



Sintesis Semikonduktor TiO_2 serta Aplikasinya pada *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) Menggunakan *Dye Indigo Carmine*

Winda Risky Aprilla^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:
DSSC, TiO_2 , Indigo Carmine

Kata Kunci:
DSSC, TiO_2 , *Indigo Carmine*

Abstract

DSSC is one of environmentally friendly alternative energy. DSSC converts solar energy into electrical energy. DSSC consists of semiconductor electrodes, dyes, opponent electrode and electrolyte. The purpose of this research was to synthesize the TiO_2 semiconductors used as working electrodes in DSSC and applied in the sun. The steps were the synthesis of TiO_2 , characterization using XRD and SEM EDX, preparation of semiconductor electrode, preparation of counter electrode, electrolyte preparation I^-/I_3^- , preparation of indigo carmine dye, fabrication of DSSC, and measurement of current and voltage of DSSC made. From the results of this study, it was obtained that the maximum wavelength indigo carmine was 610.5 nm. TiO_2 thin layer divergence showed the intensity of the diffraction pattern is quite high with a peak of 2θ i.e. 24.65° ; 47.45° ; and 37.21° with a crystal size of 14.04 nm. The morphology of the thin layer TiO_2 surface at 3,000x magnification showed a porous and spherically porous surface of TiO_2 . EDX results showed that the detected Ti composition was 56.88% and the detected O was 38.02%. The current and voltage values of DSSC were 1.37 μA and 68.47 mV respectively.

Abstrak

DSSC merupakan salah satu energi alternatif yang ramah lingkungan. DSSC mengubah energi surya menjadi energi listrik. DSSC terdiri dari elektroda semikonduktor, pewarna, elektroda lawan dan elektrolit. Tujuan dari penelitian ini adalah mensintesis semikonduktor TiO_2 yang digunakan sebagai elektroda kerja pada DSSC dan diaplikasikan di bawah sinar matahari. Tahapan yang dilakukan adalah sintesis TiO_2 , karakterisasi menggunakan XRD dan SEM EDX, penyiapan elektroda semikonduktor, pembuatan elektroda lawan, penyiapan elektrolit I^-/I_3^- , penyiapan pewarna indigo carmine, pembuatan DSSC, serta pengukuran arus dan tegangan DSSC yang dibuat. Dari hasil dari penelitian ini, diperoleh panjang gelombang maksimum indigo carmine adalah 610,5 nm. Difraktogram lapis tipis TiO_2 menunjukkan intensitas pola difraksi cukup tinggi dengan puncak 2θ yaitu $24,65^\circ$; $47,45^\circ$; dan $37,21^\circ$ dengan ukuran kristal sebesar 14,04 nm. Morfologi permukaan lapis tipis TiO_2 pada perbesaran 3.000x menunjukkan permukaan TiO_2 yang berpori dan berbentuk sferik. Hasil EDX menunjukkan bahwa unsur Ti yang terdeteksi sebesar 56,88% dan unsur O yang terdeteksi sebesar 38,02%. Nilai arus dan tegangan DSSC sebesar 1,37 μA dan 68,47 mV.

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi diprediksikan semakin meningkat sebesar 70% antara tahun 2000 sampai 2030. Cadangan sumber energi yang berasal dari fosil di seluruh dunia

diperkirakan hanya sampai 40 tahun untuk minyak bumi. Sumber energi yang berasal dari fosil saat ini menyumbang 87,7%. Tenaga air, tenaga angin, geothermal, biomassa, sumber energi matahari

menyumbang 12,3% [1]. Salah satu dampak yang ditimbulkan jika menggunakan bahan bakar fosil adalah *global warming*.

Ketergantungan tinggi terhadap sumber energi fosil yang tidak terbarukan menempatkan krisis energi sebagai masalah teratas yang akan dihadapi manusia [2]. Upaya pencarian sumber energi terbarukan sebaiknya memenuhi syarat yaitu biaya ekonomis dan tidak berdampak negatif terhadap lingkungan.

Menurut Gratzel [3], salah satu solusi yang memungkinkan untuk tantangan energi tersebut adalah pemanfaatan energi matahari yang melimpah, kontinyu, bersih, dan terbarukan dengan efisiensi tinggi. Energi surya yang saat ini mulai dikembangkan yaitu teknologi DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) yang dapat mengkonversi sinar tampak menjadi energi listrik berdasarkan sensitivitas lebar bandgap dari bahan semikonduktor [4].

