

Pembuatan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan *Sensitizer* Antosianin dari Buah Buni (*Antidesma bunius L*)

Diah Lestari Pangestuti^a, Gunawan^a, Abdul Haris^{a*}

^a Analytical Chemistry Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang

* Corresponding author: a.haris@live.undip.ac.id

Article Info

Keywords:
Dye Sensitized Solar Cell (DSSC), TiO₂, electrode, Natural dye, Anthocyanin, Conductive glass

Kata kunci:
Sel surya pewarna tersensitisasi (SSPT), TiO₂, Antosianin, Pewarna alami, kaca konduktif, elektroda

Abstract

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) is a tool / device that can convert light energy into electrical energy. DSSC is a third generation solar cell consisting of a TiO₂ semiconductor placed on a conducting glass substrate and immersed in a dye. The dye as *Sensitizer* used comes from the buni fruit (*Antidesma bunius L*) and the substrate used comes from the LCD glass (Liquid Crystal Display). The DSSC construction uses a sandwich system consisting of working electrodes (semiconductor TiO₂-dye) and the opposing electrode (carbon) both of which are placed on conductive glass and electrolyte in order to cycle electrons. The purpose of this study was to produce a DSSC with a buni sensitizer (*Antidesma bunius L*), characterizing DSSC and knowing the efficiency of the DSSC. The results of the analysis using Scanning Electron Microscopy (SEM) showed the morphology of TiO₂ thin layer surface at 5000x and 40.000x magnification with cavities ranging from 135-693 nm and thin layer cross section TiO₂ showed homogeneous layers with 25 μm thickness, with uv-vis spectroscopy showing the dyestuff of buni fruits absorbing light at λ 525. The analysis with X-ray diffraction shows the intensity of the diffraction pattern is quite high with the main peak at 2θ that is 25.4093 with the spacing between the fields (d) of 3.50255Å. The maximum voltage generated by 0.223 V with a maximum current strength of 0.179.10⁻³ A and the resulting efficiency of 3.3 x 10⁻⁵%.

Abstrak

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) adalah suatu alat/piranti yang dapat mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. DSSC merupakan sel surya generasi ketiga yang terdiri dari semikonduktor TiO₂ yang diletakkan pada substrat kaca berkonduksi dan direndam dengan sebuah zat warna. Zat warna sebagai *Sensitizer* yang digunakan berasal dari buah buni (*Antidesma bunius L*) dan substrat yang dipakai berasal dari kaca LCD (*Liquid Crystal Display*). Konstruksi DSSC menggunakan sistem berlapis (*sandwich*) yang terdiri dari elektroda kerja (semikonduktor TiO₂-zat warna) dan elektroda lawan (karbon) yang keduanya diletakkan pada kaca berkonduksi serta elektrolit supaya terjadi siklus elektron. Tujuan dari Penelitian ini untuk menghasilkan DSSC dengan *sensitizer* dari buah buni (*Antidesma bunius L*), mengkaraktirisasi DSSC serta mengetahui efisiensi dari DSSC. Hasil analisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menunjukkan Morfologi permukaan lapis tipis TiO₂ pada perbesaran 5000x dan 40.000x yang berongga-rongga dengan ukuran berkisar antara 135-693 nm dan penampang lintang lapis tipis TiO₂ menunjukkan lapis-lapis homogen dengan ketebalan 25 μm, analisis dengan spektroskopi uv-vis menunjukkan zat warna buah buni menyerap cahaya pada λ 525, analisis dengan difraksi sinar X menunjukkan intensitas pola difraksi cukup tinggi dengan puncak utama pada 2θ yaitu 25,4093 dengan jarak antar bidang (d) sebesar 3,50255Å. tegangan maksimum yang dihasilkan sebesar 0,223 V dengan kuat arus maksimum sebesar 0,179.10⁻³ A dan efisiensi yang dihasilkan sebesar 3,3 x 10⁻⁵ %.

1. Pendahuluan

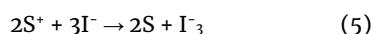
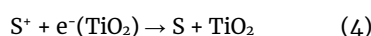
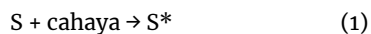
Kebutuhan energi yang semakin meningkat dengan bertambahnya pengguna energi di seluruh dunia menyebabkan sumber energi tak terbarukan semakin menipis. Berkembangnya zaman dan teknologi telah ditemukan sumber energi alternatif yaitu tenaga surya (*solar cell*). Saat ini banyak dikembangkan sel surya sebagai sumber energi masa depan. Para peneliti telah mengembangkan sel surya melalui beberapa generasi. Generasi pertama adalah sel surya sistem berlapis (*wafer*). Sel surya ini memiliki dua jenis, jenis pertama adalah sistem berlapis silikon tunggal yang menghasilkan efisiensi 16-17% dan jenis kedua adalah sistem berlapis silikon poli kristal yang menghasilkan efisiensi 13-15%. Generasi kedua adalah sel surya jenis lapis tipis (*thin film*) yang menghasilkan efisiensi 19,5%. Sedangkan generasi ketiga adalah sel surya jenis polimer atau disebut juga dengan sel surya organik dan sel surya fotoelektrokimia [1]. Sel surya ini pertama kali dikembangkan oleh Gratzel sehingga disebut juga sel Gratzel. Pembuatan DSSC ini cukup mudah, alat yang digunakan sederhana dan bahan yang digunakan mudah didapat.

