

## **SEL SURYA BERBASIS TITANIA SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK ALTERNATIF**

**Rita Prasetyowati**

*Juridik Fisika FMIPA UNY, Email : [Rita\\_P@uny.ac.id](mailto:Rita_P@uny.ac.id)*

### **Abstrak**

Sel surya merupakan salah satu sumber energi listrik alternatif yang terus dikembangkan demi memenuhi kebutuhan manusia akan listrik. Sel surya generasi ketiga (sel surya organik dan sel surya fotoelektrokimia) yang banyak dikembangkan adalah sel surya berbasis titania. Proses pembuatan sel surya titania relatif mudah, bahan bakunya murah dan memiliki efisiensi cukup baik. Titania berperan sebagai lapisan aktif yang mengabsorpsi energi cahaya matahari untuk dikonversi menjadi energi listrik.

Titanium dioksida murni mempunyai efisiensi absorpsi sangat kecil, yaitu hanya sebesar 5%. Energi matahari pada panjang gelombang ultraviolet saja yang dapat diserap oleh titanium dioksida. Sehingga penggunaan energi matahari menjadi kurang efektif dan sel surya memiliki efisiensi yang rendah. Modifikasi lapisan titania dilakukan agar spektrum penyerapan matahari sampai ke area cahaya. Hal ini bisa dilakukan dengan cara memperkecil energi celah pita melalui pemberian doping dye atau material konduktif pada titania.

Sel surya titania dengan lapisan titania yang didoping dye dikenal dengan sebutan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Pemberian doping dye pada lapisan titania dapat meningkatkan kemampuan absorpsi dari titania, sehingga efisiensi sel surya meningkat. Sedangkan penyisipan material konduktif, seperti logam besi atau tembaga pada lapisan titania juga dapat meningkatkan efisiensi sel surya, karena logam tersebut dapat berperan sebagai lintasan (*path*) bagi elektron untuk lebih cepat mengalir menuju elektroda. Kedua modifikasi pada lapisan titania tersebut dapat meningkatkan efisiensi sel surya titania.

**Kata kunci:** sel surya, titania, DSSC, kontak logam, efisiensi

### **PENDAHULUAN**

Ketersediaan energi di dunia ini semakin lama semakin menipis, termasuk juga ketersediaan sumber energi listrik. Listrik yang berasal dari sumber energi konvensional, seperti bahan bakar minyak, semakin lama semakin menurun. Disisi lain kebutuhan manusia akan listrik semakin meningkat. Oleh karena itu manusia terus mencari dan mengembangkan sumber-sumber energi alternatif yang lain, yang dapat dijadikan sebagai sumber energi listrik. Salah satu sumber energi alternatif yang digunakan sebagai sumber energi listrik adalah sel surya, yang telah diteliti dan dikembangkan oleh banyak peneliti di berbagai negara.

Sel surya yang telah banyak dikembangkan dan memiliki efisiensi yang tinggi adalah sel surya berbasis silikon. Tetapi sel surya yang mendominasi pasar ini masih memiliki harga yang relatif mahal karena proses produksinya sulit dan memerlukan teknologi yang tinggi. Oleh karena itu terus dikembangkan sel surya jenis lain dengan bahan baku yang murah, proses pembuatan yang mudah dan memiliki efisiensi cukup baik. Salah satu sel surya yang terus dikembangkan adalah sel surya berbasis titania.

Titania mulai dikembangkan sebagai divais fotovoltaik sejak Professor Micahel Gratzel di Ecole Polytechnique Federale de Lausanne Switzerland pada tahun 1991 menemukan bahwa titania mampu mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung menggunakan doping dye (Phani G. *et al*, 2001). Sel surya titania yang dikembangkan pada waktu itu adalah jenis *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan efisiensi mencapai 11%. Efisiensi ini masih tergolong kecil jika dibandingkan dengan efisiensi sel surya silikon yang mencapai 24%. Tetapi harga sel surya titania sangat murah dan pembuatannya mudah. Sehingga berbagai upaya terus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi sel surya.

