

ANALISA DIFRAKSI SINAR X TiO₂ DALAM PENYIAPAN BAHAN SEL SURYA TERSENSITISASI PEWARNA

Oleh :

Erna Hastuti¹

ABSTRAK: Upaya pengembangan sel surya organik sebagai solusi alternatif krisis energi dunia merupakan hal yang perlu dan penting untuk dilakukan, mengingat sumber energi sel surya yang melimpah dan terbarukan. Salah satu bahan penyusun sel surya adalah semikonduktor TiO₂ sebagai transport pembawa muatan. Struktur kristal yang cocok digunakan adalah anatase karena memiliki ukuran pori yang kecil dan bersifat fotoaktif. Pada penelitian ini dikarakterisasi bahan TiO₂ yang akan digunakan sebagai bahan semikonduktor dalam sel surya pewarna menggunakan difraksi sinar X dan dianalisa menggunakan program *match*. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa TiO₂ memiliki fase anatase dan ukuran kristalnya 2.6 nm. Ukuran kristal yang berukuran nano dapat memaksimalkan penyerapan pewarna sehingga dapat meningkatkan efisiensi sel surya.

Kata kunci : TiO₂, sel surya, difraksi sinar X

ABSTRACT: Efforts to develop organic solar cells as an alternative solution the world energy crisis is a necessary and important to do, considering the energy source of solar cells are abundant and renewable. One of the component of the solar cell is a semiconductor TiO₂ as the charge carrier transport. Suitable crystal structure is anatase because it has a small pore size and nature fotoaktif. In this study TiO₂ was characterized materials to be used as a semiconductor material in solar cell characterization using X-ray diffraction and analyzed using the program *match*. From the results of studies have found that TiO₂ anatase phase and crystal size of 2.6 nm. The size of nano-sized crystals that can maximize the absorption of the dye so as to increase the efficiency of solar cells.

Key words: TiO₂, solar cells, X-ray diffraction

PENDAHULUAN

Salah satu energi baru terbarukan yang berpotensi besar dalam pemanfaatan untuk memenuhi kebutuhan energi adalah energi surya. Hasil penelitian Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) yang dilakukan di Sulawesi Tenggara, didapat energi harian antara 2 sampai 7 kWh per meter persegi per hari dengan rata-rata harian 5,16 kWh per meter persegi per harinya. Jika diproyeksikan 10 % dari luas daratan Indonesia (sekitar 192.257 kilometer persegi) dipasang sel surya yang memiliki efisiensi 15 %, maka daya yang dapat dibangkitkan adalah 30.000 GWh per hari. Jumlah tersebut merupakan 30 % dari kebutuhan energi nasional pada tahun 2010 (100.000 GWh) atau 6 % proyeksi kebutuhan tahun 2025 yaitu sebesar 500.000 GWh (Anonymous, 2011). Berdasarkan data-data tersebut, maka perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk merumuskan formula pembuatan sel surya yang efektif dan efisien.

¹ Jurusan Fisika UIN Maliki Malang

Upaya pengembangan sel surya sebagai solusi alternatif krisis energi dunia merupakan hal yang perlu dan penting untuk dilakukan, mengingat sumber energi sel surya yang melimpah dan tak terbatas. Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi sangat besar, yaitu mencapai 3×10^{24} joule per tahun. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Jadi dengan menutup 0,1 % permukaan bumi dengan sel surya yang memiliki efisiensi 10 %, sudah mampu untuk menutupi kebutuhan energi di seluruh dunia (Yulianto, 2006 dalam Hardian, dkk, 2010).

Sel surya berdasarkan perkembangan teknologi saat ini dan bahan pembuatannya dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu pertama, sel surya yang terbuat dari silikon kristal tunggal dan silikon multi kristal. Kedua, sel surya tipe lapis tipis (*thin film solar cell*) dan yang ketiga, sel surya organik atau Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT) atau *Dye Sensitized Solar Cell* (SSPT). Diantara ketiga tipe sel surya tersebut, yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan menjadi sumber energi alternatif adalah sel surya organik, karena bahannya mudah didapat, murah dan ramah lingkungan (Yulianto, 2006 dalam Hardian, *et. al.*, 2010). Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT) tersusun dari beberapa bahan, diantaranya yaitu zat warna (*dye*) yang berfungsi sebagai penyerap radiasi matahari dan semikonduktor celah lebar seperti TiO_2 sebagai transport pembawa muatan.