Sejauh ini zat warna yang digunakan pada DSSC sebagai sensitizer adalah zat warna sintesis dan zat warna alami. Zat warna sintesis umumnya digunakan kompleks rutenium, akan tetapi zat warna sintesis ini mahal harganya, untuk itu digunakan zat warna alami yang dapat diekstrak dari bagian-bagian tumbuhan diantaranya buah, bunga dan daun. Berbagai ekstrak tumbuhan telah digunakan sebagai fotosensitizer. Sunaryo [2] telah mencoba kestabilan antosianin yang berada dalam buah buni (*Antidesma bunius L*). Pada penelitian ini pigmen antosianin pada buah buni ini digunakan sebagai sensitizer. Kandungan zat warna buah buni diantaranya saponin, alkaloid, flavonoid dan polifenol.

DSSC tersusun atas elektroda kerja anoda (semikonduktor TiO₂ - zat warna) dan elektroda lawan (karbon) katoda sebagai katalis yang keduanya dilapiskan pada kaca konduksi. Kaca konduksi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan kaca LCD (*Liquid crystal Display*) karena kaca LCD terdapat lapisan TCO yang mempunyai sifat berpenghantar sehingga dapat digunakan dalam pembuatan DSSC. Alasan menggunakan kaca LCD karena harganya yang relatif mahal. Elektrolit yang digunakan redoks biasanya berupa pasangan iodide dan triiodide (I⁻/I₃⁻) yang bertindak sebagai mediator redoks sehingga dapat menghasilkan proses siklus di dalam sel.

Prinsip kerja sel surya TiO₂ tersensitisasi *dye* ditunjukkan secara skematik pada Gambar 1, sedangkan urutan proses yang terjadi di dalam sel surya dirangkum pada persamaan (1-5). *Dye Sensitizer* (S) menyerap sebuah foton mengakibatkan elektron tereksitasi dari level HOMO ke LUMO pada molekul *dye*. *Dye Sensitizer* tereksitasi (S*) menginjeksi sebuah elektron kedalam pita konduksi (CB) semikonduktor (TiO₂) yang berada sedikit lebih tinggi daripada level konduksi TiO₂. Elektron tersebut melintas melewati partikel-partikel TiO₂

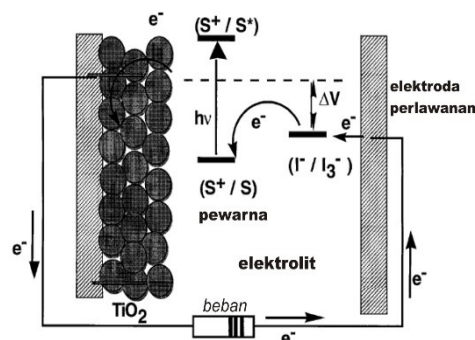
menuju kontak belakang berupa lapisan konduktif transparan ITO (indium tin oxide), selanjutnya ditransfer melewati rangkaian luar menuju elektroda lawan. Elektron masuk kembali ke dalam sel dan mereduksi sebuah donor teroksidasi (I⁺) yang ada di dalam elektrolit. *Dye Sensitizer* teroksidasi (S⁺) akhirnya menerima sebuah elektron dari donor tereduksi (I₃⁻) dan tergenerasi kembali menjadi molekul awal (S). Rangkaian reaksi kimia di dalam sel adalah sebagai berikut :



Simbol S menyatakan *dye sensitizer*

Tegangan yang dihasilkan oleh sel surya nanokristal tersensitisasi *dye* berasal dari perbedaan tingkat energi

konduksi elektroda semikonduktor TiO₂ dengan potensial elektrokimia pasangan elektrolit redoks (I⁻/I₃⁻). 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.



Gambar 1. Skema kerja DSSC

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 atau berbasis bahan organik atau anorganik sebagai konduktor hole.

Dalam penelitian ini sel surya yang dikembangkan menggunakan elektroda nanokristal TiO₂ dan zat warna antosianin yang diekstrak dari buah buni (*Antidesma bunius L*). Sedangkan untuk elektrolitnya digunakan elektrolit pasangan redoks (I⁻/I₃⁻). Elektrolit cair ini sesuai dengan potensiak redok dari zat warna sehingga cocok digunakan sebagai elektrolit akan tetapi elektrolit ini juga memiliki kelemahan yaitu mudah menguap karena panas sehingga tidak tahan lama terhadap panas

dan mudah terdegradasi. Diharapkan pada penelitian berikutnya menggunakan elektrolit yang tidak mudah menguap salah satunya dan sekarang masih dilakukan penelitian yaitu dengan elektrolit padat atau polimer (*polyethylene glycol*) PEG.

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi substrat kaca berlapis bahan *transparent conductive oxide* (TCO) pada kaca LCD, serbuk TiO_2 (Merk), *Polyvinil Alcohol* (PVA), asetonitril, metanol, asam asetat, aseton, akuades, Kalium Iodida (KI), Iodin (I_2) pro analisis, buah buni dan serbuk karbon. Peralatan yang digunakan antara lain multimeter, potensiometer, pensil, Scotch (3M) tape, batang gelas (*glass stirring rod*), neraca Ohaus 311, kertas tisu, filter, mortar, pH Indikator Acilit (pH 0-6), Spektrofotometer UV-Vis Genesys™ 10 Series, XRD XD-610 SHIMADZU, spektroskop inframerah.