Komponen DSSC terdiri dari nanopori TiO_2 , molekul zat warna (*dye*) yang teradsorpsi di permukaan TiO_2 , katalis pada elektroda perlawanan dan kaca konduktif. Keunggulan dari DSSC adalah tidak memerlukan bahan dengan kemurnian tinggi sehingga biaya produksinya relatif rendah. Namun demikian, DSSC memiliki kelemahan yaitu stabilitasnya rendah karena penggunaan elektrolit cair yang mudah mengalami degradasi atau kebocoran [5].

Penyerapan cahaya pada DSSC dilakukan oleh molekul zat warna (*dye*) dan pemisahan muatan oleh semikonduktor yang memiliki celah pita besar. Salah satu semikonduktor bercelah pita besar yang sering digunakan adalah Titanium oksida (TiO_2) yang memiliki celah pita sebesar 3,2 eV. Untuk aplikasinya dalam DSSC, TiO_2 harus memiliki permukaan yang luas sehingga zat warna (*dye*) yang terserap lebih banyak dan hasilnya akan meningkatkan arus foton. Oleh sebab itu cara pelapisan TiO_2 merupakan salah satu faktor dalam peningkatan efisiensi DSSC [6, 7].

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk preparasi elektroda ZnO seperti *slip casting* [8], *doctor blade* [9], *spin coating* [10] dan *spray coating* [11]. Dari teknik-teknik tersebut, metode yang akan digunakan pada penelitian ini adalah metode *doctor blade*. Dibandingkan dengan metode yang lain metode *doctor blade* dipilih karena mudah penggunaannya, murah peralatannya, dan ketebalan lapisan semikonduktor dapat dikontrol.

Pembuatan DSSC ini menggunakan zat warna (*dye*) *indigo carmine* karena memiliki panjang gelombang yang masih terdapat pada rentang panjang gelombang tampak sehingga memungkinkan menyerap foton lebih banyak dan diharapkan dapat terikat dengan semikonduktor TiO_2 .

2. Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Peralatan gelas, neraca analitik (Ohaus), pipet tetes, *magnetik stirrer*, cawan petri, *furnace*, multimeter digital, spektrofotometri UV-Vis, *Difraksi Sinar-X* (XRD) dan

Scanning Electron Microscopy (SEM). Titanium tetra klorida, etanol, akuademin, amoniak, kalium iodida (KI), iodida (I_2), polivinil alkohol (PVA), karbon, indigo carmine, akuades.

Sintesis semikonduktor TiO_2

Proses pembuatan *sol gel* TiO_2 dilakukan dengan cara titanium tetra klorida (TiCl_4) dilarutkan kedalam larutan akuademin dan dilakukan penambahan etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) dengan perbandingan TiCl_4 dan etanol yaitu 1:10. Kemudian larutan diaduk dengan *magnetic stirrer* pada temperatur ruang dan dilakukan penambahan NH_4OH sampai pH 4-5 sehingga terbentuk endapan berwarna putih. Kemudian dilakukan pendiaman selama 12 jam. Hasil endapan tersebut kemudian disentrifugasi dan dicuci menggunakan akuademin. Endapan putih yang diperoleh kemudian dioven pada suhu 200°C selama 4 jam dan dikalsinasi pada suhu 500°C selama 4 jam.

Pembuatan elektroda kerja

Bubuk TiO_2 hasil sintesis terlebih dahulu dibentuk menjadi pasta TiO_2 agar bisa dilekatkan pada kaca FTO dengan cara *doctor blade*. Sebanyak 1,5 g PVA ditambahkan ke dalam 13,5 mL akuades dan distirer pada suhu 80°C selama 30 menit sehingga terbentuk gel. Suspensi yang telah dibuat ditambahkan pada TiO_2 hasil sintesis dengan perbandingan 0,5 g TiO_2 dicampur dengan 15 tetes atau 0,75 mL PVA dan digerus menggunakan mortar. Hasil campuran tersebut dilekatkan pada kaca FTO dengan cara *doctor blade* dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakan pasta. Kemudian lapisan dikeringkan pada suhu 70°C selama 10 menit.

