂ yang telah dihomogenkan akan dikalsinasi dengan variasi waktu tahan kalsinasi 350°, 450°, 550°, dan 650° selama 60 menit. Semikonduktor yang telah dikalsinasi nantinya akan dikarakterisasi menggunakan beberapa instrument yaitu XRD, SEM, dan SAA.

Karakterisasi Menggunakan XRD

Karakterisasi struktur kristal dan ukuran kristal Grafit-TiO₂ dilakukan dengan menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD) *PANalytical Xpert³ powder goniometer PW 3050/60 type of Bragg* –

Brentano yang ada di Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Jambi. Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dan tingkat kristalinitas dari lapisan TiO₂. Analisis XRD untuk mengetahui struktur kristal digunakan program Match. Hasil difraksi dari semikonduktor grafit-TiO₂ di tampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pola Difraksi Grafit-TiO₂

Dapat dilihat pada dari gambar 1 menunjukkan karakterisasi XRD pada pola difraksi serbuk Titanium Dioksida (TiO₂) yang dicampur grafit dengan variasi temperatur dan waktu tahan kalsinasi 350⁰ C, 450⁰ C, 550⁰ C dan 650⁰ C. Pemberian variasi temperatur tahan kalsinasi tidak begitu memberikan pengaruh terhadap ukuran kristal Grafit-TiO₂ karena pola XRD yang dihasilkan hampir sama secara keseluruhan pada masing-maing variasi temperatur. Dari gambar tersebut juga terlihat grafit dari keempat suhu terdapat puncak yang sangat tajam pada posisi sudut 2θ dari pola drifraksi. Berdasarkan data ICCD nomor 96-153-0152, Puncak-puncak itu sesuai dengan puncak TiO₂ yang memiliki fase anatase. Sesuai dengan kartu JCPDF 71-1167, pola XRD Grafit-TiO₂ yang digunakan menghasilkan bentuk kristal yang berbentuk *body centered tetragonal*. Secara umum, pola XRD yang terbentuk untuk lapisan nanopori TiO₂ tidak begitu berbeda ketika diberikan variasi temperatur maupun waktu tahan. Terdapat nya kesamaan dari masing-masing puncak pola XRD. Hal ini tidak sesuai dengan hipotesis awal yang mana ketika diberikan

temperatur yang lebih tinggi dan waktu tahan yang lebih lama akan menghasilkan puncak-puncak yang semakin tajam yang nantinya akan menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil dari Grafit-TiO₂ itu sendiri.

Adapun tabel sudut 2θ dari Grafit-TiO₂ dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 1. Sudut 2θ Grafit-TiO₂

350 ⁰ C	25, 26, 37, 38, 48,53, 62, 68
550 ⁰ C	25, 26, 37, 38, 48,53, 54, 55, 62, 68

Pada tabel 1 terdapat kesamaan nilai ukuran kristal dari Grafit- TiO₂. Hal ini tidak lepas dari adanya kesamaan dari pola XRD yang terdapat pada gambar 1. Kesamaan ini kemungkinan besar disebabkan oleh pada saat pembuatan awal serbuk TiO₂ merupakan hasil buatan pabrik yang telah diberikan temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur dalam penelitian ini.

Karakterisasi menggunakan SAA

Surface Area Analyzer (SAA) merupakan salah satu alat utama dalam karakterisasi material. Penentuan luas permukaan dan distribusi ukuran pori menggunakan SAA yang dilakukan pada material TiO₂ hasil sintesis dengan variasi suhu. Pengujian BET ini umumnya digunakan untuk mengetahui luas permukaan aktif dari suatu material. Pengujian BET ini dilakukan dengan menggunakan alat Quantachrome dengan memberikan pemanasan awal yang tidak melebihi temperatur yang sudah diberikan pada material tersebut. Pada pengujian BET ini digunakan pemanasan awal pada temperatur. Hasil karakterisasi BET ditampilkan pada tabel 3.