2.2. Pembuatan Suspensi TiO_2

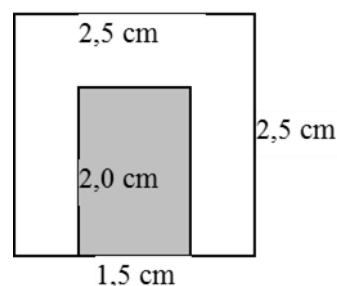
Polyvinil Alcohol (PVA) sebanyak 10 % berat ditambahkan ke dalam akuades, kemudian diaduk pada temperatur 80 °C. Suspensi ini akan berfungsi sebagai binder dalam pembuatan pasta. Suspensi ditambahkan pada bubuk TiO_2 sebanyak kurang lebih 90 % volume. Kemudian digerus oleh mortar sampai terbentuk pasta yang baik untuk dilapiskan. Derajat viskositas dari pasta untuk mendapatkan pasta yang optimal didapatkan dengan mengatur banyaknya binder dan juga bila diperlukan ditambahkan juga air pada campuran binder dan bubuk TiO_2 .

2.3 Ekstraksi Zat Warna dari Buah buni (*Antidesma bunius L*)

Metode ekstraksi dengan menambahkan pelarut methanol:asam asetat:air (25:4:21 perbandingan volume) sebanyak 10 mL. Kemudian dilakukan perendaman (maserasi) selama 24 jam dan wadahnya tertutup dengan aluminium foil untuk meminimalkan kontak langsung dengan cahaya. Setelah itu dilakukan penyaringan untuk memperoleh ekstrak zat warna alami [3].

2.4 Deposisi TiO_2 pada Substrat Kaca Berkonduksi

Kaca LCD sepanjang 2,5 cm x 2,5 cm dilakukan pencucian dengan deterjen dan pembilasan dengan etanol sebelum dilapisi. Tepi substrat sepanjang 2 cm dan 1,5 cm dari tepi diberi isolasi Scotch 3M untuk mengontrol ketebalan lapisan. Suspensi TiO_2 diletakkan pada tepi substrat, kemudian diratakan dengan spatula setelah itu dilakukan pengeringan di uadar terbuka. Setelah kering isolasi dilepas dan dilakuka pemanasan dalam *furnace* pada suhu 450 °C selama 15 menit.



Gambar 2. Ilustrasi Skema Area Deposisi Pasta TiO_2

2.5 Perendaman Lapis Tipis TiO_2 pada Zat Warna Buah Buni (*Antidesma bunius L*)

Metode perendaman Lapis tipis TiO_2 ke dalam larutan zat warna buah buni (*Antidesma bunius L*) selama kurang lebih 30 menit kemudian lapisan TiO_2 akan menjadi berwarna merah keunguan. Pada proses ini terjadi adsorpsi sianin ke permukaan TiO_2 , menggantikan OH^- dari struktur Ti^{4+} yang berkombinasi dengan proton dari sianin [3].

2.6 Perakitan Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

2.6.1 Pembuatan Elektrolit

Pelarutan Kalium Iodida (KI) sebanyak 0,83 g ke dalam 10 mL asetonitril dan dilakukan pengadukan sampai larut. Setelah itu dilakukan penambahan 0,127 g I_2 kedalam larutan tersebut dan dilakukan pengadukan hingga larut sempurna. Penyimpanan larutan elektrolit dalam botol tertutup [3].

2.6.2 Pembuatan Elektroda Lawan Karbon

Penambahan *Polyvinil Alcohol* (PVA) sebanyak 10 % kedalam akuades, kemudian dilakukan pengadukan pada temperatur 80 °C. Suspensi ini akan berfungsi sebagai binder dalam pembuatan pasta. Penambahan suspensi tersebut pada serbuk grafit sebagai karbon. Pasta grafit dilapiskan ke LCD pada bagian konduktifnya kemudian dilakukan pemanasan pada temperatur 450 °C selama 10 menit agar grafit membentuk kontak yang baik sesama partikel grafit [3].

2.6.3 Konstruksi Sel

Konstruksi sel surya yang digunakan adalah sistem *sandwich*. Peletakan elektroda lawan grafit di atas lapisan TiO_2 dengan struktur *sandwich*. Selanjutnya peletakan elektrolit dalam ruang

antara kedua elektroda. Kemudian dilakukan penjepitan sel pada kedua sisi supaya merekat. Setelah itu sel surya siap untuk dilakukan pengujian [3].

2.7 Analisis Spektrofotometer

Karakteristik serapan larutan zat warna dianalisis dengan spektrofotometer UV-tampak pada panjang gelombang 400 nm–700 nm.

2.8 Difraksi Sinar X

Penentuan fase kristal lapis tipis TiO_2 dilakukan melalui metode analisis difraksi sinar X dengan radiasi Cu Ka (1,5406 Å) pada tegangan 40 kV arus 30mA, 20–

20–30 serta nikel sebagai filter. Difraktometer yang dihasilkan dibandingkan dengan data ISCD (*Inorganic Crystal Structure Database*) TiO₂. Pengujian dilakukan di laboratorium XRD, Pusat Pengembangan dan Penelitian Geologi Kelautan Bandung.