Sebanyak 0,04 g *indigo carmine* dilarutkan dalam 100 mL etanol untuk mendapatkan larutan induk *indigo carmine*. Untuk pengukuran panjang gelombang serapan maksimum dari senyawa *indigo carmine* digunakan spektrofotometer UV-Vis. Kaca FTO yang telah terlapis TiO_2 kemudian direndam pada larutan *dye indigo carmine* selama 24 jam sehingga didapatkan lapis tipis TiO_2 berwarna biru yang akan digunakan sebagai elektroda kerja pada sel DSSC.

Pembuatan Elektroda Perlawanan (*Counter Electroda*)

Sebagai sumber karbon digunakan grafit dari baterai. Grafit digerus dengan menggunakan mortar sampai halus. Sebanyak 0,5 gram serbuk PVA dicampur dengan 4,5 ml akuades yang kemudian dipanaskan pada suhu 80°C sampai tercampur sempurna. Kemudian di dalam campuran ditambahkan sebanyak 4,5 gram karbon. Hasil campuran tersebut kemudian dilapiskan pada bagian konduktif kaca, setelah itu dipanaskan pada suhu 450°C selama 15 menit [12].

Pembuatan Elektrolit

Elektrolit dibuat dengan melarutkan 0,83 gram (0,5 M) KI ke dalam 10 ml akuades pada suhu 20°C kemudian ditambahkan 0,127 gram (0,05 M) I_2 kedalam larutan tersebut. Campuran tersebut diaduk dengan *magnetic stirrer* selama satu jam hingga homogen.

Perakitan DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell)

Setelah masing-masing komponen DSSC telah selesai dibuat, maka langkah perakitan untuk membentuk sel surya. Pada kaca FTO dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran yang menempel dengan menggunakan etanol, kemudian dicuci dengan menggunakan aquades. Agar struktur selnya mantap sepasang substrat ukuran 5 x 2 cm² dilakukan perekatan dengan *Scotch tipe*, pada salah satu sisinya sehingga tersisa 4 x 2 cm² pada substrat yang terlihat. Substrat pertama diambil dan sisi tersebut kemudian lapisi dengan pasta TiO₂ sampai merata dengan metode *doctor blade*. Kemudian dioven pada suhu 70°C selama 30 menit. Elektroda kerja TiO₂ tersebut kemudian direndam dalam larutan dye selama 24 jam. Elektroda kerja TiO₂ tersebut kemudian ditutup dengan elektroda perlawanan karbon dan dijepit pada kedua sisinya dengan struktur *sandwich*. Penambahan elektrolit cair disela-sela kedua elektroda.

Pengukuran Arus dan Tegangan DSSC

Kinerja sel surya lapis tipis TiO₂ yang tersensitasi zat warna dilakukan melalui pengukuran arus dan tegangan. Rangkaian pengukuran sel DSSC dilakukan dengan multimeter dan cahaya matahari sebagai sumber cahaya.

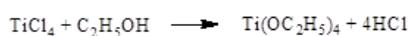
Karakterisasi Material

Karakteristik semikonduktor TiO₂ dilakukan melalui karakteristik morfologi permukaan dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM EDS) dan karakterisasi bentuk kristal semikonduktor TiO₂ dilakukan dengan difraksi sinar-X (XRD). Analisis absorpsi zat warna *indigo carmine* menggunakan spektrometri UV-Vis.

3. Hasil dan Pembahasan

Sintesis bahan semikonduktor TiO₂

Titanium oksida disintesis dengan metode *sol gel* menggunakan prekursor TiCl₄ (titanium klorida). Pada proses ini terjadi perubahan fasa dari suspensi koloid (sol) membentuk fasa cair kontinyu (gel), biasanya berlangsung melalui langkah hidrolisis dari titanium (IV) alkoksida dilanjutkan oleh proses kondensasi [13]. Pembuatan semikonduktor TiO₂ dimulai dengan melarutkan TiCl₄ dalam akuademin kemudian dilakukan penambahan alkohol (C₂H₅OH), reaksi ini bersifat eksotermik dan menghasilkan gas HCl dalam jumlah yang besar. Lamanya proses pencampuran dapat meningkatkan hilangnya komponen Cl dalam larutan membentuk gas HCl [14]. Hal ini terjadi karena Cl⁻ yang berikatan dengan atom Ti⁴⁺ tergantikan oleh gugus -OC₂H₅ dalam etanol yang bersifat lebih elektronegatif sehingga pada akhir reaksi terbentuk senyawa Ti(OC₂H₅)₄ dan sejumlah besar gas HCl. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Dari reaksi ini larutan akan bersifat asam karena sebagian HCl akan terlarut disamping gas HCl yang timbul dalam reaksi. Proses hidrolisis gugus alkoksida dan kondensasi merupakan proses yang terlibat dalam pembentukan sol gel. Pada proses hidrolisis, *ammonium*

hydroxide (NH₄OH) ditambahkan ke dalam larutan untuk meningkatkan pH hingga 4-5 karena pada pH tersebut akan terbentuk spesi sol logam hidroksida [15].