Sel surya atau sel fotovoltaik merupakan alat yang mampu mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Efek fotovoltaik merupakan dasar dari proses konversi sinar matahari (foton) menjadi listrik. Efek fotovoltaik ini ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839, dimana Becquerel mendeteksi adanya tegangan foton ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit (Green, 2001; Shah, *et al.*, 1999; Septina, Fajarisandi, Aditia, 2007).

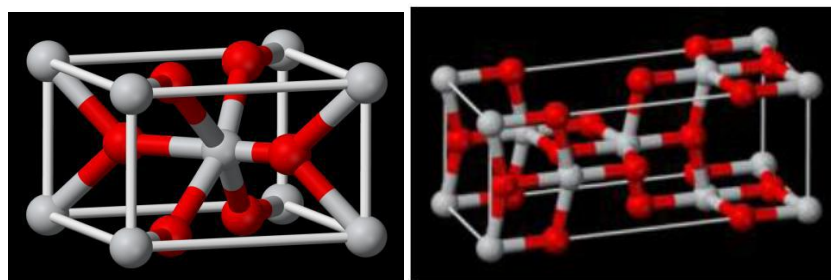
Mekanisme yang bekerja pada sel surya berdasarkan efek photovoltaik dimana foton dari radiasi diserap kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Efek voltaik sendiri adalah suatu peristiwa terciptanya muatan listrik didalam bahan sebagai akibat penyerapan (absorpsi) cahaya dari bahan tersebut (Malvino, 1986). Struktur sel surya tandem (*multi-junction*) didesain untuk mengatasi persoalan kehilangan energi ini. Prinsip dasar dari sel surya tandem adalah pembagian spektrum cahaya matahari kedalam dua atau lebih bagian, untuk kemudian masing-masing bagian tersebut dapat diserap oleh beberapa sel surya yang memiliki celah pita energi yang berbeda. Prinsip ini dapat direalisasikan dengan cara membuat tumpukan sel surya dimana sel surya yang paling atas yang memiliki celah pita energi terbesar dibuat transparan terhadap spektrum cahaya yang tidak diserapnya, sehingga dapat lolos dan diserap oleh sel surya di bawahnya yang memiliki celah pita energi lebih kecil (Araujo, 1989).

Bahan semikonduktor celah lebar yang biasa digunakan adalah TiO_2 . Beberapa penelitian telah mengkaji penggunaan semikonduktor lain seperti SnO_2 , ZnO_2 dan Nb_2O_5 , sebagai semikonduktor alternatif dalam SSPT menggantikan TiO_2 , tetapi belum dapat menghasilkan efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan

semikonduktor TiO_2 . Salah satu teknik sintesis partikel nano semikonduktor TiO_2 berpori adalah metoda templat. Metode tersebut mampu menghasilkan partikel nano semikonduktor TiO_2 yang tersusun atas fasa kristalin anatase atau kombinasi anatase dan rutile dengan kristalinitas tinggi, mempunyai rentang ukuran partikel skala nano yang terkontrol, serta distribusi ukuran partikel yang sempit. (Kartini,2009)

Di alam umumnya TiO_2 mempunyai tiga fasa yaitu *rutile*, *anatase*, dan *brookite*. Fasa rutile dari TiO_2 adalah fasa yang umum dan merupakan fasa disintesis dari mineral *ilmenite* melalui proses Becher. Pada proses Becher, oksida besi yang terkandung dalam *ilmenite* dipisahkan dengan temperatur tinggi dan juga dengan bantuan gas sulfat atau klor sehingga menghasilkan TiO_2 *rutile* dengan kemurnian 91-93%. Titania pada fasa *anatase* umumnya stabil pada ukuran partikel kurang dari 11nm, fasa brookite stabil pada ukuran 11-35 nm, dan fasa rutile stabil pada ukuran diatas 35 nm (Septina, Fajarisandi, Aditia, 2007).

