

Studi Penggunaan Dye Antosianin Kulit Manggis, Dye Sintetis N-749, Dan Kuantum Dot Cdse Terhadap Karakteristik Optik Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (Dssc)

Ichsanul Huda, Endarko

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: endarko@physics.its.ac.id

Abstrak— Dye-Sensitized Solar Cell berbasis dye antosianin kulit manggis, dye sintetis N-749, kuantum dot koloid CdSe, dan dye antosianin kulit manggis dengan penambahan dye sintetis N-749 dan kuantum dot CdSe sebagai dye sensitizer telah berhasil dibuat dan dikarakterisasi. Penambahan dye sintetis N-749 dan kuantum dot koloid CdSe bertujuan untuk meningkatkan kinerja fotosensitizer dalam penyerapan cahaya, yang dapat meningkatkan efisiensi DSSC. Lima jenis dye sensitizer digunakan dalam studi disiapkan dengan rasio 100% dye antosianin kulit manggis (tipe 1), 100% dye sintetis N-749 (tipe 2), 100% kuantum dot CdSe (tipe 3), 20% dye sintetis N-749 + 80% dye antosianin kulit manggis (tipe 4), dan 20% kuantum dot CdSe + 80% dye antosianin kulit manggis (tipe 5). Penambahan ini terbukti lebih meningkatkan penyerapan cahaya, mempersempit energi gap fotosensitizer, dan meningkatkan efisiensi DSSC daripada hanya menggunakan dye sensitizer berupa dye antosianin kulit manggis, dye sintetis N-749, dan kuantum dot CdSe saja sebagai pewarna sensitizer untuk DSSC. Selanjutnya, efisiensi dapat ditingkatkan sekitar 134,1% dan 106,3%, masing-masing, dibandingkan dengan hanya menggunakan dye antosianin kulit manggis saja sebagai dye sensitizer.

Kata kunci: Dye-Sensitized Solar Cell, dye antosianin kulit manggis, dye sintetis N-749, energi gap, kuantum dot CdSe.

I. PENDAHULUAN

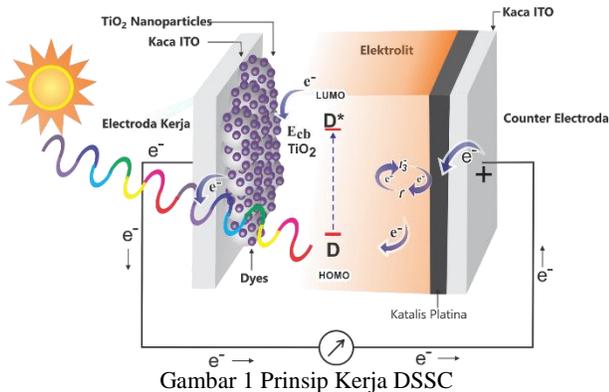
Dye sensitized Solar Cell (DSSC) yang ditemukan oleh Michael Gratzel pada tahun 1991 merupakan motor pengembangan sel surya generasi ketiga. DSSC merupakan jawaban dari permasalahan yang dihadapi oleh sel surya generasi pertama dan kedua yaitu tingkat kesulitan dalam hal fabrikasi dan mahalnya biaya pembuatan[1]. DSSC yang merupakan jenis sel surya berbasis material organik, memiliki potensi untuk diproduksi dengan biaya yang lebih murah dan proses pembuatan yang lebih mudah[2]. DSSC terdiri dari beberapa komponen yaitu; molekul pewarna, semikonduktor oksida yang memiliki pita celah lebar, transparent conducting oxide (TCO), dan elektrolit[3]. Masing-masing komponen tersebut memiliki peran yang sangat besar dalam menentukan efisiensi DSSC. Akan tetapi Wongcharee,dkk pada tahun 2007 menjelaskan bahwa komponen yang terpenting pada DSSC adalah molekul pewarna (dye sensitizer), karena penggunaan molekul pewarna sangat mempengaruhi spektrum cahaya yang dapat diserap oleh DSSC

dan juga kemampuan untuk melekat pewarna di dalam permukaan semikonduktor sangat menentukan efisiensi dari DSSC.

Pewarna yang menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 11-12% adalah ruthenium complex[4]. Namun ruthenium complex mengandung logam berat yang dapat mencemari lingkungan, serta proses sintesisnya sangat rumit dan membutuhkan biaya yang mahal. Alternatif pewarna yang ramah lingkungan dan biayanya cukup murah adalah pewarna alami[5]. Beberapa tanaman yang digunakan sebagai pewarna alami adalah buah delima dengan efisiensi 1,5 %, buah naga dengan efisiensi 0,22 %, kulit manggis dengan efisiensi 1,17 %, bunga mawar china dengan efisiensi 0,27 % , buah kopi dengan efisiensi 0,33%. Dari sekian banyak pewarna alami, manggis menjadi jenis tanaman lokal yang menjanjikan untuk digunakan sebagai fotosensitizer pada DSSC, mengingat jumlah tanaman ini melimpah di Indonesia. Hasil panen buah manggis di Indonesia pada tahun 2015 mencapai 79.073 ton