Reaksi hidrolisis yang terjadi adalah sebagai berikut:

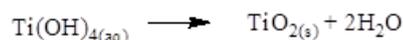


Setelah pengadukan larutan menggunakan magnetik stirer selama 30 menit diperoleh larutan kental berwarna putih yang mirip seperti susu (*milk suspension*) dan pendiaman selama 12 jam diperoleh partikel yang mengendap. Endapan kemudian di sentrifugasi. Endapan yang terbentuk merupakan titanium hidroksida yang berwarna putih. Selanjutnya, endapan yang dihasilkan di oven pada suhu 200°C selama 4 jam, pada saat ini berlangsung pembentukan formasi TiO₂ amorph. TiO₂ amorph yang dihasilkan kemudian dikalsinasi pada suhu 500°C. Kalsinasi berlangsung untuk membentuk bubuk TiO₂ putih yang berfase anatase.



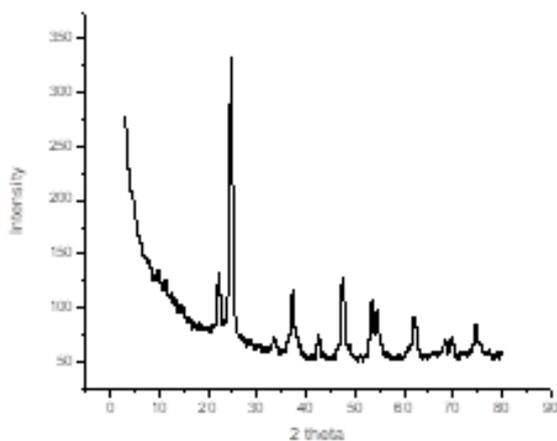
Gambar 1. TiO₂ powder hasil sintesis

Reaksi pembentukan *nanoporous* titanium oksida memiliki tahap reaksi kondensasi sebagai berikut:



Karakterisasi Semikonduktor TiO₂ Menggunakan XRD

Karakterisasi menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD) bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai fasa kristalin dan ukuran kristal TiO₂. Hasil yang diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan instrumen XRD adalah grafik difraktogram. Dalam pengujian ini digunakan sinar X dari radiasi K_α yang dibangkitkan dari katoda Cu dengan panjang gelombang 1,54 Å. Dari analisa XRD terhadap TiO₂ yang ditunjukkan pada gambar menandakan TiO₂ mempunyai fasa kristal anatase sesuai JCPDS no.21-1272.



Gambar 2. Difratogram semikonduktor TiO₂ hasil sintesis

Data difraktogram semikonduktor TiO₂ menunjukkan ada 3 puncak yaitu pada 2θ yaitu 24,65 ; 47,45; dan 37,21 serta jarak antar bidang (d) sebesar 3,60 ; 1,91; dan 2,4 Å. Hasil difraktogram kemudian dicocokkan kembali dengan data yang terdapat dalam *The Joint Committee On Powder Diffraction Standart* (JCPDS) untuk mendukung hasil analisis. Berikut data JCPDS dan analisis senyawa yang terbentuk dari TiO₂ hasil sintesis.

Tabel 1: Data JCPDS dan hasil sintesis TiO₂

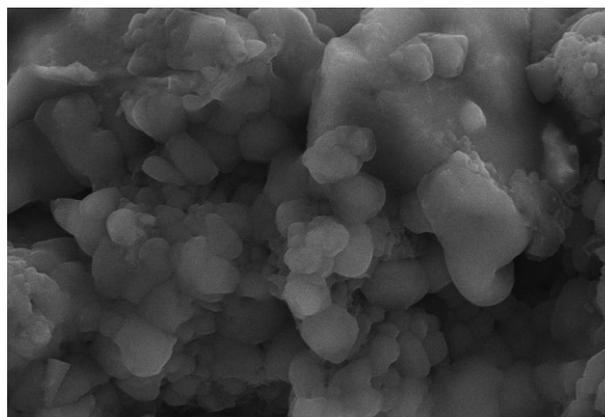
JCPDS No. 21-1272		TiO ₂		Indeks Miller
2θ (deg)	d(Å)	2θ (deg)	d(Å)	
25.28	3.52	24.65	3.60	1 0 1
48.05	1.89	47.45	1.91	2 0 0
37.80	2.37	37.21	2.41	0 0 4

Dari data terlihat bahwa intensitas pola difraksi sampel cukup tinggi menandakan TiO₂ mempunyai derajat kristalinitas yang baik. Dengan menggunakan persamaan Scherrer pada indeks bidang miller (101), ukuran kristal yang terhitung yaitu 14,04 nm.