(Rahmawati,2011) : Nanopartikel TiO_2 merupakan material semikonduktor tipe-n yang mempunyai ukuran partikel antara 10 sampai 50 nanometer. TiO_2 berperan penting dalam pemanfaatan fotoenergi karena memiliki daya oksidatif dan stabilitas yang tinggi terhadap fotokorosi, murah, mudah didapat dan tidak beracun. TiO_2 mempunyai kemampuan untuk menyerap *dye* lebih banyak karena di dalamnya terdapat rongga dan ukurannya dalam nano, maka disebut nanoporous. Struktur TiO_2 memiliki tiga bentuk struktur yaitu *rutile*, *anatase* dan *brukit*. *Rutile* dan *anatase* cukup stabil, sedangkan *brukit* sulit ditemukan, biasanya terdapat dalam mineral dan sulit dimurnikan. Struktur *anatase* dan *rutile* dapat dilihat pada Gambar



Gambar 1. Bentuk Kisi Kristal TiO_2 Fasa *Rutile* (kanan), Fasa *Anatase* (kiri)

TiO_2 adalah tetragonal dan dapat digambarkan sebagai rantai oktahedron TiO_6 . Perbedaan keduanya terdapat pada distorsi oktahedral dan pola susunan rantai oktahedralnya. Masing-masing ion Ti^{4+} dikelilingi oleh enam ion O^{2-} . Oktahedral pada struktur *rutile* mengalami sedikit distorsi ortorombik, sedangkan pada *anatase* distorsi ortorombiknya cukup besar sehingga relatif tidak simetri. Jarak antara Ti-Ti *anatase* lebih besar pada *anatase* dibandingkan dengan *rutile* (3,79 dan 3,04 Å dengan 3,57 dan 3,96 Å) sedangkan jarak Ti-O *anatase* lebih kecil dibanding dengan *rutile* (1,934 dan 1,980 Å dengan 1,949 dan 1,980 Å). Setiap oktahedron pada struktur *rutile* dikelilingi oleh sepuluh oktahedron tetangga, sedangkan pada struktur *anatase* setiap oktahedron hanya dikelilingi delapan oktahedron tetangga. Distorsi ortorombik menyebabkan terjadinya perbedaan luasan aktif, *anatase* memiliki

simetri geometris yang lebih mendukung untuk mengabsorpsi cahaya karena luasan aktifnya lebih besar daripada *rutile*.

Panjang gelombang yang dapat diserap *anatase* adalah 388 nm dan 413 nm pada *rutile*. *Anatase* mempunyai kerapatan 3,89 g/cm³, sedangkan *rutile* 4,26 g/cm³. *Anatase* dapat disintesis pada suhu rendah dengan metode preparasi elektrolisis TiCl₄, TiOSO₄, atau dari titanium alkoksida.⁸ Bentuk kristal *anatase* terjadi pada pemanasan suhu rendah (100-700°C), sedangkan pada *rutile* terbentuk pada suhu tinggi (700-1000°C) dan pada suhu tersebut *rutile* dapat mengalami transformasi menjadi *anatase*. Perbedaan antara struktur kristal *anatase* dan *rutile* ditunjukkan pada Tabel berikut

Tabel 1. Perbedaan antara struktur kristal *anatase* dan *rutile*

Faktor perbedaan	TiO₂ <i>Anatase</i>	TiO₂ <i>Rutile</i>
Sistem kristal	Tetragonal	Tetragonal
Parameter kisi		
a (Å)	3,7852	4,5933
c (Å)	9,5139	2,9592
Vol (Å³)	136,25	62,07
Massa jenis (gram/ cm³)	3,8950	4,2743
Celah energi (E_g) (eV)	3,2	3,0

Titanium dioksida yang akan digunakan sebagai elektroda dilapiskan pada substrat konduksi seperti halnya pada kaca konduksi, logam foil dan fleksibel polimer film. Dua proses pelapisan TiO₂ yang biasanya dipilih yaitu *doctor-blading* dan *screen-printing* yang secara luas digunakan untuk menyiapkan nanokristalin TiO₂ dengan meratakan dispersi koloid dari partikel TiO₂ pada kaca konduksi sebelum dipanaskan pada suhu tinggi (Kong, Dai dan Wang, 2007).