Pewarna alami yang digunakan sebagai sensitizer pada DSSC sangat menjanjikan. Meskipun lifetime dan absorbansinya masih terbilang rendah[6]. Sehingga dilakukan berbagai cara untuk meningkatkan lifetime dan absorbansi dari pewarna alami, seperti yang dilakukan oleh Pratiwi pada tahun 2016 yaitu dengan cara penambahan dye sintetis N-719 kedalam dye klorofil, yang mampu meningkatkan efisiensi sebesar 95% dari sebelumnya. Dan saat ini Dunia nanopartikel dikejutkan dengan penelitian kuantum dot beragam ukuran. Hal ini dikarenakan, kuantum dot merupakan nanopartikel dari bahan semikonduktor yang dapat memancarkan cahaya. Kuantum dot yang memiliki sifat optik berkesesuaian dengan spektrum cahaya matahari adalah kuantum dot CdSe[7]. Berdasarkan uraian yang telah disebutkan, maka melalui penelitian ini akan dilakukan pengembangan penelitian tentang penambahan dye sintetis N-749 dan Kuantum dot koloid CdSe terhadap dye antosianin kulit manggis untuk meningkatkan lifetime dan rentang absorbansinya.

Berbeda dengan sel surya konvensional, DSSC merupakan sel surya berbasis fotoelektrokimia sehingga menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan. Pada dasarnya prinsip kerja DSSC mengkonversi energi cahaya ke listrik dalam skala molekular dalam bentuk reaksi dari transfer elektron [8]. Prinsip Kerja DSSC dapat kita lihat lebih jelas pada gambar berikut ini

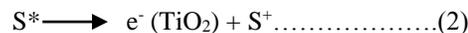


Gambar 1 Prinsip Kerja DSSC

Ketika foton mengenai elektroda kerja pada DSSC, energi foton tersebut diserap oleh *dye* sensitizer sehingga elektron tereksitasi dari *ground state* (S°) ke *excited state* (S^*).



Pada keadaan ini timbul medan listrik antara grup COOH *dye* dengan lapisan TiO_2 . COOH melepaskan ion H^+ dan teradsorpsi ke lapisan TiO_2 sehingga *dye* bermuatan lebih negatif. Kemudian akan terjadi aliran elektron dari *dye* menuju TiO_2 meninggalkan hole dan menyebabkan *dye* teroksidasi (S^+).



Elektron pada TiO_2 bergerak ke daerah konduktif menuju rangkaian luar dan kemudian mencapai elektroda pembanding dan setelah itu bergerak menuju elektrolit. Pergerakan elektron dari elektroda pembanding menuju elektrolit dapat dipercepat dengan memanfaatkan karbon sebagai katalis.

Elektrolit mempunyai peran pada DSSC dengan kemampuannya mengalami reaksi reduksi sekaligus reaksi oksidasi. Elektrolit redoks yang sering digunakan berupa elektrolit cair berbasis iodine yang merupakan pasangan iodide dan triiodide (I^-/I_3^-). Penggunaan elektrolit cair ini memiliki kekurangan karena masih mengalami kebocoran dan cepat menguap. Oleh karena itu, elektrolit cair diubah menjadi elektrolit gel dengan penambahan polimer. Polimer yang sering digunakan adalah PEG (*polyethylene glycole*). Pasangan iodide dan triiodide (I^-/I_3^-) sangat berperan dalam siklus yang dialami oleh sel DSSC. Triiodida dari elektrolit yang terbentuk berperan untuk menangkap elektron yang berasal dari rangkaian luar dengan bantuan molekul karbon sebagai katalis. Sementara iodide berperan untuk mereduksi *dye* yang telah mengalami oksidasi.