Tabel 2. Hasil karakterisasi BET

Temperature (°C)	Luas permukaan aktif (m ² /g)
------------------	--

350	8,94
450	9,12
550	8,59
650	8,55

Tabel 3, menunjukkan hasil BET serbuk Grafit-TiO₂ pada setiap variasi. Pada variasi temperatur 450^oC mempunyai nilai luas permukaan aktif yang paling besar, tetapi terjadi penurunan pada temperatur 550^oC dan 650^oC. Hal ini disebabkan rongga yang terdapat semikonduktor tertutup kembali seiring dengan peningkatan temperatur kalsinasi. Jika dibandingkan dengan hasil performa prototipe DSSC maka data tersebut sesuai dengan hipotesis awal yang mana semakin besar luas permukaan maka efisiensi yang dihasilkan semakin tinggi. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa temperatur 450^oC merupakan temperatur paling optimum yang dimiliki oleh Grafit-TiO₂ untuk memperoleh luas permukaan yang besar dan menghasilkan efisiensi yang tinggi.

Karakterisasi menggunakan SEM

Untuk melihat morfologi bubuk TiO₂ yang dihasilkan, dilakukan uji karakterisasi menggunakan (*Scanning Electron Microscopy*) SEM. Selain untuk melihat morfologi bubuk TiO₂, uji karakterisasi ini juga dapat digunakan untuk menghitung ukuran bubuk TiO₂ yang bekerja berdasarkan prinsip scan sinar elektron pada permukaan sampel, yang selanjutnya informasi yang didapatkan diubah menjadi gambar. Prinsip SEM adalah menembakkan permukaan benda dengan berkas elektron berenergi tinggi. Untuk melihat benda dibawah 200 nm, diperlukan mikroskop dengan panjang gelombang pendek.

Hasil Pelapisan Semikonduktor Grafit-TiO₂

Semikonduktor yang telah dikalsinasi selanjutnya diaplikasikan ke kaca TCO yang telah di rendam dengan etanol. Kaca TCO berperan sebagai elektroda kerja. Semikonduktor tersebut akan dideposisikan pada kaca TCO dengan metode *doctor blade*

yaitu dengan cara meratakan pasta Grafit-TiO₂ pada substrat kaca TCO menggunakan batang pengaduk. Sebelumnya terlebih dahulu dibuat pasta Grafit-TiO₂ dengan menambahkan etanol tetes demi tetes sampai berbentuk pasta. Ketebalan dari semikonduktor yang diaplikasikan yaitu diukur dengan menempelkan selotip pada ujung kaca, dengan ketebalan sama dengan ketebalan selotip yang digunakan. Pada kaca TCO sebelum dilakukan deposisi Grafit-TiO₂ terlebih dahulu dicari bagian yang bersifat konduktif.



Gambar 2. Semikonduktor Yang Akan Diaplikasikan Pada Elektroda Kerja

Grafit-TiO₂ yang telah diaplikasikan pada elektroda kerja kemudian disintering pada suhu 450^oC selama 30 menit. Proses sintering ini bertujuan untuk membentuk porous sehingga film grafit-TiO₂ yang memiliki surface area yang lebar (Smestad, 1998). Kemudian didinginkan hingga mencapai suhu kamar. Setelah itu film grafit-TiO₂ direndam dengan *dye* yang berasal dari buah labu kuning. Perendaman elektroda kerja pada *dye* ini dilakukan selama 24 jam, dengan tujuan agar molekul zat warna dari ekstrak buah labu akan teradsorpsi kedalam pori semikonduktor yang dilapisi pada elektroda kerja.



Gambar 3.Elektroda kerja yang disintering pada suhu 450°C

Preparasi Larutan Dye

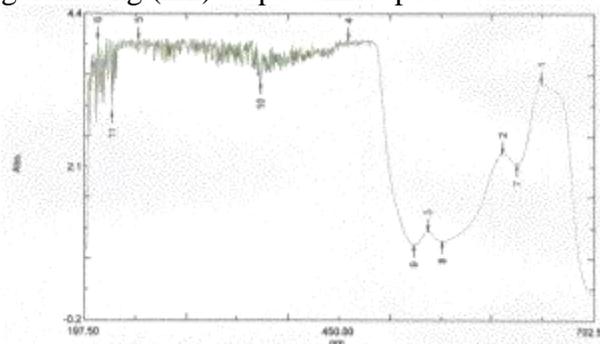
Pada penelitian ini, larutan *dye* yang digunakan berasal dari daun suji yaitu pigmen zat warna klorofil. Klorofil banyak terdapat pada tumbuhan hijau, salah satunya *Dracaena Angustifolia* atau daun suji. Klorofil merupakan pigmen pemberi warna hijau pada tumbuhan. Senyawa ini berperan dalam proses fotosintesis tumbuhan dengan menyerap dan mengubah energi cahaya menjadi energi kimia. Zat warna hijau dari daun suji diharapkan dapat menangkap foton dari sinar matahari.