Spektroskopi difraksi sinar-X (X-ray diffraction/XRD) merupakan salah satu metoda karakterisasi material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif. Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta ; n = 1, 2, \dots$$

Dengan λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, d adalah jarak antara dua bidang kisi, θ adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal, dan n adalah bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan. Berdasarkan persamaan Bragg, jika

seberkas sinar-X di jatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material. Standar ini disebut JCPDS.

Keuntungan utama penggunaan sinar-X dalam karakterisasi material adalah kemampuan penetrasinya, sebab sinar-X memiliki energi sangat tinggi akibat panjang gelombangnya yang pendek. Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 0,5-2,0 mikron. Sinar ini dihasilkan dari penembakan logam dengan elektron berenergi tinggi. Elektron itu mengalami perlambatan saat masuk ke dalam logam dan menyebabkan elektron pada kulit atom logam tersebut terpental membentuk kekosongan. Elektron dengan energi yang lebih tinggi masuk ke tempat kosong dengan memancarkan kelebihan energinya sebagai foton sinar-X.

Metode difraksi sinar X digunakan untuk mengetahui struktur dari lapisan tipis yang terbentuk. Sampel diletakkan pada sampel holder difraktometer sinar X. Proses difraksi sinar X dimulai dengan menyalakan difraktometer sehingga diperoleh hasil difraksi berupa difraktogram yang menyatakan hubungan antara sudut difraksi 2θ dengan intensitas sinar X yang dipantulkan. Untuk difraktometer sinar X, sinar X terpancar dari tabung sinar X. Sinar X didifraksikan dari sampel yang konvergen yang diterima slit dalam posisi simetris dengan respon ke fokus sinar X. Sinar X ini ditangkap oleh detektor sintilator dan diubah menjadi sinyal listrik. Sinyal tersebut, setelah dieliminasi komponen noisennya, dihitung sebagai analisa pulsa tinggi. Teknik difraksi sinar x juga digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia dan keadaan lain yang memiliki orde yang sama.

METODOLOGI PENELITIAN

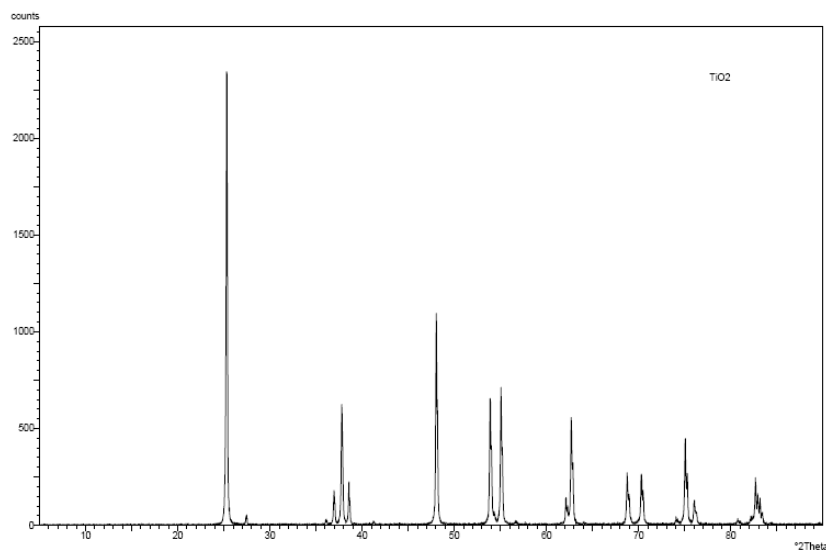
Langkah pertama yang dilakukan yaitu menyiapkan bahan TiO_2 yang sudah berupa bubuk. Kemudian dilakukan pengujian difraksi sinar X menggunakan perangkat Philips X'Pert pada temperature kamar dengan panjang gelombang $\lambda=1.54056 \text{ \AA}$ untuk mengetahui fasa yang terbentuk dan ukuran kristalnya. Struktur kristal dianalisa pada rentang sudut $2\theta 10^\circ - 90^\circ$. untuk menghitung ukuran kristal digunakan persamaan Scherrer :

$$t = \frac{K \lambda}{B \cos \theta_B}$$

Dimana t adalah ukuran Kristal, K adalah konstanta bernilai 0,94, λ adalah panjang gelombang Bragg, B adalah nilai FWHM (Full-Width Half Maximum) dan θ adalah sudut Bragg. Analisa fasa dilakukan dengan menggunakan program Match.