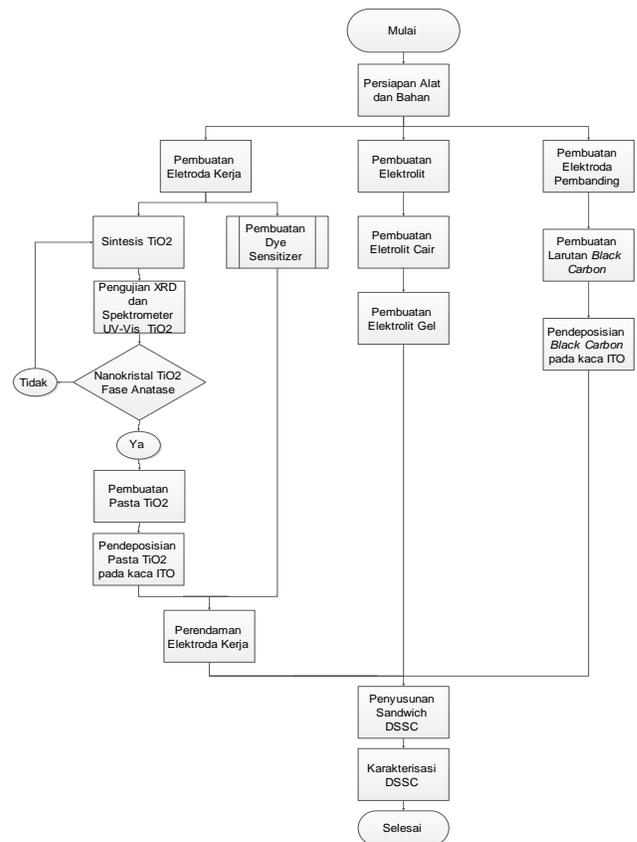


Proses reduksi *dye* yang dilakukan oleh iodide dari elektrolit menyebabkan terjadinya pergerakan hole dari molekul *dye* ke elektrolit dan pergerakan elektron dengan arah yang sebaliknya pada persambungan elektrolit dengan molekul *dye*, sehingga *dye* kembali ke keadaan awal dengan persamaan reaksi reduksi [8].

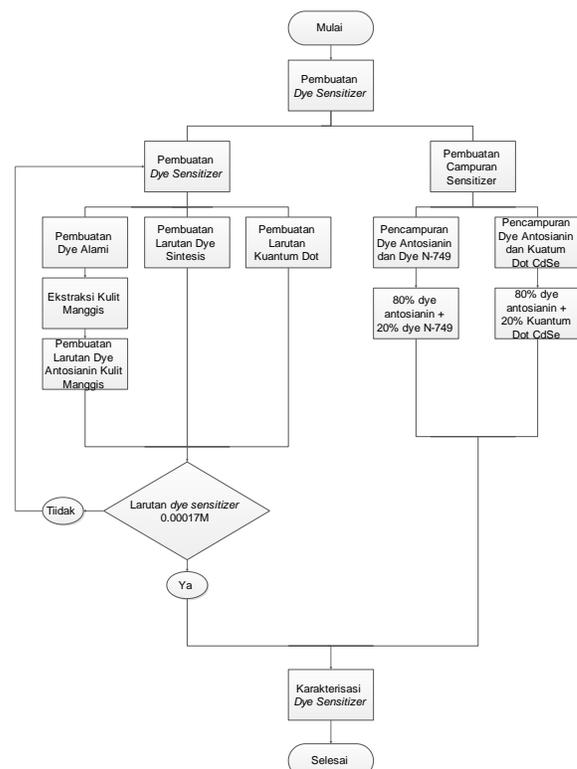


II. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini secara singkat dapat dijelaskan dengan diagram alir berikut ini



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3 Diagram Alir pembuatan Dye Sensitizer

A. Persiapan

Tahap persiapan ini meliputi persiapan dan pembersihan kaca ITO dengan menggunakan ultrasonic cleaner. Dilakukan dengan cara alkohol 96% dituangkan pada gelas kimia sebanyak 200 ml kemudian kaca ITO berukuran $2 \times 2 \text{ cm}^2$ yang akan digunakan pada penelitian ini dimasukkan pada gelas kimia yang telah berisi alkohol 96%. Setelah itu gelas kimia yang berisi alkohol 96% dan kaca ITO dimasukkan ke ultrasonic cleaner yang telah diisi aquades, kemudian diatur waktu 60 menit. Setelah 60 menit kaca di keringkan menggunakan hot plate dengan suhu 80°C . Kemudian kaca ITO disimpan dalam aluminium foil agar tidak terkontaminasi dengan material lain. Bersih tidaknya kaca ITO mempengaruhi hasil pengujian dari sampel yang akan dilapiskan. Selain dilakukan persiapan dan pembersihan kaca ITO, dilakukan juga proses persiapan dan pembersihan mortar, gelas kimia, gelas ukur, krusible, pipa tetes, dan pengaduk.

B. Sintesis Serbuk TiO_2

Serbuk TiO_2 yang digunakan pada penelitian ini adalah nanopartikel TiO_2 dengan fase anatase. Sintesis nanopartikel TiO_2 fase anatase dilakukan dengan metode kopresipitasi. Kopresipitasi merupakan metode yang prosesnya dilakukan pada suhu rendah sehingga waktu yang dibutuhkan relatif lebih singkat, yaitu dengan mencampurkan asam dan basa sehingga memperoleh endapan bahan yang diinginkan. Pertama dituangkan aquades 100ml ke dalam gelas kimia yang kemudian ditambahkan 20ml TiCl_3 dan diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 1 jam. Kemudian tetap dalam keadaan diaduk, larutan tersebut ditetesi NH_4OH hingga larutan mencapai pH 9. Setelah mencapai pH 9 penetesan dihentikan dan dibiarkan dalam keadaan diaduk dengan waktu 3 jam hingga larutan menjadi warna putih pekat.

Selanjutnya larutan tersebut di endapkan pada suhu kamar dan tertutup rapat selama 24 jam. Setelah mengendap, dilakukan pencucian dengan cara membuang cairan yang ada dan menggantinya dengan aquades sebanyak 200 ml. Setelah itu larutan kembali diaduk dan di endapkan. Proses ini dilakukan secara berulang hingga didapatkan endapan dengan pH 7. Setelah mendapatkan pH 7, endapan tersebut dikalsinasi pada suhu 400°C dengan waktu holding selama 3 jam hingga terbentuk serbuk TiO_2 dengan fase anatase. Untuk mengetahui fase dan ukuran kristal dari TiO_2 yang disintesis maka dilakukan uji XRD hingga diperoleh data difraksi untuk kemudian diolah kedalam software *Match!* Dan software *MAUD*.