2.9 Scanning Electron Microscopy (SEM)

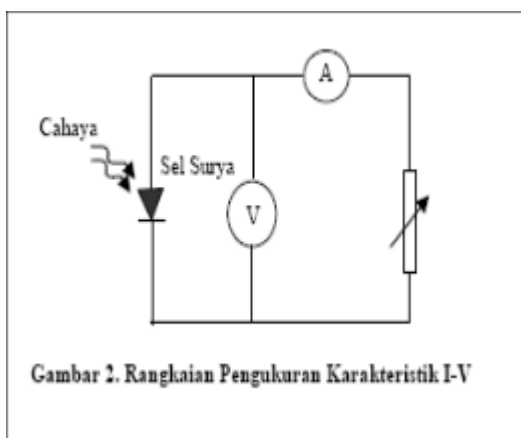
Karakterisasi morfologi dan tampak lintang lapis tipis dilakukan dengan menggunakan alat SEM JSM-35C yang terdapat di Pusat Pengembangan dan Penelitian Geologi Bandung. Kondisi pengukuran pada tegangan 20 kV pada perbesaran morfologi permukaan 5.000x dan 40.000x serta perbesaran tampak lintang 1.000x dan 2.000x

2.10 Karakterisasi Serapan Inframerah TiO₂–Zat Warna Buah Buni (*Antidesma bunius L*)

Sensitisasi zat warna pada lapis tipis TiO₂ dapat dimungkinkan dengan terjadinya ikatan atau interaksi antara gugus pada zat warna buah buni (*Antidesma bunius L*) dengan permukaan lapis tipis TiO₂. Terjadinya ikatan zat warna dengan TiO₂ dapat diketahui dengan membandingkan spektra inframerah campuran secara fisika dye-TiO₂ dengan dye–lapis tipis TiO₂ hasil adsorpsi. Dilakukan analisis inframerah pada campuran secara fisika buah buni (*Antidesma bunius L*)-TiO₂ pada perbandingan 1:10 serta dye–lapis tipis TiO₂ hasil adsorpsi pada bilangan gelombang 4000–400 cm⁻¹. Pengujian dilakukan di laboratorium Instrumentasi terpadu Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

2.11 Pengukuran Potensial Sel Surya

Kinerja sel surya lapis tipis TiO₂ yang tersensitisasi zat warna alami dilakukan pengukuran arus. Rangkaian pengukuran sel surya sistem sandwich dilakukan dengan potensiometer, multimeter. Pengukuran dilakukan dengan variasi tegangan dan arus yang terbaca pada amperemeter dicatat. Pengukuran dilakukan pada kondisi terdapat cahaya.



Gambar 3. Rangkaian listrik sel

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Ekstraksi Zat Warna Buah Buni (*Antidesma bunius L*)

Ekstraksi buah buni (*Antidesma bunius L*) dilakukan dengan metode maserasi yang bertujuan untuk

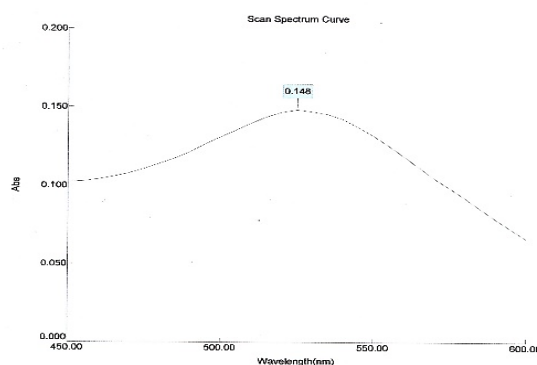
memperoleh pigmen antosianin. Penggunaan pigmen antosianin dalam sel surya ini dikarenakan kemampuannya dalam menyerap cahaya tampak dan sebagai donor proton dalam proses transfer elektron.

Perendaman buah buni dilakukan dengan menambahkan larutan metanol:asam asetat:air dengan perbandingan (25:4:21) karena pigmen antosianin dalam buah buni dapat terekstrak dalam sistem pelarut alkohol-asam. Asam dapat mendenaturasi membran sel tumbuhan dan metanol mampu melarutkan antosianin karena sama-sama bersifat polar. Akuades dalam sistem pelarut bertujuan untuk memudahkan asam untuk terhidrolisis dan melarutkan pigmen antosianin yang tak sepenuhnya larut dalam metanol. Antosianin adalah kelompok pigmen yang menyebabkan warna jingga sampai merah-ungu sampai biru-tua pada bagian tumbuhan mulai dari bunga, buah, daun dan batang.

Selama proses perendaman dalam campuran pelarut, kontak dengan cahaya diminimalisasi untuk menghindari kerusakan gugus kromofor yang terdapat pada senyawa antosianin yang digunakan untuk berikatan dengan TiO₂. Kerusakan gugus kromofor dapat disebabkan oleh eksitasi elektron karena adanya energi dari cahaya berupa foton. Ekstrak Antosianin yang di dapat berwarna merah keunguan, hal ini dikarenakan antosianin pada suasana asam akan berwarna sesuai dengan kesetimbangan struktur antosianin yang tergantung oleh nilai pH [4].