Dari hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa TiO₂ hasil sintesis cocok untuk diaplikasikan dalam DSSC karena mempunyai fasa kristal anatase yang memiliki kemampuan fotoaktif yang tinggi. Selain itu derajat kristalinitas sampel ini cukup baik dilihat dari intensitas puncak difraksi yang tinggi dan tegas, dengan derajat kristalinitas yang baik maka proses difusi elektron di TiO₂ akan lebih cepat yang implikasinya proses transfer elektron untuk DSSC secara keseluruhan akan lebih tinggi sehingga akan meningkatkan efisiensi DSSC.

Karakterisasi Menggunakan SEM-EDS

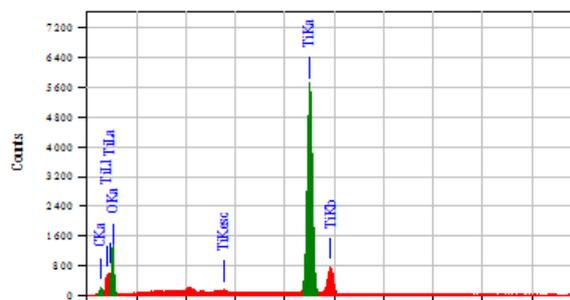
Analisis SEM (*Scanning Electron Microscopy*) bertujuan untuk mengetahui struktur morfologi permukaan semikonduktor TiO₂. Gambar 3 merupakan hasil analisis SEM semikonduktor TiO₂.



Gambar 3. Hasil SEM TiO₂

Hasil citra SEM pada perbesaran 3000x memiliki morfologi yang berpori. Sifat berpori ini penting dalam aplikasi partikel TiO₂ sebagai material sel surya tersensitasi zat warna (DSSC). Sifat berpori memberikan manfaat semakin banyaknya kemungkinan molekul dye yang bisa terjerap. Distribusi ukuran partikel tampak tidak seragam yang diakibatkan terjadinya penggumpalan. Dapat diamati adanya bongkahan bongkahan besar yang kemungkinan hasil penggumpalan. Terlihat permukaan partikel berubah menjadi bentuk *spheric* (berbentuk bola).

Karakterisasi semikonduktor TiO₂ menggunakan EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) digunakan untuk mengetahui komposisi unsur dalam suatu permukaan sampel.



Gambar 4. Spektra EDS TiO₂

Dari spektra EDS hasil analisis semikonduktor TiO₂ didapatkan data komposisi unsur-unsur yang terdapat pada permukaan semikonduktor TiO₂, yang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2: Hasil analisis EDS pada semikonduktor TiO₂

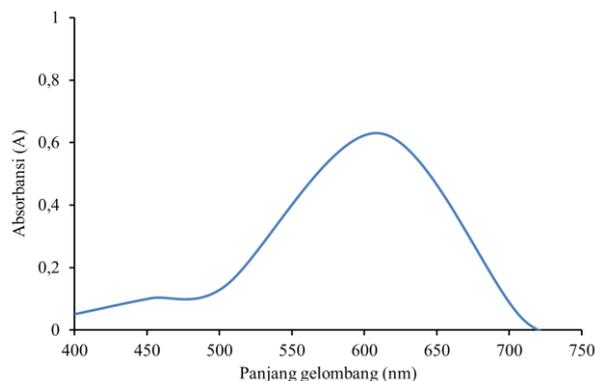
No	Elemen	Mass % wt
1	C	5,09
2	O	38,02
3	Ti	56,88
Total		100

Pada tabel 2 dapat diketahui adanya unsur Ti sebesar 56,88 % dan unsur O sebesar 38,02 %. Adanya unsur Ti dan O menunjukkan terbentuknya senyawa TiO₂. Tetapi senyawa TiO₂ yang dihasilkan tidak murni dikarenakan masih adanya unsur C sebesar 5,09%. Adanya unsur C kemungkinan disebabkan karena unsur C tidak

terdekomposisi sempurna pada saat kalsinasi. Hal ini mungkin terjadi karena suhu yang digunakan kurang tinggi sehingga unsur C tidak teruapkan seluruhnya.