C. Pembuatan Pasta TiO_2

Serbuk nanopartikel TiO_2 fase anatase yang telah disintesis kemudian diubah menjadi pasta TiO_2 . Proses pembuatan pasta dilakukan dengan cara sebagai berikut : pertama serbuk TiO_2 sebanyak 1 gram digerus dan dihaluskan

dalam mortar, kemudian ditambahkan 0.7 ml aquades dalam keadaan tetap digerus selama 10 menit. Selanjutnya ditambahkan 0,3 gram PEG-4000, 0,7 ml asam asetat, dan 0,7 ml triton X-100. Pasta TiO_2 yang sudah terbentuk dimasukkan ke dalam botol kemudian ditutup rapat.

D. Pendeposisian Pasta TiO_2 Pada Kaca ITO

Pasta TiO_2 yang telah dibuat selanjutnya dideposisikan pada kaca ITO. Pendeposisian pasta TiO_2 pada kaca ITO adalah proses pelapisan pasta TiO_2 pada permukaan konduktif dari kaca ITO. Banyak teknik pendeposisian pasta TiO_2 pada kaca ITO. Namun pada penelitian ini digunakan metode dokter blade hal ini disebabkan karena metode dokter blade memiliki keunggulan yakni mudah dalam mengontrol ketebalan yang diinginkan. Pada kedua sisi kaca ITO berukuran $2 \times 2 \text{ cm}^2$ dibentuk area pembatas dari plastik setebal $10 \mu\text{m}$ untuk mendapatkan area pendeposisian pasta TiO_2 dengan ukuran luasan $2 \times 2 \text{ cm}^2$ juga sebagai kontrol ketebalan lapisan TiO_2 . Pada penelitian ini dibuat ketebalan $10 \mu\text{m}$ pada lapisan TiO_2 yakni terdeposisi. Setelah pasta TiO_2 terdeposisi kemudian dipanaskan pada suhu 450°C selama 15 menit dengan tujuan untuk menghilangkan bahan-bahan campuran yang digunakan sebagai pelarut. Setelah itu, didinginkan pada suhu ruangan.

E. Pembuatan Larutan Dye

Pada penelitian ini variasi yang digunakan adalah pada sensitizer dari elektroda kerja DSSC, yaitu 100% dye antosianin kulit manggis (tipe 1), 100% dye sintetis N-49 (tipe 2), 20% Kuantum Dot CdSe (tipe 3), 80% dye antosianin kulit manggis + 20% dye sintetis N-49 (tipe 4), dan 80% dye antosianin kulit manggis + 20% Kuantum Dot CdSe (tipe 5).

Dye antosianin berasal dari ekstrak manggis, dimana kulit manggis dikeringkan pada temperatur 100°C dengan menggunakan furnace selama 10 jam. Kemudian kulit manggis yang sudah kering diblender hingga menjadi bubuk. Setelah itu 1 mg bubuk kulit manggis dilarutkan dalam 20 ml ethanol 96%. Selanjutnya sensitizer diaduk menggunakan magnetic stirrer pada temperatur 60°C selama 30 menit.

Kemudian larutan yang telah diaduk didinginkan selama 20 menit. Larutan tersebut disimpan di dalam botol gelap selama 7 hari kemudian disaring. Dan dye sintetis yang digunakan yakni dye N-749, dimana 3mg serbuk dye dilarutkan kedalam 12.6mL ethanol dan di aduk menggunakan stirrer selama 10 menit. Sedangkan kuantum dot yang digunakan adalah kuantum dot CdSe yaitu 1 ml kuantum dot dilarutkan kedalam 30 mL toluena.

F. Karakterisasi Absorbansi Larutan Dye

Untuk mengetahui daya absorbansi larutan dye dan kuantum dot yang digunakan maka dilakukan karakterisasi absorbansi dengan menggunakan spektrometer UV-Vis di laboratorium Zat Padat Jurusan Fisika FMIPA ITS. Disiapkan

tujuh buah cuvet, dimana kelima buah kuvet masing-masing diisi dengan 100% dye antosianin kulit manggis, 100% dye sintetis N-49, 20% Kuantum Dot CdSe, 80% dye antosianin kulit manggis + 20% dye sintetis N-49, dan 80% dye antosianin kulit manggis + 20% Kuantum Dot CdSe. Sedangkan dua buah cuvet masing-masing diisi ethanol dan toluena untuk mengkalibrasi spektrometer Uv-Vis. Pengujian dilakukan adalah seperti gambar berikut ini.