Maserasi Daun Suji (*Dracaena Angustifolia*)

Pada penelitian ini, zat warna yang digunakan adalah daun suji. pengambilan zat warna dari bahan daun suji tersebut dilakukan dengan cara maserasi. Maserasi yaitu salah satu cara ekstraksi dengan cara perendaman dengan pelarut. Pada penelitian ini daun suji dipotong kecil-kecil sebanyak 50 g kemudian direndam dengan pelarut etanol. Etanol yang digunakan yaitu etanol PA sebanyak 100 ml.

Pengukuran spektrum absorbansi dilakukan menggunakan instrumen UV-Vis tipe UV-1800 series yang ada di kampus STIKES Harapan Ibu Kelurahan Pakuan Baru, Tehok Jambi. Pengujian dengan Spektrofotometer UV-Vis ini bertujuan untuk melihat adsorbansinya terhadap cahaya. Pengukuran dilakukan dengan cara

mengambil larutan *dye* dari daun suji yang telah di ekstrak. Setelah itu larutan *dye* diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 200 – 700 nm. Hasil pengujian dan puncak – puncak absorbansi tersebut terhadap panjang gelombang (nm) dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Spektrum UV-Vis dari *dye* daun suji

Berdasarkan gambar 4, hasil pengujian spektrofotometer UV-Vis dari zat warna daun suji memiliki daya absorbansi yang baik yaitu pada rentang panjang gelombang 650 nm dan didapat nilai absorbansi sebesar 3,300 dan memenuhi syarat sebagai *sensitizer*. Nilai panjang gelombang maksimum (λ_{max}) yang dihasilkan ekstrak daun suji sebesar 650,50 nm ini cukup tinggi apabila dibandingkan pada penelitian sebelumnya seperti (Prayoga,dkk) hasil pengujian tingkat penyerapan *dye* yang telah dilakukan, klorofil daun pepaya maupun klorofil daun jarak memiliki karakteristik tingkat penyerapan yang hampir sama yaitu tingkat penyerapan sebesar 4 (a.u.) pada panjang gelombang cahaya 450-500 nm dan sebesar 3 (a.u.) pada panjang gelombang 650 nm. Perbedaan tingkat penyerapan terjadi pada panjang gelombang antara 500–600 nm di mana klorofil daun pepaya memiliki penyerapan lebih tinggi Sensitisasi Lapisan Oksida

Sensitisasi lapisan oksida ini merupakan tahap perendaman elektroda kerja yang sudah dilapisi dengan semikonduktor. Elektroda kerja direndam dalam larutan *dye* selama 24 jam bertujuan agar semikonduktor dapat terlapisi dengan larutan *dye*.



Gambar 4. Perendaman semikonduktor yang telah dideposisi pada permukaan kaca TCO kedalam larutan *dye*

Preparasi Elektroda Pembanding

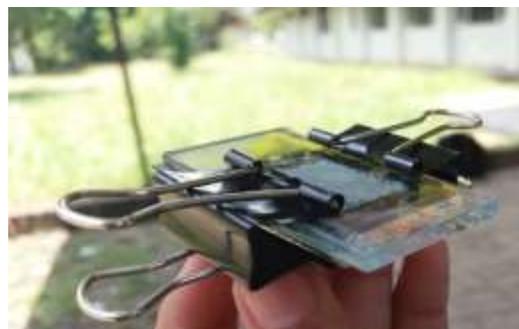
Elektroda pembanding (*counter electrode*) berfungsi untuk mempercepat reaksi kinetik pada reaksi reduksi I_3 pada katoda. Elektroda pembanding dibuat dari substrat kaca penghantar yang dilapisi dengan katalis karbon. Fungsi karbon yaitu sebagai katalis untuk mempercepat reaksi pada DSSC. Katalis karbon yang digunakan berupa serbuk grafit sama halnya seperti pada pembuatan elektroda kerja, pada pembuatan elektroda lawan serbuk grafit yang dipastakan terlebih dahulu kemudian diratakan pada salah satu permukaan kaca penghantar yang dilapisi oksida penghantar lalu disintering pada temperatur $200^{\circ}C$ agar grafit merekat pada substrat. Pada proses ini, diusahakan tidak terjadi spot. Lapisan tipis karbon berfungsi sebagai katalis untuk reaksi pembentukan triiodida menjadi iodide sesuai dengan rumus (2)