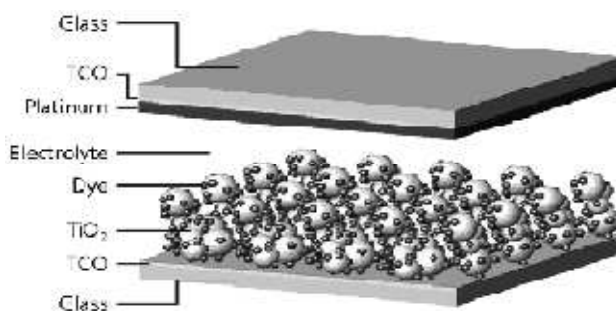
## PEMBAHASAN

Titanium dioksida merupakan salah satu semikonduktor oksida yang memiliki energi celah pita yang sangat lebar (3,2 eV – 3,8 eV). Pada sel surya fotoelektrokimia, titania berperan sebagai lapisan aktif yang mengabsorpsi energi cahaya matahari untuk dikonversi menjadi energi listrik. Titanium dioksida murni mempunyai efisiensi absorpsi sangat kecil, yaitu hanya sebesar 5%. Energi matahari pada panjang gelombang ultraviolet saja yang dapat diserap oleh titanium dioksida. Oleh sebab itu spektrum penyerapan matahari ke area cahaya tampak perlu dilakukan untuk mengefektifkan penggunaan energi matahari. Hal ini bisa dilakukan dengan cara memperkecil energi celah pita melalui pemberian doping atom lain pada titania. Sehingga diharapkan dapat memperbesar spektrum penyerapan cahaya dari titania.

Titania mempunyai banyak kesetimewaan, yaitu memiliki konstanta dielektrik tinggi, memiliki indeks bias yang besar, dan memiliki transmitansi optik yang baik pada daerah cahaya tampak dan dekat infra merah (U. Diebolt, 2003). Titania juga memiliki stabilitas kimia yang tinggi, tidak beracun, memiliki potensial tinggi sebagai foto-oksidasi, dan harganya murah (Phani G. *et al*, 2001). Sehingga titania bisa digunakan dalam berbagai variasi bentuk, misalnya koloid, pasta, lapisan tipis, maupun serbuk nano.

### Sel Surya Titania Jenis *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Sel surya DSSC adalah sel surya fotoelektrokimia yang menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan. Komponen DSSC selain elektrolit terbagi menjadi beberapa bagian yang terdiri dari nanopori TiO<sub>2</sub>, molekul *dye* yang teradsorpsi di permukaan TiO<sub>2</sub>, dan katalis yang semuanya dideposisi diantara dua kaca konduktif (R. Sastrawan, 2006). Struktur tersebut diperlihatkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. "Photovoltaic modules of dye solar cells"

Bagian atas dan alas sel surya adalah kaca yang sudah dilapisi oleh TCO (*Transparent Conducting Oxide*), seperti ITO (Indium Tin Oxide) atau SnO<sub>2</sub>, yang berfungsi sebagai elektroda

dan *counter*-elektroda. TCO alas (*counter*-elektroda) dilapisi dengan katalis untuk mempercepat

reaksi redoks dengan elektrolit. Pada umumnya pasangan redoks yang digunakan adalah  $I/I^{3+}$  (iodide/triiodide). Permukaan elektroda dilapisi oleh nanopori  $TiO_2$  dimana dye teradsorpsi pada pori  $TiO_2$ . Dye yang umumnya digunakan yaitu jenis ruthenium complex.

Semikonduktor yang paling banyak digunakan adalah  $TiO_2$  karena memiliki ukuran dalam skala nanometer ( $10^{-9}$  meter) dan bersifat mesopori (memiliki pori berdiameter antara ukuran mikro dan nanometer). Zat pewarna (*dye*) merupakan material yang memberikan pengaruh sensitasi semikonduktor terhadap cahaya. Dye berfungsi sebagai pompa fotoelektrokimia dan lapisan penyerap foton yang selanjutnya tereksitasi menjadi eksiton (*fotosensitizer*). Dye dapat pula berasal dari bahan-bahan alami (organik), terutama berasal dari keluarga *flavonoid*, contohnya buah beri dan kulit bawang merah.

Pada sel surya fotoelektrokimia, elektrolit merupakan medium transport muatan. Elektrolit berperan sebagai penerima hole dan mencegah terjadinya rekombinasi kembali antara elektron dan hole. Elektrolit yang digunakan dapat berupa elektrolit semi padat atau berbentuk gel. Elektrolit dibuat dari campuran polimer dan garam yang didalamnya terkandung ion terlarut. Elektrolit yang memiliki nilai konduktivitas ionik berorde  $10^{-3}$  S/cm merupakan elektrolit yang memiliki konduktivitas tinggi dan sangat efektif digunakan sebagai elektrolit pada sel surya, khususnya sel surya tersensitisasi bahan dye (DSSC) (Fu-Lin Chen. *et al*, 2009)

Prinsip kerja dari DSSC adalah reaksi dari transfer elektron. Proses pertama yaitu terjadinya eksitasi elektron pada molekul dye akibat absorpsi foton. Elektron dari keadaan tereksitasi akan terinjeksi menuju pita konduksi titania sehingga molekul dye teroksidasi. Elektrolit (I) memberikan elektron pada molekul dye sehingga kembali ke keadaan awalnya (ground state) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh dye yang teroksidasi.