Kemudian setelah didapatkan data hasil pengujian spektrometer UV-Vis dilakukan pengolahan data menggunakan software Origin 8 untuk mengetahui grafik absorbansi terhadap panjang gelombang. Dan dilakukan perhitungan energi gap fotosensitizer

G. Perendaman Elektroda Kerja

Pada penelitian ini dibuat 5 buah elektroda kerja kemudian masing di rendam pada 100% dye antosianin kulit manggis, 100% dye sintetis N-49, 20% Kuantum Dot CdSe, 80% dye antosianin kulit manggis + 20% dye sintetis N-49, dan 80% dye antosianin kulit manggis + 20% Kuantum Dot CdSe selama 24 jam.

H. Pembuatan Elektrolit Gel

Elektrolit yang digunakan adalah berupa elektrolit gel berbasis polimer PEG (polyethylene glycole) dengan berat molekul (BM) 1000. 7 g PEG 1000, 25 ml kloroform dan elektrolit cair dicampurkan dan diaduk secara homogen dengan magnetik stirrer sambil dipanasi 80°C hingga diperoleh elektrolit bersifat gel. Elektrolit cair sendiri dibuat dari 3 gram KI yang dilarutkan kedalam 10 ml acetonitril.

I. Pembuatan Elektroda Pemandangan

Elektroda karbon pada DSSC berupa kaca dengan permukaan konduktif yang dilapisi oleh karbon. Fungsi karbon sebagai katalis untuk mempercepat reaksi pada DSSC. Karbon yang digunakan adalah black carbon.

J. Pembuatan Sandwich DSSC

Lapisan sandwich secara berurutan terdiri dari elektroda kerja, elektrolit dan elektroda karbon seperti terlihat pada Gambar 3.7 Sisi-sisi elektroda kerja dilapisi dengan gasket yang memiliki ketebalan 500 μm , 10 μm telah ditempati oleh elektroda kerja, sehingga akan ada ruang 490 μm yang dapat diisi dengan elektrolit gel. Setelah elektrolit diisi, kemudian ditutup dengan elektroda karbon dengan rapat. Agar gel elektrolit tidak mengalir ataupun menguap keluar yang menyebabkan berkurangnya jumlah elektrolit yang digunakan, maka packaging dibuat sedemikian rupa sehingga susunan sandwich terutama elektrolit tetap dalam keadaan dan jumlah yang konstan. Dipermukaan gasket direkatkan dengan double tape untuk merekatkan elektroda kerja-elektrolit dengan elektroda karbon.

K. Pengujian Performansi DSSC

Karakterisasi arus dan tegangan (I-V) akan dilakukan di laboratorium Fisika ITB- Bandung menggunakan alat Keithley I-V meter. Data keluaran dan alat I-V meter merupakan nilai arus dan tegangan. Perlakuan yang diberikan adalah disinari lampu halogen 100 mW/cm². Data output dari alat tersebut adalah nilai arus dan tegangan output. Kemudian dapat dibuat grafik hubungan antara tegangan dan arus menggunakan Origin 8. Dari grafik hubungan tersebut dapat diketahui karakteristik sel DSSC yang dibuat dengan menganalisa parameter sel-surya seperti; tegangan open-circuit (Voc), Arus short circuit (Isc), Maximum Power Point (MPP), tegangan dan arus pada MPP (V_{MPP} dan I_{MPP}), Fill factor (FF) dan Efisiensi.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Karakterisasi Serbuk TiO₂ Nanokristal Sebagai Semikonduktor Oksida Pada DSSC

Lapisan tipis semikonduktor oksida memiliki peranan yang cukup sentral dalam menentukan kinerja fotovoltatik pada DSSC yaitu, sebagai tempat penyerapan fotosensitizer secara kimiawi, mengumpulkan elektron *photogenerated* yang berasal dari tingkat LUMO molekul fotosensitizer, dan melakukan pengangkutan elektron menuju Transparent Conducting Oxide[9]. Diantara sekian banyak semikonduktor oksida, TiO₂ merupakan semikonduktor oksida yang paling banyak digunakan dalam pembuatan DSSC. TiO₂ sebagai semikonduktor oksida memiliki beberapa keunggulan jika dibandingkan semikonduktor oksida lainnya, diantaranya ; tingkat kestabilan tinggi, bahan tidak beracun, biaya pembuatan lebih murah, dan lebar pita energi tinggi.