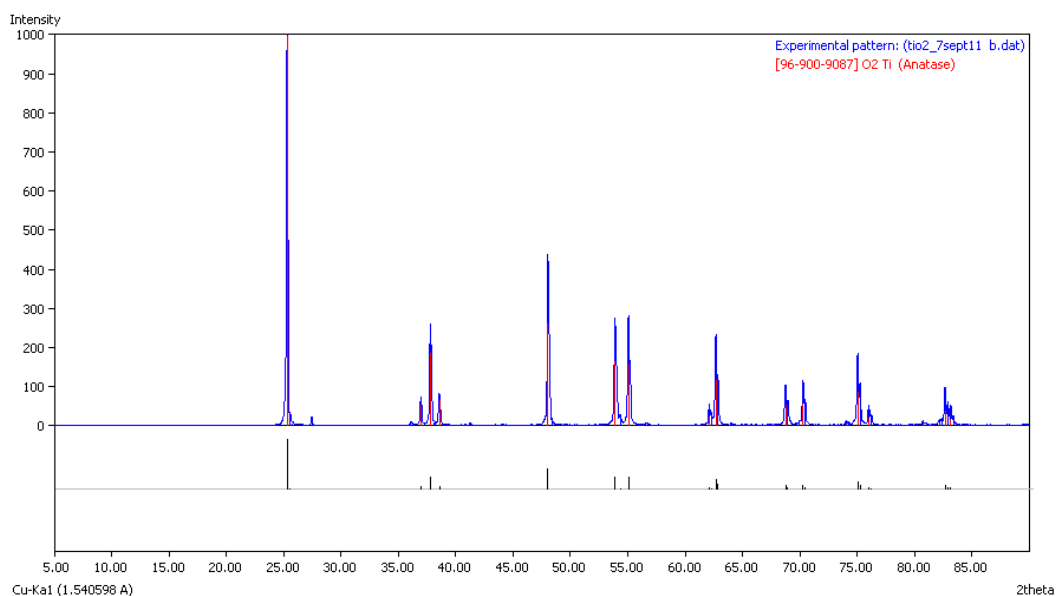
HASIL DAN PEMBAHASAN

Senyawa TiO_2 hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan instrumen Difraksi Sinar X di Laboratorium IBID ITS (Institut Teknologi Sepuluh November) Surabaya. Hasil karakterisasi XRD ditunjukkan pada gambar 2



Gambar 2. Hasil karakterisasi XRD

Grafik 2 menunjukkan bahwa TiO_2 memiliki intensitas yang tinggi. Hal ini menunjukkan TiO_2 memiliki derajat kristalinitas yang tinggi sehingga proses difusi elektron akan lebih cepat sehingga proses transfer elektron secara keseluruhan dalam SSPT lebih tinggi sehingga dapat meningkatkan efisiensinya. Dari hasil pola difraksi yang diperoleh, sampel TiO_2 memiliki puncak pada sudut 2θ sekitar 25° , 36° , 37° , 38° , 48° , 53° , 55° , 52° , 68° , 70° , 74° , 75° , yang bersesuaian dengan puncak-puncak yang dimiliki oleh fasa anatase berdasarkan data JCPDS No. 21-1276 pada lampiran. Penentuan fasa Kristal TiO_2 ini diperkuat dengan hasil dari analisis menggunakan program Match. Dari program didapatkan bahwa seluruh puncak yang sesuai dengan hasil difraksi sampel adalah TiO_2 dengan fase kristal anatase .