3.2 Analisis Serapan Zat Warna Buah Buni (*Antidesma bunius L*)

Analisis larutan zat warna antosianin dari buah buni (*Antidesma bunius L*) dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis yang diukur pada panjang gelombang 400–700 nm dan diperoleh panjang gelombang maksimum sebesar 525 nm dengan absorbansi 0,148.



Gambar 4. Spektra UV-Vis zat warna buah buni

Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa zat warna dari buah buni (*Antidesma bunius L*) menyerap spektrum pada panjang gelombang tampak. Spektrum tampak pada panjang gelombang 525 nm adalah spektrum warna biru-hijau. Oleh karena itu, zat warna antosianin dari buah buni (*Antidesma bunius L*) berwarna ungu karena menyerap warna biru-hijau dan memantulkan warna merah keunguan. Warna merah keunguan pada pigmen antosianin ini menunjukkan

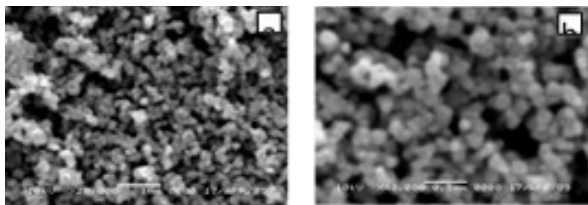
adanya glukosida yang terikat pada suatu senyawa sianidin [5]. Zat warna utama yang terdapat pada buah buni adalah delfinidin-3-O-glukosida, sianidin-3-O-glukosida dan sianidin-3-O-rutinosida. Senyawa tersebut merupakan golongan flavonoid dan fenolik [4].

3.3 Karakterisasi Lapis Tipis TiO₂

Karakteristik lapis tipis TiO₂ dianalisis melalui dua metode yaitu metoda *scanning electron microscopy* (SEM) dan metoda difraksi sinar X. Analisis SEM bertujuan untuk mengetahui bentuk permukaan dan ketebalan dari lapis tipis TiO₂. Analisis dengan metode difraksi sinar X (XRD) bertujuan untuk mengetahui karakteristik fase kristal dari lapis tipis TiO₂.

3.3.1 Karakterisasi Morfologi Lapis Tipis TiO₂

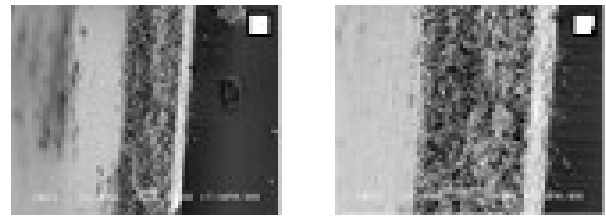
Analisis morfologi lapis tipis TiO₂ dilakukan untuk mengetahui bentuk permukaan dan ketebalan lapis tipis TiO₂ dengan menggunakan metode SEM. (*Scanning Electron Microscopy*).



Gambar 5. Morfologi permukaan lapis tipis TiO₂ dengan (a) pembesaran 5000x dan (b) pembesaran 40000x

Hasil perbesaran morfologi lapis tipis TiO₂ berongga-rongga dari yang terkecil (5a) sampai terbesar (5b) dengan luas rongga berkisar antara 135 nm sampai dengan 693 nm yang diukur dari perbandingan rongga terkecil-terbesar dikali dengan skala. Permukaan lapis tipis TiO₂ yang berongga-rongga dengan ukuran skala nanometer merupakan ukuran yang optimal sebagai suatu bahan semikonduktor. Rongga pada permukaan lapis tipis berfungsi dalam adsorpsi molekul antosianin ke TiO₂. Jumlah dan luas rongga mempengaruhi efektivitas adsorpsi molekul zat warna antosianin ke dalam permukaan lapis tipis TiO₂ [6]. Selain itu, rongga pada lapis tipis TiO₂ juga bisa mempermudah penyebaran larutan elektrolit dalam lapis tipis TiO₂ elektroda kerja sel surya.

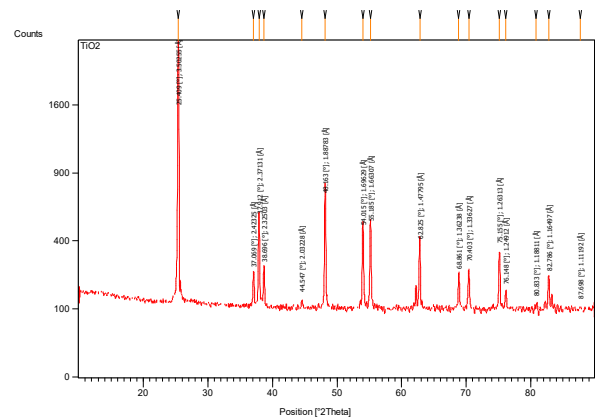
Analisis ketebalan lapis tipis TiO₂ ditunjukkan pada gambar 3. Penampang melintang lapis tipis TiO₂ dari hasil pencitraan SEM mempunyai ketebalan 25 μm. Ketebalan penampang melintang lapis tipis TiO₂ mempengaruhi efektivitas aliran elektron dalam rangkaian karena elektron yang diinjeksi akan melewati sejumlah besar partikel koloid. Semakin tipis lapisan TiO₂ maka cahaya yang menembus lapisan TiO₂ semakin mudah sehingga mempengaruhi keefektifan kinerja dari DSSC [7].