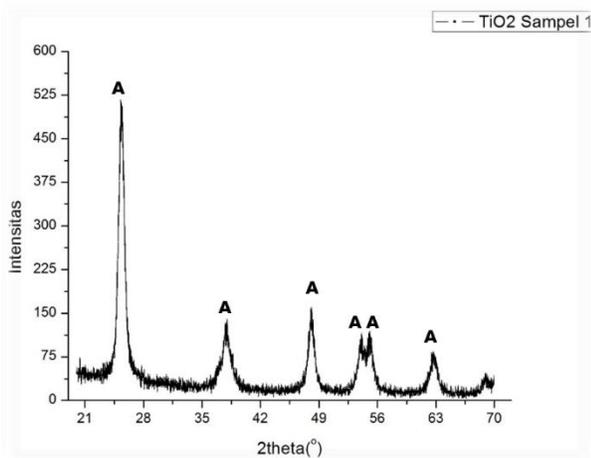
TiO₂ memiliki tiga jenis fase yaitu anatase, rutil dan brookite. Dari ketiga fase tersebut fase anatase merupakan fase yang paling cocok digunakan untuk aplikasi DSSC, karena fase anatase memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan kedua fase lainnya, yaitu kemampuan penyerapan cahaya tinggi, kemampuan dalam proses reaksi reduksi-oksidasi (transformasi kimia) yang lebih baik, sehingga dapat mempercepat laju penyerapan foton dan reaksi antar muka terhadap *dye* dan elektrolit pada DSSC. Selain itu fase anatase mampu untuk mengadsorpsi molekul *dye* yang lebih banyak dan koefisien difusi elektronnya tinggi, Serta memiliki energi gap yang paling tinggi dan merupakan fase yang paling stabil[10]. Pada penelitian ini TiO₂ yang digunakan adalah TiO₂ hasil sintesis yang dilakukan oleh penulis oleh karena itu perlu dilakukan karakterisasi terhadap TiO₂ yang telah disintesis. TiO₂ dengan precursor TiCl₃ disintesis dengan metode kopsipitasi.

Karakterisasi yang dilakukan diantaranya bertujuan untuk mengetahui fase TiO₂, ukuran TiO₂ dan energi gap TiO₂ yang telah disintesis. Untuk mengetahui fase TiO₂ dan ukuran kristal TiO₂ dilakukan pengujian XRD (*X-Ray Diffractometer*) terhadap serbuk TiO₂, sehingga diketahui hasil pola difraksi kristal yang ditimbulkan oleh interaksi partikel TiO₂ dengan sinar-X. Sedangkan untuk mengetahui energi gap TiO₂ dilakukan uji Spektrometer UV-Vis.

1) Fase TiO₂

TiO₂ yang diharapkan pada penelitian ini adalah TiO₂ fase anatase. Sejauh ini TiO₂ fase anatase merupakan semikonduktor oksida yang paling banyak digunakan dalam pembuatan DSSC. Hal ini dikarenakan TiO₂ fase anatase memiliki banyak keunggulan dibandingkan fase brokite dan fase rutil. Pada tahun 2002 Halme menjelaskan bahwa TiO₂ fase Anatase sangat dibutuhkan dalam pembuatan DSSC karena TiO₂ dalam fase ini memiliki kemampuan fotoaktif yang tinggi, sehingga dapat memberikan arus foton yang lebih besar dibandingkan dengan fase Rutil dan fase brokite.

Hasil pengujian XRD yang telah dilakukan kemudian diolah dengan menggunakan software *Match!* untuk di cocokkan dengan database referensi yang telah ada sebelumnya sehingga dapat diketahui puncak-puncak pada tiap sudut 2θ dari TiO₂ yang telah disintesis sesuai dengan database referensi dari TiO₂. Penggolongan fase anatase, brokite dan rutil dari serbuk TiO₂ adalah berdasarkan puncak-puncak yang terbentuk pada nilai 2θ. Telah kita ketahui bahwa TiO₂ yang diharapkan pada penelitian ini adalah TiO₂ fase anatase. Oleh karena itu nilai 2θ yang didapatkan dari data hasil pengujian XRD dicocokkan dengan JCPDS 21-1272 yang merupakan data referensi untuk TiO₂ fase anatase.



Gambar 4 Hasil uji XRD TiO₂ fase Anatase

Dari hasil pengolahan data menggunakan software *Match!* didapatkan TiO₂ yang telah disintesis merupakan TiO₂ fase anatase, karena puncak-puncak dari TiO₂ yang disintesis berkesesuaian dengan puncak TiO₂ fase anatase dalam database referensi yang telah ada yaitu pada 2θ :25,324°, 37,862°, 48,033°, 54,991° dan 62,689°. Dengan dihasilkannya TiO₂ dengan fase anatase ini diharapkan dapat memberikan performa terbaiknya dalam aplikasinya sebagai semikonduktor oksida yang digunakan pada DSSC dengan kelebihan-kelebihan yang dimilikinya.

2) Ukuran Kristal TiO₂

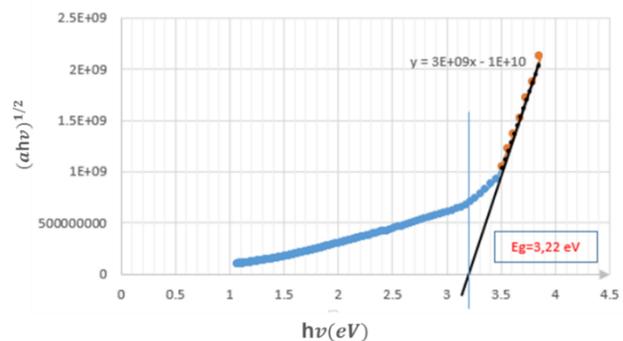
Karakterisasi TiO₂ hasil sintesis tidak cukup jika hanya dilakukan untuk mengetahui fasenya saja. Akan tetapi juga perlu dilakukan karakterisasi untuk mengetahui ukuran kristal dari TiO₂, karena ukuran dari TiO₂ yang digunakan sebagai semikonduktor oksida pada DSSC sangat mempengaruhi kemampuannya untuk megabsorpsi molekul-molekul *dye*. Karakterisasi ukuran TiO₂ ini juga dilakukan dengan uji