Pembuatan Larutan Zat Warna

Sebanyak 0,04 gram zat warna *indigo carmine* ditambahkan dalam etanol sebanyak 100 mL, kemudian diaduk hingga menjadi homogen dan dianalisis menggunakan UV-Vis. Analisis spektrofotometri UV-VIS pada *indigo carmine* dilakukan untuk mengetahui absorpsi panjang gelombang maksimum pada *indigo carmine*. Hasil spektra UV-Vis *indigo carmine* ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Hasil UV-Vis Indigo carmine

Dari data pada gambar diperoleh puncak pada panjang gelombang 610,5 nm dengan absorbansi 0,630 menandakan bahwa *indigo carmine* dapat mengabsorpsi cahaya maksimal dengan panjang gelombang 610,5 nm yang masih dalam spektrum cahaya tampak.

Pembuatan Elektroda TiO₂ dengan Teknik *Doctor Blade*

TiO₂ hasil sintesis harus terlebih dahulu dibentuk menjadi pasta TiO₂ agar dapat dilapiskan pada kaca FTO (*Fluorine Tin Oxide*) yang nantinya akan digunakan sebagai elektroda kerja pada rangkaian DSSC (*Dye sensitized solar cell*). Penambahan PVA berfungsi sebagai pengikat dalam pembuatan pasta TiO₂.

Metode pelapisan yang dipilih adalah dengan menggunakan *teknik doctor blade* karena preparasi yang mudah. Pasta TiO₂ dideposisikan di atas area kaca yang telah dibuat dengan metode *doctor blade* yaitu dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakannya. Pasta TiO₂ yang telah rata kemudian dioven pada suhu 70°C selama 10 menit agar terjadi kontak yang baik antara pasta dengan FTO (*Fluorine Tin Oxide*).

Elektroda TiO₂ yang dihasilkan kemudian direndam dalam larutan *dye indigo carmine* selama 24 jam. Perendaman dilakukan dalam waktu yang lama dapat menyebabkan *dye* yang terikat pada elektroda TiO₂ lebih besar. Lama perendaman elektroda TiO₂ dalam *dye* juga mempengaruhi voltase dan arus keluaran. Semakin banyak *dye* yang terikat pada elektroda TiO₂ maka semakin banyak pula energi foton yang terserap dalam elektroda TiO₂.



Gambar 6. Perendaman elektroda kerja pada dye



Gambar 7. Elektroda kerja terlapisi dye

Aplikasi DSSC Menggunakan Indigo Carmine pada Sinar Matahari

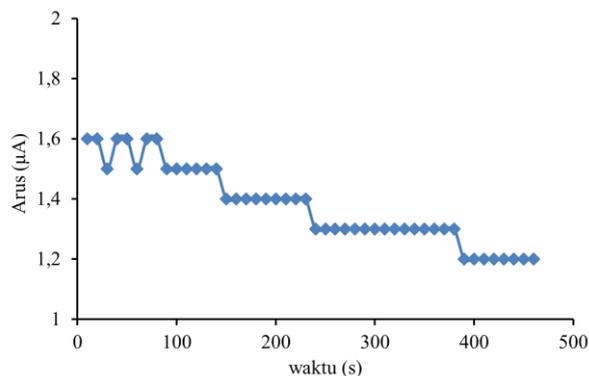
Dye sensitized solar cell (DSSC) terdiri dari elektroda kerja, elektroda lawan, serta elektrolit. Pada DSSC, elektroda kerja dan elektroda lawan disusun seperti sandwich. Ruang diantara keduanya diteteskan secara merata elektrolit yang berfungsi sebagai penyumbang elektron. Kaca substrat berkonduksi yang berperan dalam transfer elektron pada penelitian ini menggunakan kaca FTO (*Fluorine Tin Oxide*).

Pengujian DSSC menggunakan semikonduktor TiO₂ dan *dye indigo carmine* dilakukan dibawah sinar matahari dengan menghubungkan DSSC pada potensiometer 50 kΩ. Kemudian dilakukan pengukuran arus dan tegangan. Dimana arus dihubungkan secara seri dan tegangan dihubungkan secara paralel terhadap DSSC.