Gambar 5. Pendeposisian grafit sebagai *counter electrode*

Perakitan Prototipe DSSC

Setelah material penyusun sel siap, selanjutnya dirangkai membentuk lapisan *sandwich* dengan komponen yang terdiri dari elektroda kerja yang telah dilapisi Grafit- TiO_2 , *dye* yang sudah teradsorpsi pada semikonduktor, larutan elektrolit dan elektroda lawan yang sudah dilapisi dengan katalis. Larutan elektrolit yang digunakan pada DSSC berfungsi untuk menggantikan kehilangan elektron pada pita HOMO dari *dye* akibat eksitasi elektron dari pita HOMO (*Hight Occupied Molecular Orbital*) ke pita LUMO (*Low Unoccupied Molecular Orbital*) karena penyerapan cahaya tampak oleh *dye*. Pasangan elektrolit yang digunakan pada DSSC yaitu pasangan elektrolit I dan I_3^- karena sifatnya yang stabil dan mempunyai reversibilitas yang baik.



Gambar 6. Prototipe DSSC dalam bentuk *sandwich*

Pengujian voltase ini dilakukan dengan menggunakan multimeter di bawah sinar matahari dengan intensitas yang sama di siang hari. Pengujian ini dilakukan selama satu hari dengan selang waktu 15 menit hasil yang dihasilkan akan dicatat untuk mengetahui stabilitas unjuk kerja DSSC dari ekstrak daun suji tersebut. Pengujian prototipe DSSC dilakukan dengan menyinari prototipe dengan sinar matahari. Posisi dari prototipe ini dengan elektroda kerja menghadap keatas agar terpapar oleh cahaya matahari.



Gambar 7. Pengujian DSSC Di Bawah Sinar Matahari

Rangkaian yang digunakan pada pengujian ini adalah rangkaian paralel yaitu dengan menggunakan dua multimeter untuk mendapatkan kurva V/I. Pada hasil yang ditampilkan pada tabel 2, pengujian prototipe DSSC dengan variasi temperatur kalsinasi 350°C, 450°C, 550°C, dan 650°C menunjukkan kemampuan setiap prototipe dalam menyerap sinar matahari. Berdasarkan hasil yang terbaca oleh multimeter, kemampuan menangkap sinar matahari yang paling baik pada prototipe suhu kalsinasi 450°C dengan voltase yang terbaca sebesar 1337 miliVolt. Sehingga jika di konversikan untuk melihat efisiensi dari prototipe suhu 450°C ini menghasilkan efisiensi sebesar 0,189%.

Pada uji karakteristik ini, performa sel surya dapat dilihat melalui pengukuran arus dan tegangan. Rangkaian pengukuran pada kontruksi sel surya dilakukan menggunakan potensimeter 10 kΩ dan 8 buah multimeter. Dari hasil pengukuran diperoleh data berupa nilai tegangan (V). Kemudian dihitung nilai daya (P) dan efisiensinya (η) menggunakan persamaan (4):

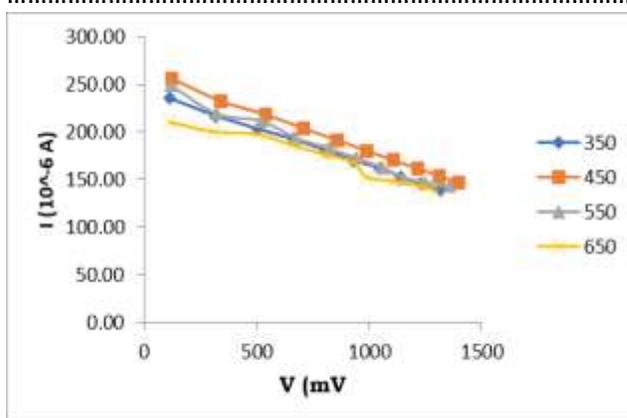
$$\eta = \frac{P}{I A} \times 100\% \dots\dots (4)$$