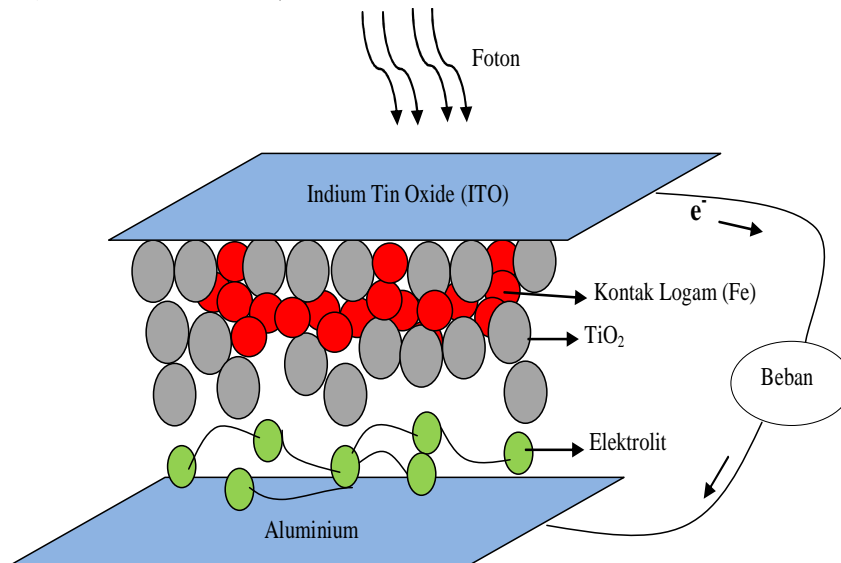
Elektron yang tereksitasi tersebut bergerak mencapai elektroda TCO, kemudian mengalir menuju counter-elektroda melalui rangkaian eksternal. Karena pada counter-elektroda terdapat katalis, maka elektron diterima oleh elektrolit. Selanjutnya elektron tersebut akan berekombinasi dengan hole yang terbentuk pada elektrolit ( $I_3^-$ ) akibat donor elektron pada proses sebelumnya membentuk iodide (I). Iodide ini digunakan sebagai donor elektron bagi dye yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron. Siklus ini memungkinkan terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik.

### **Sel Surya Titania dengan Penyisipan Logam**

Penelitian tentang sel surya titania dalam rangka memodifikasi lapisan titania sebagai lapisan aktif terus dikembangkan. Modifikasi pada lapisan titania dilakukan dengan menyisipkan logam pada lapisan titania. Logam yang disisipkan dapat berupa emas, tembaga, besi atau logam yang lain. Efisiensi sel surya meningkat ketika lapisan titania disisipi dengan logam. Penyisipan logam pada lapisan titania dapat dilakukan dengan berbagai metode, diantaranya dengan metode sputtering, elektroplating dan doctor blade coating.

Lapisan titania dapat disisipi logam Fe dengan menggunakan metode elektroplating. Pada proses elektroplating, larutan elektrolit yang digunakan adalah  $FeCl_2$ , dengan lapisan titania sebagai katoda dan batang Fe sebagai anoda. Elektroplating dilakukan pada berbagai variasi tegangan elektroplating, lama waktu elektroplating dan konsentrasi  $FeCl_2$ . Lapisan  $TiO_2$  yang dielektroplating dengan tegangan yang lebih besar (konsentrasi larutan elektrolit dan waktu elektroplating sama) atau waktu elektroplating yang lebih lama (konsentrasi larutan elektrolit dan tegangan elektroplating sama, atau konsentrasi  $FeCl_2$  yang lebih besar (tegangan dan waktu elektroplating sama) akan mengandung unsur Fe yang lebih banyak. Sel surya dengan lapisan aktif titania yang disisipi Fe dapat mencapai efisiensi 0,2 % (Rita Prasetyowati, 2011).