Gambar 6. Penampang lintang lapistipis TiO₂ dengan pembesaran 1.000x (c) dan pembesaran 2.000x (d)

3.3.2 Karakterisasi Fase Kristal Lapis Tipis TiO₂

Karakterisasi fase kristal TiO₂ dilakukan dengan metode difraksi sinar X (XRD) yang bertujuan untuk mengetahui fase kristal dari TiO₂. Hasil Difraktogram XRD lapis tipis TiO₂ menunjukkan bahwa TiO₂ yang digunakan memiliki fase kristal anatase. Hasil Difraktogram tersebut dapat ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 7. Difraktogram XRD TiO₂

Hasil Difraktogram XRD yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan data standar primer TiO₂ dari ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*) dengan metode POWD-12++

Difraktogram lapis tipis TiO₂ dapat disimpulkan bahwa derajat kristalisasi sampel TiO₂ cukup tinggi dengan terlihatnya puncak yang cukup tajam. Difraktogram lapis tipis TiO₂ menunjukkan adanya 1 puncak yang paling tajam yaitu pada 2θ (°) = 25,4093. Berdasarkan persamaan Bragg dengan panjang gelombang yang digunakan sebesar 0,15406 nm, diperoleh jarak antar bidang (d) sebesar 3,50255 x 10⁻¹⁰ m. Sehingga dapat disimpulkan bahwa lapis tipis TiO₂ yang dihasilkan tersusun atas fase anatase. Dari perhitungan diperoleh fraksi kristal anatase sebesar 17.47 nm.

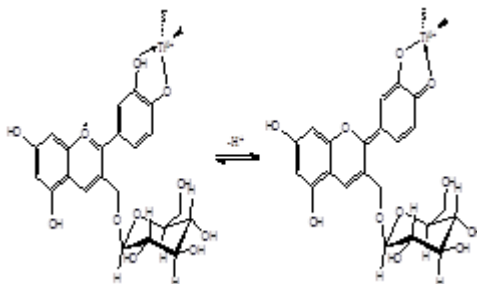
Struktur kristal anatase memiliki aktivitas yang paling baik diantara fase rutil dan brukit. Proses pemanasan digunakan pada temperatur 450°C-500°C untuk membentuk kristal anatase, hal ini dikarenakan kristal anatase lebih stabil pada temperatur tersebut dan jika temperaturnya melebihi 500°C kemungkinan akan menjadi rutil dan brukit. Kristal anatase memiliki sifat fisis yang tak mampat, transport muatan lebih mudah serta luas permukaan yang lebar menyebabkan

kemampuan adsorpsi zat warna lebih mudah dan jumlah zat warna yang teradsorpsi pada lapis tipis TiO₂ lebih banyak.

Struktur kristal anatase memiliki aktivitas yang paling baik diantara fase rutil dan brokit. Proses pemanasan digunakan pada temperatur 450°C-500°C untuk membentuk kristal anatase, hal ini dikarenakan kristal anatase lebih stabil pada temperatur tersebut dan jika temperaturnya melebihi 500°C kemungkinan akan menjadi rutil dan brokit. Kristal anatase memiliki sifat fisis yang tak mampat, transport muatan lebih mudah serta luas permukaan yang lebar menyebabkan kemampuan adsorpsi zat warna lebih mudah dan jumlah zat warna yang teradsorpsi pada lapis tipis TiO₂ lebih banyak.

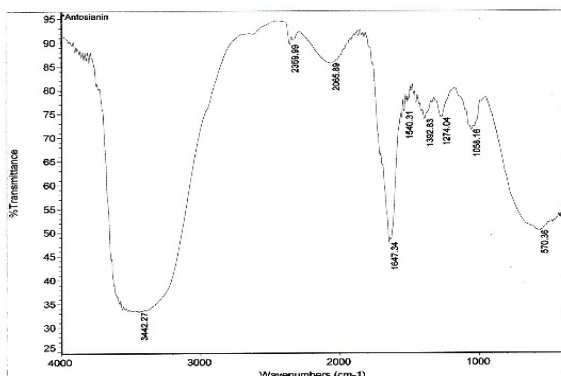
3.4 Karakterisasi Ikatan Molekul Zat Warna dengan TiO₂

Pada rangkaian DSSC syarat terjadinya arus listrik yaitu terjadinya ikatan molekul zat warna antosianin dengan TiO₂. Molekul zat warna antosianin yang berikatan dengan TiO₂ dengan adanya cahaya menyebabkan eksitasi elektron ke pita konduksi semikonduktor TiO₂ melalui kaca berpenghantar. Elektron inilah yang menyebabkan timbulnya arus listrik. Ikatan yang terjadi pada zat warna antosianin dengan TiO₂ dapat terjadi melalui suatu ikatan kelat. Ikatan tersebut dapat terjadi antara gugus hidroksil dari antosianin dan gugus Ti⁴⁺ pada TiO₂.