Gambar 3. Hasil Program *MATCH*

Fase anatase sangat berpengaruh dalam sel surya karena memiliki kemampuan fotoaktif yang tinggi. Ukuran kristal dihitung menggunakan persamaan Scherer. Dari hasil perhitungan didapatkan rata-rata ukuran kristal TiO_2 adalah 2,6 nm. Dalam aplikasi sel surya TiO_2 tersensitisasi dye, ukuran partikel TiO_2 berskala nanometer ini memiliki kelebihan dapat menampung dye lebih banyak karena semakin kecil ukuran kristal, semakin banyak rongga yang terbentuk. Semakin banyak dye yang terserap pada TiO_2 akan meningkatkan jumlah arus yang mengalir dalam rangkaian sel surya.

Berdasarkan prinsip kerja sel surya nanokristal TiO_2 tersensitisasi *dye*, partikel TiO_2 merupakan pembawa mayoritas elektron, sedangkan partikel CuSCN merupakan pembawa mayoritas *hole* dan *dye* berperan sebagai pompa fotoelektrokimia yang mengakibatkan eksitasi elektron ke tingkat energi yang lebih tinggi dengan menggunakan cahaya sebagai sumber energi yang diserap. Tegangan yang dihasilkan oleh sel surya nanokristal TiO_2 tersensitisasi *dye* disebabkan oleh perbedaan dalam tingkat energi antara TiO_2 dan mediator tergantung pada bahan pelarut yang digunakan serta keadaan TiO_2 . Arus yang dihasilkan sel surya TiO_2 terkait langsung dengan jumlah cahaya yang diserap oleh *dye*, yaitu bergantung pada intensitas penyinaran dan jenis *dye* yang digunakan.

KESIMPULAN

Analisa menggunakan Difraksi Sinar-X menunjukkan bahwa kristal TiO_2 merupakan fase kristal anatase dengan ukuran kristal sebesar 2,6 nm. Jenis kristal anatase ini sangat berperan dalam pembuatan sel surya pewarna karena bersifat fotoaktif. Ukuran kristal yang kecil juga sangat bermanfaat dalam proses penyerapan pewarna.

DAFTAR PUSTAKA

- Araujo, G. R., 1989, *Compound Semiconductor solar cells*, dari Antonio Luque, *Solar cells and Optics for Photovoltaic Concentrations*, IOP Publishing Ltd., England.
- Green, M. A., 2001, "Solar Cell Efficiency Tables (Version 18)", *Prog. Photovolt. Res. Appl.*, 9, 287-93
- Gratzel, 2004, *Conversion of sunlight to electric power by nanocrystalline dye-sensitized solar cells*, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem*, 164, 3-14
- Halme, 2002, *Dye-sensitized nanostructured and organik photovoltaic cells : technical review and preliminary tests*, Master's thesis, Departemen of Engineering Physics and Mathematics, Helsinki University of Technology, Espoo
- Kartini, 2009, *Rekayasa Material Berbasis Sumber Daya Alam Silika-Alumina : Sel Surya berbasis Sistem Sandwich Nanokristal Semikonduktor Celah Lebar dan Zat Warna Alam (Natural Dye-sensitized Solar Cells)*, FMIPA UGM, 3-38
- Kay dan Gratzel, 1996, *Low cost photovoltaic modules based on dye sensitized nanocrystalline titanium dioxide and carbon powder*, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 44, 99-177
- Kong, F.T., Dai, S.Y., Wang, K.J., 2007. *Review Article: Review of Recent Progress in Dye Sensitized Solar Cell*. Hindawi publishing Corporation advance in Opto Electronics, vol, 2007, 13.
- Malvino, B., Tjia, (1986), "Aproksimasi Rangkaian Semikonduktor penghantar Transistor dan Rangkaian Terpadu", Erlangga, Jakarta.
- Rahmawati, Ayu. S, 2011, *Pembuatan dan Karakterisasi Sel Surya Titanium Dioksida Sensitisasi Dye Antosianin dari Ekstrak Buah Strawberry*, Skripsi Mahasiswa Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- Shah, A., et al., 1999, "Photovoltaic Technology: The Case for Thin-Film Solar Cells", *Science*, 30 July, 285, 692-8.
- Septina, wilman; Fajarisandi, Dimas; Aditia Mega, 2007. *Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-inorganik (Dye-sensitized Solar Cell)*, Laporan penelitian bidang energi, Institut Teknologi Bandung.