XRD. Akan tetapi, berbeda dengan cara untuk mengetahui fasenya, cara untuk mengetahui ukuran kristal TiO₂ dilakukan dengan cara mengolah data hasil uji XRD dengan menggunakan software MAUD (*Materials Analysis Using Diffraction*). Pada tahun 2014 dengan penelitiannya Kethini dapat menjelaskan bahwa ukuran TiO₂ yang baik digunakan pada pembuatan DSSC adalah dengan ukuran kristal kurang dari 30 nm (< 30nm). Hasil pengolahan data XRD dari serbuk TiO₂ pada penelitian ini dengan MAUD diperoleh ukuran kristal sebesar 11,1 nm. Hasil ini menunjukkan bahwa ukuran kristal TiO₂ yang digunakan pada penelitian ini masuk pada ukuran kristal TiO₂ yang baik untuk digunakan pada pembuatan DSSC. Ukuran kristal TiO₂ juga sangat berpengaruh pada kinerja DSSC. Penggunaan nanokristal TiO₂ pada pembuatan DSSC akan membentuk struktur nanopori pada luasan substrat yang terdeposisi TiO₂, sehingga akan menambah luasan permukaan semikonduktor oksida tersebut yang dapat menyebabkan TiO₂ dapat menampung lebih banyak *dye*. Dengan semakin banyaknya *dye* yang ada pada elektroda kerja maka akan memberikan dampak positif pada peningkatan jumlah cahaya yang terabsorpsi dan semakin banyak pula elektron *photogenerated* yang dapat didonorkan dari tingkat LUMO *dyesensitizer* menuju pita konduksi TiO₂[10].

3) Energi Gap TiO₂

Energi gap atau pita celah energi dari semikonduktor oksida pada DSSC juga merupakan faktor yang sangat mempengaruhi kinerja dari DSSC. Semikonduktor dengan energi gap < 1,67 eV memiliki kemampuan untuk menyerap semua spektrum cahaya tampak. Sedangkan semikonduktor dengan energi gap > 3,26 eV, tidak dapat menyerap semua spektrum cahaya tampak. Dan ketika semikonduktor memiliki Energi gap diantara 1,67 eV – 3,26 eV, semikonduktor hanya dapat menyerap sebagian cahaya tampak[11]. Semikonduktor TiO₂ fase anatase memiliki pita celah 3,2 eV[12]. Hal ini membuat *dye* yang paling sesuai dengan fase anatase adalah *dye* yang memiliki absorbansi dengan panjang gelombang 387nm sampai 413nm, karena pada panjang gelombang tersebut dapat menghasilkan energi yang cukup untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi.

Energi Gap TiO₂ pada penelitian ini didapatkan melalui pengujian UV-Vis spektrometer, dengan mengetahui spektrum absorbansi dari TiO₂ maka dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui energi gap TiO₂ yang digunakan. Data hasil pengujian spektrometer UV-Vis diolah dan didapatkan hasil berikut ini



Gambar 5 Energi gap TiO₂ fase Anatase

Dari hasil pengolahan data spektrum absorbansi TiO₂ yang telah dilakukan didapatkan energi gap TiO₂ adalah sebesar 3,22eV. Seperti yang telah dijelaskan oleh dari penelitian Narayan pada tahun 2011, angka 3,22 eV ini masih termasuk dalam rentang energi gap yang dimiliki oleh TiO₂ fase Anatase.

B. Karakterisasi Optis Fotosensitizer

Komponen yang terpenting dalam mempengaruhi kinerja DSSC adalah molekul pewarna atau *dye sensitizer* yang berperan sebagai fotosensitizer, karena spektrum cahaya yang diserap pewarna dan melekatnya pewarna di dalam permukaan semikonduktor sangat menentukan efisiensi dari DSSC[4]. *Dye sensitizer* yang menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 11-12 % adalah ruthenium complex[5]. Namun ruthenium complex mengandung logam berat yang dapat mencemari lingkungan, serta proses sintesisnya sangat rumit dan membutuhkan biaya yang mahal. Alternatif pewarna yang ramah lingkungan dan biayanya cukup murah adalah pewarna alami[4]. Pewarna dari bahan kulit manggis merupakan alternatif yang memiliki potensi besar, hal ini dikarenakan kulit manggis mengandung zat antosianin[13]. Manggis merupakan jenis tanaman lokal yang menjanjikan untuk digunakan sebagai fotosensitizer pada DSSC, mengingat jumlah tanaman ini melimpah di Indonesia. Hasil panen buah manggis di Indonesia mencapai 79.073 ton (Direktorat Jenderal Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian, 2006).