Jika lapisan  $\text{TiO}_2$  dielektroplating dengan Fe, berarti ada atom-atom Fe yang menyisip diantara partikel-partikel  $\text{TiO}_2$ . Hal ini bisa dijelaskan seperti gambar 2, ketika sel surya diradiasi dengan cahaya maka akan terjadi generasi (timbulnya pasangan elektron-hole). Foton yang diserap oleh elektron pada  $\text{TiO}_2$  menyebabkan elektron tereksitasi dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi dan selanjutnya elektron mengalir menuju ITO melalui lapisan kontak logam (Fe). Lapisan kontak logam ini menjadi lintasan bagi elektron untuk mengalir lebih cepat menuju ITO (K. Asagoe. *et al*, 2007). Selanjutnya elektron mengalir melalui beban luar menuju *counter* elektroda dan akan diterima oleh elektrolit. Sedangkan hole yang terbentuk akan berdifusi menuju elektrolit. Hal ini berarti elektron yang diterima elektrolit akan berekombinasi dengan hole membentuk pembawa muatan negatif (R. Sastrawan,2006).



Gambar 2. Sel surya berbasis  $\text{TiO}_2$  dan logam Fe

Sel surya juga dibuat dengan lapisan titania yang disisipi logam Cu (Sahrul Saehana. *et al*, 2011). Penyisipan logam Cu dilakukan dengan berbagai metode. Sel surya dengan lapisan titania yang disisipi logam dengan metode sputtering dapat mencapai efisiensi 1,2%, dengan metode elektroplating dapat mencapai efisiensi 0,78% dan dengan metode doctor blade dapat mencapai efisiensi 0,4%. Efisiensi yang dihasilkan dipengaruhi oleh banyak factor, yaitu rendahnya nilai fill factor, arus pendek (short-circuit current), atau tegangan terbuka (open-circuit voltage) , yang dipengaruhi juga oleh resistansi dari lapisan  $\text{TiO}_2$  (Ahn et al., 2007; Han et al., 2006).

## KESIMPULAN

Sel surya berbasis titania adalah salah satu sel surya generasi ketiga yang terus dikembangkan. Proses pembuatan sel surya titania hanya memerlukan teknologi yang sederhana dan biaya yang murah. Berbagai modifikasi terhadap lapisan titania sebagai lapisan aktif pada sel surya terus dilakukan untuk memperoleh efisiensi yang lebih baik. Lapisan titania data dimodifikasi dengan menggunakan dye atau disisipi dengan material konduktif (logam). Lapisan titania dengan penambahan molekul dye atau disisipi material konduktif (logam) akan memberikan performansi sel surya yang lebih baik. Halini ditunjukkan dengan peningkatan efisiensinya. Pengembangan sel surya titania jika terus dilakukan akan memberikan harapan baru akan sumber energi listrik alternatif.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Phani, G., G. Tulloch, D. Vittorio, dan I. Skyabin. (2001). Titania Solar Cells: New Photovoltaic Technology. *Renewable Energy*, **22**, 303-309
- U. Diebolt, (2003), Surface Science Reports **48**, 53
- Sastrawan, R. (2006), Photovoltaic modules of dye solar cells, *Disertasi Doktor*, University of Freiburg.
- Fu-Lin Chen, I.-Wen Sun, H. Paul Wang, dan C.-H. Huang. (2009). Nanosize Copper Dispersed Ionic Liquids As an Electrolyte of New Dye-Sensitized Solar Cells *Journal of Materials* **2009**, 472950 (4pp).
- Rita Prasetyowati, Sahrul Saehana, Mikrajuddin Abdullah, Khairurrijal, (2011), Pengaruh Penyisipan Logam Fe pada Lapisan TiO<sub>2</sub> terhadap Performansi Sel Surya Berbasis Titania, *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, 14 Mei 2011*
- K. Asagoe, Y. Suzuki, S. Ngamsinlapasathian and S. Yoshikawa, (2001). *J. Phys.: Conf. Ser.* **61**, 1112-1116
- Ahn, J.H., Mane, R.S., Todkar, V.V., Han, S.H. (2007). Invasion of CdSe nanoparticles for photosensitization of porous TiO<sub>2</sub>. *International Journal of Electrochemical Science* 2: 517-522.
- Han, L., Koide, N., Chiba, Y., Islam, A., Mitate, T. (2006). Modeling of an equivalent circuit for dye-sensitized solar cells: improvement of efficiency of dye-sensitized solar cells by reducing internal resistance. *Comptes Rendus Chimie* 9: 645-651

*Rita Prasetyowati / Sel Surya Titania*