Dengan η adalah efisiensi. *P_{cahaya}* adalah daya yang digunakan dalam pengujian dan *P* adalah daya maksimum. Daya maksimum merupakan hasil terbesar dari perkalian arus dengan tegangan DSSC saat variasi beban berubah-ubah (membentuk

kurva I-V). Hasil dari pengukuran prototipe DSSC ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 3. Hasil Pengujian Prototipe DSSC Grafit-TiO₂ dengan Dye Daun Suji

Suhu	R(kΩ)	V(mV)	I (10 ⁻⁶ A)	P	η	
350	Kalsinasi					
		0,48	113	235,42	0,27	0,027
		1,48	321	216,89	0,70	0,070
		2,48	504	203,23	1,02	0,102
		3,46	665	192,20	1,28	0,128
		4,48	808	180,36	1,46	0,146
		5,49	932	169,76	1,58	0,158
		6,48	1051	162,19	1,70	0,170
		7,48	1141	152,54	1,74	0,174
		8,48	1233	145,40	1,79	0,179
450		9,48	1315	138,71	1,82	0,182
		0,48	123	256,25	0,32	0,032
		1,48	344	232,43	0,80	0,080
		2,47	540	218,62	1,18	0,118
		3,49	711	203,72	1,45	0,145
		4,49	860	191,54	1,65	0,165
		5,50	992	180,36	1,79	0,179
		6,50	1108	170,46	1,89	0,189
		7,51	1216	161,92	1,97	0,197
		8,51	1312	154,17	2,02	0,202
550		9,51	1398	147,00	2,06	0,206
		0,48	120	250,00	0,30	0,030
		1,48	325	219,59	0,71	0,071
		2,48	525	211,69	1,11	0,111
		3,48	675	193,97	1,31	0,131
		4,48	821	183,26	1,50	0,150
		5,47	944	172,58	1,63	0,163
		6,50	1059	162,92	1,73	0,173
		7,59	1153	151,91	1,75	0,175
		8,49	1251	147,35	1,84	0,184
650		9,50	1359	143,05	1,94	0,194
		0,54	114	211,11	0,24	0,024
		1,54	309	200,65	0,62	0,062
		2,54	503	198,03	1,00	0,100
		3,54	660	186,44	1,23	0,123
		4,54	802	176,65	1,42	0,142
		5,53	930	168,17	1,56	0,156
		6,49	991	152,70	1,51	0,151
		7,48	1108	148,13	1,64	0,164
		8,49	1220	143,70	1,75	0,175
	9,47	1301	137,38	1,79	0,179	



Gambar 8. Grafik V/I suhu kalsinasi
(a)350°C, (b)450°C,
(c)550°C, (d)650°C

Dari hasil grafik V/I yang dipaparkan pada Gambar 10, setiap prototipe menunjukkan hasil yang linear. Dimana saat arus yang dihasilkan tinggi, maka voltase yang terbaca kecil. Jika arus yang dihasilkan rendah, maka voltase yang terbaca besar. Hasil yang didapat dari grafik V/I merupakan hasil yang berbanding terbalik. Untuk pengujian voltase dilakukan dengan digunakan multimeter dengan diperoleh kecenderungan grafik yang semakin menurun pada saat mendekati pukul 15.00 WIB.

Berdasarkan hasil pengukuran DSSC pada tabel 1 menunjukkan bahwa pengujian prototipe dengan variasi temperatur kalsinasi 350⁰ C, 450⁰C,550⁰C dan 650⁰C memiliki kemampuan dapat menyerap sinar matahari. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari masing-masing prototipe suhu yang paling bagus dalam menangkap sinar matahari yaitu pada suhu 450⁰C yang menghasilkan voltase sebesar 1398miliVolt yang kemudian akan dikonversikan untuk melihat efisisensi dari prototipe tersebut, adapun efisisensi dari suhu 550⁰C yaitu sebesar 2,06 %.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari variasi temperatur kalsinasi yang dilakukan pada semikonduktor Grafit-TiO₂, didapat hasil pada suhu 350⁰C dengan luas permukaan sebesar 8,94 m²/g,

suhu 450⁰C dengan luas permukaan sebesar 9,12 m²/g, pada suhu 550⁰C dengan luas permukaan sebesar 8,59 m²/g dan suhu 650⁰C dengan luas permukaan sebesar 8,55 m²/g. Hasil yang paling bagus ditunjukkan pada suhu 450⁰C dibandingkan dengan suhu lain.