Pewarna dari bahan kulit manggis juga sangat dibutuhkan demi mencapai kesesuaiannya dengan Semikonduktor oksida yang digunakan yaitu TiO₂ fase anatase yang memiliki pita celah 3,22 eV. Pewarna yang sesuai dengan pita celah fase anatase adalah pewarna yang memiliki absorbansi dengan panjang gelombang 387nm sampai 413nm, karena pada panjang gelombang tersebut dapat menghasilkan energi yang cukup untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Pewarna kulit manggis merupakan pewarna yang sesuai untuk semikonduktor TiO₂. Akan tetapi penggunaan pewarna dari kulit manggis masih menyisakan beberapa kekurangan diantaranya adalah absorbansinya yang cenderung lebih sempit. Oleh karena itu ada penelitian ini dilakukan studi tentang pewarna yang digunakan pada DSSC yaitu *dye* alami, *dye* sintetis dan kuantum dot. *Dye* alami yang digunakan adalah *dye* antosianin kulit manggis, *dye* sintetis yang digunakan adalah *dye* sintetis N-749 (black dye), dan kuantum dot yang digunakan adalah kuantum dot koloid CdSe. Pada penelitian ini juga dilakukan karakterisasi optis terhadap pewarna yang digunakan, yaitu melalui uji UV-Vis spektrometer yang bertujuan untuk mengetahui spektrum absorbansi dan energi gap pewarna

IV. BAB IV KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Kuantum dot koloid CdSe memiliki rentang absorbansi terlebar. Dan dye N-749 memiliki energi gap terkecil
2. Penambahan Dye N-749 dan Kuantum Dot CdSe dapat meningkatkan absorbansi dan mempersempit energi gap Dye Antosianin Kulit Manggis

3. Prototipe DSSC berbasis Dye Antosianin Kulit Manggis, Dye N-749, dan Kuantum Dot CdSe telah berhasil di fabrikasi dan dikarakterisasi
4. Penambahan Dye N-749 dan Kuantum Dot CdSe terhadap Dye Antosianin Kulit Manggis sebagai sensitizer dapat meningkatkan efisiensi sebesar 134,1% dan 106,3% dari sebelumnya

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa, Kedua Orang Tua, Dosen Pembimbing, Seluruh Elemen Pengajar dan Staf Jurusan Fisika, serta Teman-teman Penulis yang telah memberikan kelancaran, dukungan, dan motivasi kepada Penulis dalam melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. M. Shauddin, "Comparison among Various Emerging PV Cells with History, Current Status and Future Challenges," *Energy Power*, vol. 3, no. 6, hal. 91–105, 2013.
- [2] J. S. Bendall, L. Etgar, S. C. Tan, N. Cai, P. Wang, S. M. Zakeeruddin, M. Grätzel, dan M. E. Welland, "An efficient DSSC based on ZnO nanowire photo-anodes and a new D-π-A organic dye," *Energy Environ. Sci.*, vol. 4, no. 8, hal. 2903–2908, 2011.
- [3] J.-K. Lee dan Y. Mengjin, "Progress in light harvesting and charge injection of dye-sensitized solar cells," 2011.
- [4] K. Wongcharee, V. Meeyoo, dan S. Chavadej, "Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from rosella and blue pea flowers," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 91, no. 7, hal. 566–571, 2007.
- [5] Y. Chiba, A. Islam, Y. Watanabe, R. Komiya, N. Koide, dan L. Han, "Dye-sensitized solar cells with conversion efficiency of 11.1%," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 45, no. 7L, hal. L638, 2006.
- [6] S. Hao, J. Wu, Y. Huang, dan J. Lin, "Natural dyes as photosensitizers for dye-sensitized solar cell," *Sol. Energy*, vol. 80, no. 2, hal. 209–214, 2006.
- [7] H. Q. Nguyen, "Synthesis and optical properties of CdSe nanocrystals and CdSe/ZnS core/shell nanostructures in non-coordinating solvents," *Adv. Nat. Sci. Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 1, no. 2, hal. 025004, Jun 2010.
- [8] J. Halme, "Dye-sensitized nanostructured and organic photovoltaic cells: technical review and preliminary tests," *Helsinki University Technol.*, 2002.
- [9] J.-K. Lee dan M. Yang, "Progress in light harvesting and charge injection of dye-sensitized solar cells," *Mater. Sci. Eng. B*, vol. 176, no. 15, hal. 1142–1160, Sep 2011.
- [10] H. Zhang dan J. F. Banfield, "Understanding polymorphic phase transformation behavior during growth of nanocrystalline aggregates: insights from TiO₂," *J. Phys. Chem. B*, vol. 104, no. 15, hal. 3481–3487, 2000.
- [11] W. D. Callister dan D. G. Rethwisch, *Materials science and engineering: an introduction*, vol. 7. Wiley New York, 2007.
- [12] M. R. Narayan, "Review: dye sensitized solar cells based on natural photosensitizers," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 1, hal. 208–215, 2012.
- [13] S. Agustini, "Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Berdasarkan Fraksi Volume TiO₂ Anatase-Rutile dengan Garcinia mangostana dan Rhoecia spathacea sebagai Dye Fotosensitizer," *J. Tek. ITS*, vol. 2, no. 2, hal. B131–B136, 2013.