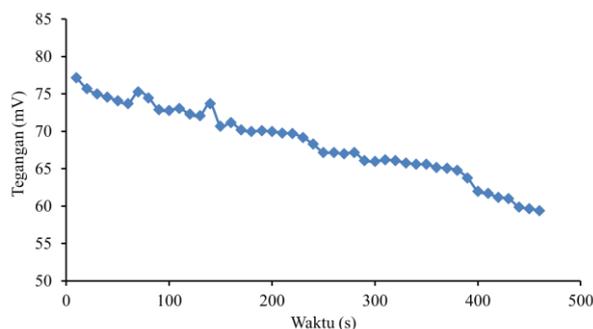
Dalam DSSC tegangan yang timbul karena adanya perbedaan tingkat energi konduksi elektroda TiO₂ dengan potensial elektrokimia. Dan arus yang timbul dipengaruhi oleh (intensitas) foton yang diserap *dye* dan akan di transfer oleh elektrolit.

Mekanisme produksi arus listrik pada DSSC adalah berawal dari foton yang menembus elektroda kerja yang akan diabsorb oleh zat warna *indigo carmine* dan mengeksitasi elektron dari molekul zat warna ke keadaan tereksitasi. Melalui transfer muatan, elektron yang berada pada keadaan tereksitasi akan turun ke pita konduksi dari TiO₂. Selanjutnya pada pita konduksi TiO₂, elektron akan mengalir melalui rangkaian dan terkumpul di elektroda perlawanan. Pasangan redoks elektrolit I₃⁻/I⁻ akan memberikan elektron ke molekul *sensitizer* yang telah kehilangan elektronnya akibat peristiwa suntikan elektron ke pita konduksi TiO₂. Proses ini akan berulang terus menerus.

Berdasarkan pengukuran, diperoleh data arus dan tegangan. Sehingga hubungan arus dan tegangan terhadap waktu dengan menggunakan sumber cahaya matahari dapat dilihat dari gambar 9 dan 10 berikut :



Gambar 9. Grafik Hubungan Arus Terhadap Waktu



Gambar 10. Grafik Hubungan Tegangan Terhadap Waktu

Arus dan tegangan rata-rata yang dihasilkan pada penelitian ini yaitu sebesar 1,37 µA dan 68,47 mV dengan waktu penyinaran selama 8 menit. Arus listrik yang dihasilkan masih rendah yaitu dalam skala mikro dan tegangan dalam skala mili volt. Dari gambar9 dan gambar10 dapat disimpulkan arus dan tegangan tidak stabil atau cenderung menurun dengan bertambahnya waktu penyinaran. Banyak faktor yang mempengaruhi nilai arus dan tegangan pada DSSC diantaranya adalah luas area aktif yang digunakan, sensitizer, jenis elektrolit, dan teknik preparasi pelekatan pasta TiO₂ ke kaca konduktif FTO.

Adanya hambatan yang besar dalam rangkaian sel dapat mengurangi reduksi I₃⁻ pada permukaan elektroda sehingga menghasilkan arus yang kecil. Dalam penelitian ini digunakan elektrolit cair, dimana elektrolit tersebut semakin lama digunakan akan semakin habis karena menguap, sehingga menghasilkan siklus transfer elektron yang kurang maksimal.

Teknik preparasi juga memberikan pengaruh terhadap nilai efisiensi, hal tersebut dikarenakan pada penelitian ini menggunakan metode *doctor blade* untuk pelapisan pasta TiO₂ pada kaca FTO. Metode *doctor blade* memiliki kelemahan yaitu ketebalan pelapisan yang tidak rata pada permukaan kaca FTO yang dilapisi. Semakin tebal lapisan TiO₂ maka akan semakin banyak zat warna yang terabsorpsi. Dengan seiring bertambahnya partikel TiO₂ maka semakin banyak *dye* yang terikat pada partikel TiO₂.

4. Kesimpulan

Telah disintesis semikonduktor TiO₂ dengan prekursor titanium klorida dan etanol yang dilekatkan pada kaca FTO dengan metode *doctor blade*. Hasil XRD menunjukkan telah tersintesis TiO₂ dengan fase anatase dengan ukuran kristal yang dihitung dengan persamaan scherer sebesar 14,04 nm dan hasil EDS menunjukkan komposisi C, Ti, O yang menunjukkan telah terbentuk senyawa TiO₂. Morfologi permukaan TiO₂ memiliki pori (berpori) yang ditunjukkan dengan analisis SEM. Telah dihasilkan *prototype dye-sensitized solar cell* (DSSC) dengan semikonduktor TiO₂ dan *dye indigo carmine* yang menghasilkan arus dan tegangan sebesar 1,37 µA dan 68,47 mV.