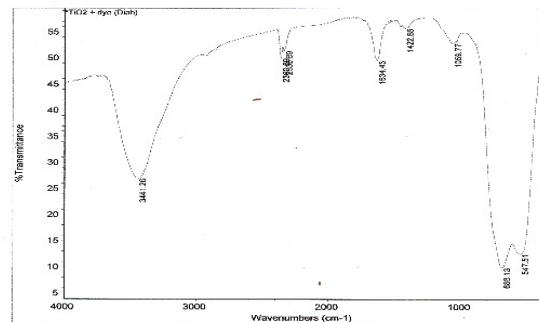
Gambar 8. Ikatan kelat yang terjadi antara gugus Ti⁴⁺ dengan molekul antosianin [1]

Analisis ikatan kelat dilakukan dengan metode FTIR untuk mengetahui ikatan antara zat warna antosianin dengan TiO₂. Analisis ini dilakukan dengan membandingkan spektra zat warna dengan spektra TiO₂-zat warna.



Gambar 9. Spektra FTIR zat warna dari buah buni

Dari hasil analisis spektra FTIR zat pewarna diperoleh serapan di daerah 3442,27 cm⁻¹ menunjukkan terdapat gugus hidroksil yang dapat membentuk suatu ikatan hidrogen dengan intensitas 33,262 cm⁻¹. Gugus OH ini menunjukkan adanya gugus OH fenol pada senyawa antosianin ataupun senyawa alkohol dalam larutan zat warna. Senyawa alkohol dalam larutan berasal dari salah satu penyusun pelarut antosianin yaitu etanol. Senyawa alkohol juga dapat dimungkinkan terbentuk dari hidrolisis glukosida yang terdapat pada antosianin menjadi alkohol yang disebut aglikon dan molekul gula. Pita serapan pada 1647,34 cm⁻¹ merupakan serapan C=C dengan intensitas 47,787 cm⁻¹. Pita lebar pada 570,36 cm⁻¹ menunjukkan substitusi atom karbon jenuh pada posisi meta sehingga serapan pada daerah 1540,31 cm⁻¹ yang didukung adanya serapan 570,36 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus benzen dengan substitusi pada posisi meta. Serapan pita pada 1058,16 menunjukkan adanya gugus C-O. Serapan pada 1392,83 dan 1274,04 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus metil. Pada spektra FTIR TiO₂-zat warna didapatkan hasil yang berbeda dari spektra FTIR larutan zat warna. Perbedaan ditunjukkan pada nilai transmitansi, jumlah serapan dan pergeseran nilai bilangan gelombang dari serapan.

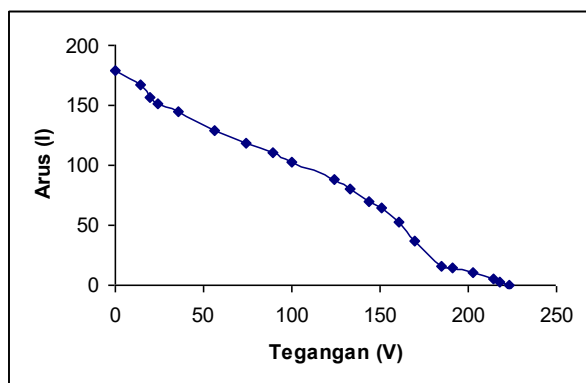


Gambar 10. Spektra FTIR TiO₂-zat warna

Muncul atau hilangnya pita serapan menunjukkan adanya ikatan kimia antara TiO₂ dengan zat warna yang ditunjukkan pada nilai pergeserannya. Munculnya pita serapan baru pada bilangan gelombang 1062,34 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus C-O. Munculnya pita kuat lebar pada daerah bilangan gelombang 674,98 cm⁻¹ menunjukkan adanya Ti⁴⁺ sebagai lapis tipis yang berikatan khelat dengan senyawa antosianin. Hilangnya pita serapan pada 1540,31; 1392,83; dan 1274,04,09 cm⁻¹ menunjukkan senyawa antosianin telah berikatan dengan Ti⁴⁺ dan membentuk senyawa khelat yang stabil.

3.5 Pengukuran DSSC

Pengukuran DSSC dilakukan dengan metode kurva arus dan tegangan. Tujuan dari pengukuran DSSC ini untuk mengetahui keefektifan sel surya yang telah dibuat dalam mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Pengukuran DSSC dengan metode kurva I-V menggunakan variasi tegangan untuk menentukan besaran-besaran dalam penentuan efisiensi DSSC. Besaran dalam penentuan efisiensi DSSC adalah tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubung pendek (I_{sc}), tegangan optimum (V_{MPP}), arus optimum (I_{MPP}) dan fill factor (FF).



Gambar 11. Kurva I-V pada DSSC

Dari pengukuran kurva arus tegangan dengan P_{cahaya} sebesar $0,1 \text{ W/cm}^2$ dan luas aktif sel surya adalah 3 cm^2 diperoleh hasil pada tabel .1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran arus dan tegangan serta efisiensi pada DSSC.