2. Hasil karakterisasi dengan SAA yang menyatakan bahwa dari variasi suhu kalsinasi 350⁰C, 450⁰C, 550⁰C dan 650⁰C, pada suhu 450⁰C menunjukkan hasil yang baik sebesar 9,12 m²/g dan pada uji kelistrikan efisiensi yang tertinggi juga dihasilkan pada suhu kalsinasi 450⁰C. Hasil ini juga sesuai dengan hipotesis awal yaitu semakin luas permukaan semikonduktor akan meningkatkan efisiensi dari DSSC
3. Efisiensi *dye* dari ekstrak daun suji memiliki efisiensi yang paling besar yaitu 2,06% pada suhu 450⁰C

Saran

Perlu dilakukan karakterisasi lebih lanjut menggunakan analisis NMR dan GC-MS, sehingga dapat ditetapkan struktur senyawa yang diperoleh. Serta perlu dilakukan uji antibakteri isolat yang diperoleh terhadap bakteri gram positif dan negatif lain serta terhadap jamur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdullah, Mikrajuddin, D, Y, Rahman, M, Rokhmat, Y, Elfi, & S, Euis. 2016. New design of potentially low-cost solar cells using TiO₂/grafit composite as photon absorber. *Int J. Energy Environ Eng.* 7:289–296
- [2] Arnando, D. 2016. Pembuatan Serbuk Zat Pewarna Alami Untuk Bahan Makanan Dari Kombinasi Ekstrak Daun Suji (*Dracaena angustifolia*) dan Buah Bit (*beta vulgaris L.*). *ISSN* , 2460-6472.
- [3] Badrinto. 2014. *Dye - Sensitized Solar Cells (DSSC) Menggunakan Pewarna* , *Skripsi* 1-14.
- [4] Chadijah, S., D, Dahlan, & Harmadi. 2016 . *Pembuatan Counter Electode*

- Karbon Untuk Aplikasi Elektroda Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *ISSN* , 78-86.
- [5] Darmawan, M. I, Hardani, H, Darmaja, A, Supriyanto, & Cari. 2014. Studi Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstrak *Dracaena Angustifolia* (Daun Suji). *Prosiding Mathematics and Sciences Forum 2014* , 57-60.
- [6] Darwis, D., A. S, Basri, & Iqbal. 2015. Pengawetan Klorofil Daun Katuk Sebagai Zat Pewarna Untuk Bahan DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) Dengan Menggunakan Freeze Drying . *Gravitasi Vol. 15 No.1* , 1-6.
- [7] Day. J.Y dan Underwood A.L. 2002. *Analisa Kimia Kuantitatif*. Jakarta. Airlangga
- [8] D.A.Widodo, 2009., *Pemberdayaan Energi Matahari Sebagai Energi Listrik Lampu Pengatur Lalu Lintas*. Artikel Penelitian. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- [9] Fahyuan, D., H, F, Faizar., Heriyanti, S, Napitupulu., S, Pakpahan. 2015. *Disain Prototipe Sel Surya DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) Lapisan Grafit/TiO₂ Berbasis Dye Alami* , 1(1) ; 5-11.
- [10] Flanagan, R., J dkk. 2003. *Fundamental of Analytical Toksikologi*. New York. SP Press
- [11] Gong, J., J. Liang, dan K, Sumathy. 2012. Review On Dye-Sensitized Solar Cells DSSC): Fundamental Concepts And Novel Materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 hal. 5848–5860.
- [12] Grant, N. M, & C, Suryanayana. 1998. *X-Ray Diffraction : A Partical Approach*. New York. Plenum Press
- [13] Gratzel, M. 2003. Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology, Photochemistry review* 4, 145-153.
- [14] Halme, J., 2002. Dye-sensitized nanostructured dan organic photovoltaic cell: technical review and preliminary test. *Thesis Departement of Engineering Phisics and Mathematics Helsinki University of Technology. Espoo*
- [15] Hu, X., K, Huang., D, Fang., & S, Liu. 2011. Enhanced Performances of Dye Sensitized Solar Cell Based on Graphite-TiO₂ Composites. *Materials Science and Engineering B* , 431-435
- [16] Jf, Z., I, Handayani & M, Rosi. (t.thn.). *Optimasi Pembuatan Sel Surya TiO₂ Dengan Penyisipan Grafit* , 1-8.
- [17] J.M.R.C. Fernando, and G.K.R. Senadeera. 2008. *Current Science* 95(5), 663-666.
- [18] Khopkar, S. 2007. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta. Erlangga
- [19] Kumara., S, Maya., W, dan G, Prajitno. 2012. *Studi Awal Fabrikasi Dye sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Menggunakan Ekstraksi Daun Bayam (Amaranthus Hybridus L.) sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Jarak Sumber Cahaya pada DSSC*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [20] Martin. A., J, Swarbrik dan A, Cammarata. 1993. *Farmasi Fisik Dasar-Dasar Farmasi Fisik dalam Ilmu Farmasi*. Jakarta :Universitas Indonesia.
- [21] Nafi, M., & D, Susanti. 2013. Aplikasi Semikonduktor TiO₂ dengan Variasi Temperatur dan Waktu Kalsinasi sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Dye dari Ekstrak Buah Terung Belanda (*Solanum betaceum*). *JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2, No. 1, (2013) ISSN: 2337-3539* , F8-F2.
- [22] Prananto, D. 2013. Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) berbahan Dasar Klorofil Daun Cincau Sebagai Fotosensitiser , *Seminar Nasional Fisika*. 1-3.
- [23] Rakhman, D. F, S, H, Pramono & E, Paulana. 2014. *Pengaruh Variasi Konsentrasi Klorofil Terhadap Daya*