5. Daftar Pustaka

- [1] Vo Anh Quan, Degradation of the solar cell dye sensitizer N719 Preliminary building of dye-sensitized solar cell, Master Thesis, Roskilde University, Denmark,
- [2] Brian O'regan, Michael Grätzel, A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films, *Nature*, 353, 6346, (1991) 737 <http://dx.doi.org/10.1038/353737a0>
- [3] Michael Gratzel, Photoelectrochemical cells, *Nature*, 414, 6861, (2001) 338-344
- [4] Catur Hilman, A Sa'diah, Analisis Pemanfaatan Anthocyanin Tumbuhan Tropis sebagai Sensitizer pada Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC), Seminar Nasional Material, (2013).
- [5] GJ Huang, JB Wang, XL Zhong, GC Zhou, HL Yan, Synthesis, structure, and room-temperature ferromagnetism of Ni-doped ZnO nanoparticles, *Journal of Materials Science*, 42, 15, (2007) 6464-6468 <http://dx.doi.org/10.1007%2Fs10853-006-1256-4>
- [6] Joko Suryadi, Gunawan Gunawan, Abdul Haris, Pembuatan dan Penentuan Nilai Efisiensi Sel Surya Berwarna Tersensitisasi dengan Senyawa Antosianin dari Buah Manggis (*Garcinia mangostana* L.) sebagai Pewarna Pensesensitisasi, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 13, 3, (2010) 88-94
- [7] Devi Maryani, Gunawan Gunawan, Khabibi Khabibi, Penentuan Efisiensi DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell) yang Dibuat dari Semikonduktor ZnO yang diemban Fe³⁺ Melalui Metode Presipitasi, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 15, 1, (2012) 29-35
- [8] Ratno Nuryadi, Efek Adsorpsi Dye ke dalam Lapisan TiO₂ dengan Metode Elektroforesis: DSSC Berbasis Lapisan TiO₂ Terbuat dengan Metode Slip Casting dan Metode Elektroforesis, *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 8, 1, (2011)
- [9] Yu-Chang Liu, Yun-Fang Lu, Yz-Zhen Zeng, Chi-Hung Liao, Jen-Chieh Chung, Tsong-Yang Wei, Nanostructured mesoporous titanium dioxide thin film prepared by sol-gel method for dye-sensitized solar cell, *International Journal of Photoenergy*, 2011, (2011) <http://dx.doi.org/10.1155/2011/619069>
- [10] Qing Dai, Joseph Rabani, Photosensitization of nanocrystalline TiO₂ films by anthocyanin dyes, *Journal of Photochemistry and Photobiology A:*

- Chemistry*, 148, 1, (2002) 17-24
[http://dx.doi.org/10.1016/S1010-6030\(02\)00073-4](http://dx.doi.org/10.1016/S1010-6030(02)00073-4)
- [11] José Ernesto Ortiz López, William A Jacoby, Microfibrous mesh coated with titanium dioxide: a self-sterilizing, self-cleaning filter, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 52, 10, (2002) 1206-1213
<http://dx.doi.org/10.1080/10473289.2002.10470851>
- [12] Wilman 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)
- [13] M Malekshahi Byranvand, A Nemati Kharat, L Fatholahi, Z Malekshahi Beiranvand, A review on synthesis of nano-TiO₂ via different methods, *Journal of nanostructures*, 3, 1, (2013) 1-9
<http://dx.doi.org/10.7508/JNS.2013.01.001>
- [14] Hong Zhu, Jie Tao, Xiang Dong, Preparation and photoelectrochemical activity of Cr-doped TiO₂ nanorods with nanocavities, *The Journal of Physical Chemistry C*, 114, 7, (2010) 2873-2879
<http://dx.doi.org/10.1021/jp9085987>
- [15] ST Hussain, M Mazhar, Asima Siddiq, Hina Javid, M Siddiq, Cu-S coped TiO₂ nanophotocatalyst for the degradation of environmental and industrial pollutants, *Catal. J*, 5, (2012) 21-30