Besaran	Nilai
V_{oc}	0,223 v
I_{sc}	179 μ A
V_{MPP}	0,0983 v
I_{MPP}	102 μ A
FF	0,251
P_{max}	$1,0019 \times 10^{-5} \text{ W}$
η	$3,3 \times 10^{-5} \%$

Data tabel di atas menunjukkan keefektifan DSSC dalam mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik, walaupun efisiensi yang dihasilkan relatif kecil yaitu $3,3 \times 10^{-5} \%$. Nilai efisiensi ini berbeda jauh dari penelitian pembuatan DSSC dengan menggunakan kompleks rhutenium yang menghasilkan efisiensi sebesar 1%. Nilai efisiensi yang relatif kecil ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain keterbatasan sensitisasi yang dilakukan oleh molekul antosianin dari buah buni (*Antidesma bunius L*) ke pita konduksi TiO_2 . Elektron zat warna yang tereksitasi berada pada keadaan tidak stabil sehingga ada kemungkinan elektron terinjeksi ke pita TiO_2 atau elektron berekombinasi kembali ke keadaan dasar (*ground state*). Injeksi elektron ke pita konduksi TiO_2 diakibatkan adanya interaksi antara zat warna dengan TiO_2 melalui ikatan khelat yang terjadi. Senyawa antosianin dari buah buni (*Antidesma bunius L*) mampu membentuk satu ikatan khelat dengan TiO_2 . Berbeda dengan senyawa kompleks rhutenium jenis N3, kompleks rhutenium ini mempunyai empat gugus karboksilat yang mempunyai tiga kemungkinan untuk berikatan dengan TiO_2 yaitu membentuk ikatan monodentat, kelat atau multidentat. Apabila tidak terjadi ikatan antara zat warna dengan TiO_2 maka tidak terjadi injeksi elektron menuju ke pita konduksi.

Efisiensi DSSC juga dipengaruhi oleh intensitas sinar yang diterima oleh substrat kaca karena tidak semua sinar dapat diserap dan sebagian yang

dipantulkan sehingga mempengaruhi efektifitas dari DSSC. Elektrolit yang digunakan mempunyai jangka waktu penggunaan yang pendek karena mudah rusak dan menguap karena panas sehingga mempengaruhi efisiensi dari DSSC.

Pembuatan DSSC dengan menggunakan antosianin dari buah buni (*Antidesma bunius L*) sebagai senyawa pensensitisasi mampu menghasilkan energi listrik walaupun efisiensi yang diperoleh relatif kecil. Selain itu juga menggunakan alat sederhana yang mampu menghasilkan DSSC dengan baik sehingga dapat menentukan arus dan tegangan dari DSSC.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Telah dibuat rangkaian *dye sensitized solar cell* (DSSC) dengan menggunakan *sensitizer* antosianin dari buah buni (*Antidesma bunius L*).
2. Karakterisasi komponen-komponen DSSC dapat ditunjukkan sebagai berikut:
 - a) Zat warna tersensitisasi dari buah buni (*Antidesma Bunius L*) memiliki panjang gelombang maksimum 525 nm dengan absorbansi 0,148.
 - b) Karakterisasi hasil dengan FTIR menunjukkan bahwa TiO_2 telah membentuk ikatan khelat dengan senyawa antosianin.
 - c) Hasil difraksi sinar X menunjukkan bahwa TiO_2 memiliki fase kristal anatase.
 - d) Karakterisasi dengan SEM menunjukkan bahwa pori dan struktur kristal telah menunjukkan ukuran dalam skala nano.
3. Efisiensi rangkaian DSSC dalam penelitian ini sebesar yaitu $3,3 \times 10^{-5} \%$.

5. Daftar Pustaka

- [1] N.J. Cherepy, G.P. Smestad, M. Grätzel, J.Z. Zhang, Ultrafast electron injection: implications for a photoelectrochemical cell utilizing an anthocyanin dye-sensitized TiO_2 nanocrystalline electrode, *The Journal of Physical Chemistry B*, 101 (1997) 9342-9351.
- [2] Sunaryo, Optimasi Hasil Percobaan Yang Mengandung Data Pencilan (Studi Kasus Stabilitas Antosianin Buah Buni, *Antidesma Bunius*), Jurnal Undergraduate Theses in: Department of Statistic, Sepuluh November Institute of Technology, Surabaya, 2007.
- [3] W. Septina, D. Fajarisandi, M. Aditia, Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye-sensitized Solar Cell), Laporan Penelitian Bidang Energi, Institut Teknologi Bandung, Bandung, (2007).
- [4] P.G. Kapasakalidis, R.A. Rastall, M.H. Gordon, Extraction of polyphenols from processed black currant (*Ribes nigrum L.*) residues, *Journal of*

agricultural and food chemistry, 54 (2006) 4016-4021.

- [5] J. Fernando, G. Senadeera, Natural anthocyanins as photosensitizers for dye-sensitized solar devices, *Curr. Sci*, 95 (2008) 10.
- [6] Y.S. Chen, J.N. Lee, S.Y. Tsai, C.C. Ting, Manufacture of dye-sensitized nano solar cells and their IV curve measurements, in: *Materials Science Forum*, Trans Tech Publ, 2008, pp. 324-330.
- [7] Y. Liu, H. Shen, X. Huang, Y. Deng, A new improved structure of dye-sensitized solar cells with reflection film, *Chinese Science Bulletin*, 51 (2006) 369-373.