- Keluaran Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*, 1-9.
- [24] Seafast, C. 2012 *Merah-Ungu Antosianin, Pewarna Alami untuk Pangan*, 23-43
- [25] Smallman, R., & R, Bishop. 1999. *Modern Physics Metallurgy and Materials Engineering*. Oxford. Butterworth Maret
- [26] Smestad and Gratzel, 1998. A natural Dye-sensitized Nanocrystalline Energy Converter. *J. Chem. Educ.*, 75, *Demonstrating Electron Transfer and Nanotechnology* 752-756.
- [27] Subandi, & S, Hadi. 2015. Energi Matahari Sebagai Penggerak Pompa Air dengan Menggunakan Solar Sel, *Jurnal Teknologi Technoscientia. Pembangkit Listrik* 157-163.
- [28] Suharyana. 2012. *Dasar-Dasar dan Pemanfaatan Metode Difraksi Sinar-X*. Surakarta. Universitas Sebelas Maret
- [29] Susanti, D., M, Nafi., H, Purwaningsih., R, Fajarin & G, E, Kusuma. 2014. The Preparation of *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* from TiO_2 and Tamarillo Extract. *Procedia Chemistry* 9, 3-10
- [30] Taqiyah, R. 2012. *Perbandingan Struktur Kristal dan Morfologi Lapisan Tipis Barium Titanat (BT) dan Barium Zirkonium Titanat (BZT) yang ditumbuhkan dengan Metode Sol-Gel*. Surakarta. Skripsi, Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret
- [31] Vlack, H, Lawrence, Van. 2004. *Elemen-Elemen Ilmu dan Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga
- [32] Widyawati, N. 2012. *Analisa Pengaruh Heating Rate terhadap tingkat Kristal dan Ukuran Butir Lapisan BZT yang ditumbuhkan dengan Metode Sol-Gel*. Surakarta. Skripsi, Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret.
- [33] Wijayanti, S. 2010. Fabrikasi Prototipe DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) Menggunakan Klorofil Bayam (*Amaranthus Hybridus L.*) sebagai Dye Alami. *SKRIPSI*, 1-30.
- [34] Yuliarto, B. 2011. *Solar Cell, Sumber Energi Terbarukan Masa Depan*. Bandung: Teknik Fisika Institut Teknologi Bandung.
- [35] Zulichatun, D. 2015. Analisis Luas Permukaan Zeolit Alam Termodifikasi Dengan Metode BET, *Kelompok 3 Pelatihan Instrumen* 2015. 1-10.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN