

SINTESIS SEL SURYA TERSENSITISASI PEWARNA (SSTP) EKSTRAK ANTOSIANIN BUAH DELIMA (*Punica granatum*) DENGAN METODE SOL-GEL-SPIN COATING

Okti Mulyani, Astuti

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang Sumatra Barat 25163
e-mail: oktimulyani17@gmail.com, tuty_phys@yahoo.com

ABSTRAK

Kinerja sel surya TiO_2 untuk menghasilkan energi listrik telah diteliti dengan menggunakan ekstrak antosianin buah delima sebagai *dye* atau *fotosensitizer*. Lapisan TiO_2 dideposisi di atas substrat kaca ITO. Penumbuhan lapisan tipis TiO_2 dengan menggunakan metode *sol-gel spin coating* dengan variasi waktu 2 menit, 4 menit, 6 menit, 8 menit dan 10 menit pada kecepatan 1500 rpm. Sifat optik, morfologi permukaan dan ukuran kristal lapisan tipis TiO_2 dapat dipelajari dari hasil karakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis, *Scanning Electron Microscope* (SEM), *X-Ray Diffraction* (XRD). *Bandgap* lapisan tipis ditentukan dengan metode *Touc Plot*. Karakterisasi UV-Vis menunjukkan absorpsi paling besar 0,7293 dengan *bandgap* 3,2 eV diperoleh dari lapisan tipis yang dideposisi selama 2 menit. Hal ini dapat menunjang kinerja sel surya dalam mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik.

Kata kunci : *sol-gel-spin coating*, *bandgap*, *touc plot*

ABSTRACT

The performance of solar cell based on TiO_2 has been researched by using anthocyanins extract pomegranate fruits as dye or fotosensitizer. TiO_2 thin films have been deposited on ITO glass substrate. TiO_2 thin films growth using sol-gel-spin coating method by variation time about 2 minutes, 4 minutes, 6 minutes, 8 minutes, and 10 minutes at speed of 1500 rpm. UV-Vis Spectrophotometer, Scanning Electron Microscope (SEM), and X-Ray Diffraction (XRD) characteristic test techniques have been used to investigate the optical properties, morphology, and grain size TiO_2 thin films. The optical bandgap thin film was obtained using the Touc Plot method. UV-Vis characterization shows the highest absorption is 0,7323 with optical bandgap 3,2 eV at 2 minutes deposition. This condition support solar cell performance convert sunlight energy to electrical energy.

Keywords : sol-gel-spin coating, bandgap, touc plot

I. PENDAHULUAN

Sel surya merupakan sumber energi alternatif dengan memanfaatkan energi cahaya matahari yang dikonversi menjadi energi listrik. Proses konversi didasarkan pada efek fotovoltaiik. Sel surya konvensional yang diproduksi saat ini merupakan sel surya berbasis silikon. Namun, sel surya berbasis silikon memiliki kekurangan diantaranya menggunakan silikon murni, teknologi tinggi, bahan kimia yang berbahaya dan harga yang mahal. Oleh sebab itu dilakukan peralihan dari sel surya berbasis silikon ke Sel Surya Tersensitisasi Pewarna (SSTP) atau *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC).

Sel surya Tersensitisasi Pewarna (SSTP) merupakan salah satu energi alternatif dengan memanfaatkan cahaya matahari. Proses fabrikasi SSTP menggunakan semikonduktor TiO_2 (*Titanium Dioxide*) sebagai pengganti silikon. TiO_2 memiliki *bandgap* yang lebar (3,2-3,8) eV, potensial tinggi sebagai fotooksidasi (Nurmawati, dkk, 2009), sifat antirefleksi, semikonduktor tipe-n paling stabil terhadap fotokorosi, korosi kimia, fotokatalis, tidak beracun, murah, mudah didapat dan inert. TiO_2 memiliki fase anatase (< 11 nm), fase rutil (> 35 nm) dan fase brokite (11 nm- 35 nm) (Septina, 2007). Untuk aplikasi sel surya, fase anatase banyak digunakan karena memiliki sifat fotokatalis yang lebih tinggi daripada fase rutil.

Lapisan tipis TiO_2 ditumbuhkan di atas kaca konduktif ITO (*Indium Tin Oxide*). Penggunaan kaca ITO karena beberapa kelebihanannya yaitu resistansi yang kecil, ideal memberikan efisiensi yang stabil dan tidak mengalami *defect* pada temperatur 400°C-600°C

(Septina, 2007). Salah satu metode penumbuhan lapisan tipis TiO_2 yaitu metode *sol-gel-spin coating* karena tergolong sederhana dengan biaya yang murah. Metode ini memanfaatkan reaksi gaya sentripetal yang mengarah keluar pada benda berputar. Reaksi dari gaya sentripetal menyebabkan gel yang ditetesi tersebar ke seluruh permukaan substrat, sehingga membentuk lapisan tipis. Besar kecilnya gaya sentripetal yang bekerja pada gel dipengaruhi oleh laju putaran *spin coater*.

Pada penelitian ini, *dye* yang digunakan berasal dari ekstrak buah delima (*Punica granatum*). Buah delima memiliki kandungan antosianin yang tinggi ditandai dengan tingginya kandungan warna merah yang terdapat pada bulir-bulir buah. Antosianin buah delima bersifat polar, untuk mendapatkan ekstraknya maka pelarutan dapat dilakukan didalam larutan yang bersifat polar (Arisandi, 2001).

II. METODE

Penelitian sistesis lapisan TiO_2 dengan ekstrak buah delima terdiri dari berbagai perelatan dan bahan. Alat yang digunakan terdiri dari *spin coater*, kaca substrat ITO (*Indium Tin Oxide*) dengan hambatan $30 \Omega/\text{cm}^2$, aluminium foil, klem dan statip, *ultrasonic bath*, *magnetic stirrer*, mortar, *har dryer*, multimeter, oven, neraca digital, dan spatula. Bahan yang digunakan terdiri dari TiO_2 (*Titanium Dioxide*), lilin, aquades, KI (*Potassium Iodide*), I_2 (*Iodide*), PVA (*Polyvinyl Alcohol*), etanol, metanol, asam asetat, asetonitril, buah delima (*Punica granatum*), kertas saring dan selotip.

2.1 Penumbuhan Lapisan Tipis TiO_2

Penumbuhan lapisan tipis TiO_2 diawali dengan proses pembuatan pasta. Pembuatan pasta terdiri dari 1 g PVA yang dilelehkan dengan 15 mL aquades menggunakan *magnetic stirrer* selama 50 menit pada suhu 40°C sampai membentuk suspensi. Suspensi dicampurkan dengan 2 g bubuk TiO_2 . Campuran suspensi dan bubuk TiO_2 diaduk selama 30 menit menggunakan *magnetic stirrer* sampai didapatkan pasta yang homogen untuk dilapisi pada substrat. Setelah itu, pasta TiO_2 disonikasi 15 menit untuk menghomogenkan partikel TiO_2 . Penumbuhan TiO_2 dimulai dengan menempatkan substrat kaca ITO yang telah dibersihkan di atas *spin coater* menggunakan selotip, sehingga terbentuk area deposisi $1,3 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm}$. Proses penetesan pasta TiO_2 pada substrat dilakukan dengan metode dispensi statis menggunakan variasi waktu putar *spin coater*. Variasi waktu putar *spin coater* dilakukan selama 2 menit, 4 menit, 6 menit, 8 menit dan 10 menit. Substrat yang telah dilapisi dengan TiO_2 dikeringkan dengan oven pada suhu 100°C selama 30 menit.

2.2 Absorpsi *Dye* Lapisan Tipis TiO_2

Dye antosianin yang diekstrak dari 40 g buah delima digerus menggunakan mortar sampai semua bulir buah pecah. Buah delima yang telah pecah direndam di dalam pelarut yang terdiri dari 25 mL metanol, 4 mL asam asetat dan 21 mL aquades selama 24 jam. Selama proses perendaman, larutan ekstrak antosianin disimpan di tempat yang gelap. Hasil rendaman ekstrak buah delima antosianin disaring menggunakan kertas saring ke dalam botol berwarna gelap atau botol yang dilapisi aluminium foil. Lapisan tipis direndam ke dalam larutan ekstrak buah delima selama 30 menit di tempat dengan pencahayaan yang rendah. Setelah itu, lapisan tipis dibersihkan dari sisa *dye* yang menempel pada lapisan tersebut menggunakan tisu dan dikeringkan dengan oven selama 30 menit pada suhu 80°C . Lapisan inilah yang dikenal dengan lapisan TiO_2 tersensitisasi pewarna organik.

2.3 Pembuatan Elektroda Lawan

Elektroda lawan dibuat dengan melapiskan karbon yang berasal dari pembakaran yang rata pada permukaan substrat kaca ITO menggunakan lilin. Substrat kaca ITO yang telah dilapisi dengan karbon salah satu permukaannya dikeringkan selama 30 menit pada suhu 80°C .

2.4 Pembuatan Elektrolit dan Perakitan SSTP

Proses pembuatan larutan elektrolit terdiri dari 0,83 g KI (0,5 M) dilarutkan dalam 10 mL asetonitril yang diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Selanjutnya, ditambahkan 0,127 g (0,05 M) I₂ yang diaduk sampai homogen selama 30 menit. Lantan elektrolit diteteskan pada prototipe sel surya berfungsi sebagai mediator yang menghasilkan proses siklus pada sel surya. Prototipe sel surya yang dibentuk dari gabungan elektroda kerja dengan elektroda lawan disusun seperti struktur *sandwich* menggunakan penjepit kertas. Kinerja prototipe dalam menghasilkan energi listrik dapat dilihat dari pengukuran arus dan tegangan sel surya ketika disinari oleh cahaya matahari.

2.5 Karakterisasi Sampel

Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan untuk mengetahui karakteristik kristalinitas, ukuran kristal dan parameter kisi kristal TiO₂. Ukuran kristal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Scherer (persamaan 1) :

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \tag{1}$$

dengan *D* adalah ukuran Kristal, λ panjang gelombang copper tembaga 1,54 Å, θ sudut Bragg dan β merupakan lebar FWHM (*Full Width Half Maximum*). Morfologi permukaan permukaan lapisan tipis dapat dilihat menggunakan SEM dan pengamatan tingkat absorpsi cahaya menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

III. HASIL DAN DISKUSI

Karakteristik-karakteristik yang dimiliki lapisan tipis dapat diperoleh dengan menggunakan karakterisasi UV-Vis, SEM dan XRD. Karakteristik yang dimiliki lapisan tipis diantaranya panjang gelombang (λ), diameter partikel (*d*), koefisien absorpsi (α), ketebalan lapisan tipis (*t*), ukuran kristal (*D*) dan *bandgap* (*E_g*) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1:

Tabel 1 Karakteristik Sel Surya

Variabel	Waktu Deposisi (menit)				
	2	4	6	8	10
λ (nm)	(218,94 - 288,78)	(212,07- 528,67)	(265,93- 309,61)	(203,23- 305,15)	(300,87- 483,72)
α	0,7392	0,6524	0,6498	0,5562	0,6424
<i>d</i> (nm)	92,76	94,12	89,63	79,41	84,63
<i>t</i> (nm)	75,659	105,974	1177,483	256,887	105,705
<i>D</i> (nm)	12,94	19,44	12,94	15,53	38,83
<i>E_g</i> (eV)	3,2	2,1	3,1	2,7	1,8

3.1 Absorpsi Panjang Gelombang Lapisan Tipis TiO₂

Karakterisasi UV-Vis berkaitan dengan absorpsi optik lapisan tipis. Absorpsi optik terjadi ketika foton yang datang berinteraksi dengan material lapisan tipis. Hasil karakterisasi UV Vis terhadap lapisan tipis TiO₂ yang dideposisi menggunakan metode *sol-gel-spin coating* dengan variasi waktu menunjukkan absorpsi panjang gelombang yang berbeda-beda. Nilai absorpsi tertinggi terjadi pada lapisan tipis TiO₂ dengan waktu deposisi 2 menit yaitu 0,7392. Absorpsi optik terjadi ketika foton datang memiliki energi yang besar atau sama dengan *bandgap* yang dimiliki lapisan tipis. Selain itu, hubungan antara nilai absorpsi dengan foton datang bergantung pada transisi elektronik yang terjadi pada material semikonduktor tersebut.

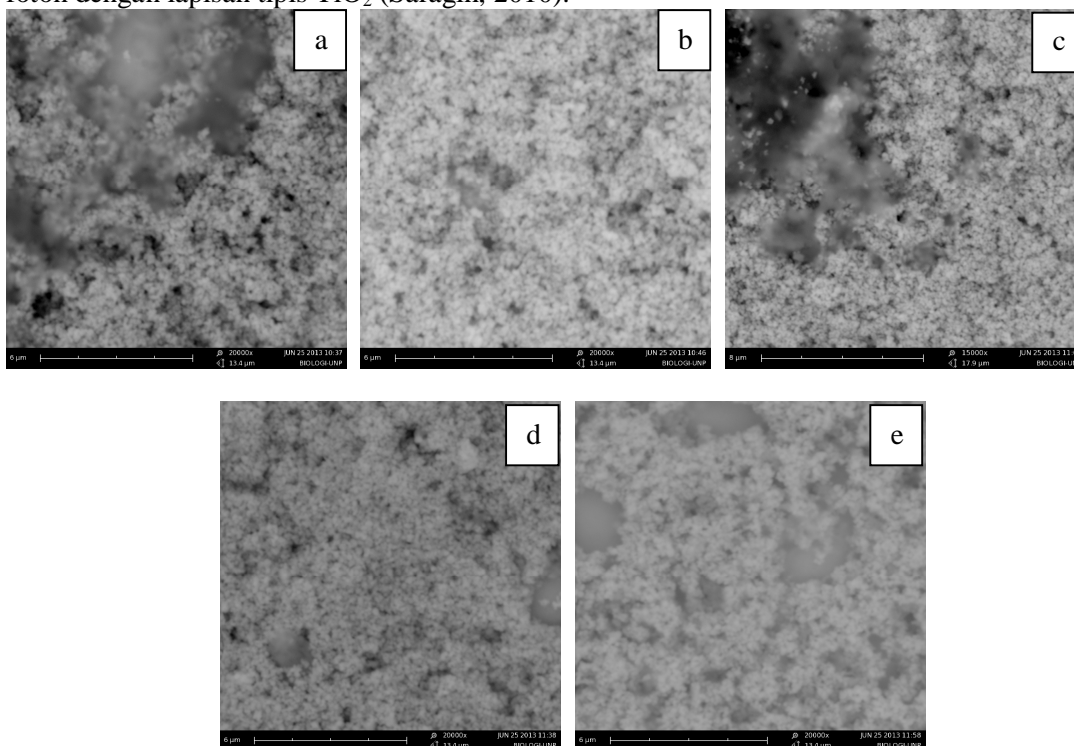
Transisi elektronik dipengaruhi oleh interaksi gelombang elektromagnetik dengan elektron pada pita valensi, sehingga meningkatkan penghalang ke pita konduksi. Lapisan tipis dengan semikonduktor TiO₂ hanya terjadi transisi tak langsung, sehingga dikenal dengan *indirect bandgap*. *Bandgap* lapisan tipis TiO₂ berbeda-beda dapat mempengaruhi serapan panjang gelombang lapisan tipis tersebut. *Bandgap* dapat ditentukan dengan menggunakan metode *Touc Plot*. Metode *Touc Plot* merupakan metode dalam menentukan bandgap dengan

melakukan penarikan ekstrapolasi pada daerah linear dari grafik hubungan (hv) pada sumbu absis dan $(ahv)^n$ pada sumbu ordinat sampai memotong sumbu energi, dengan n konstanta transisi elektronik. Hal ini dapat dilihat dari kemampuan absorpsi masing-masing lapisan tersebut. Lapisan tipis TiO_2 yang dideposisi selama 2 menit, 6 menit dan 8 menit memiliki serapan panjang gelombang dalam rentang cahaya ultraviolet dengan *bandgap* 3,2 eV, 3,1 eV dan 2,7 eV. Lapisan tipis dengan waktu deposisi 4 menit dan 10 menit mempunyai *bandgap* yang lebih kecil yaitu 2,1 eV dan 1,8 eV. Hal ini menyebabkan film tersebut dapat menyerap cahaya ultraviolet maupun cahaya tampak.

Lebarnya daerah serapan terhadap cahaya dapat meningkatkan proses eksitasi elektron sehingga meningkatkan mobilitas elektron. Mobilitas elektron yang tinggi dapat meningkatkan arus listrik yang dihasilkan. Namun hal ini tidak memberikan nilai yang signifikan terhadap absorpsi masing-masing lapisan tipis TiO_2 . Lapisan tipis TiO_2 dengan deposisi selama 2 menit memiliki nilai absorpsi tertinggi dengan nilai *bandgap* tertinggi. Hasil yang sama terlihat pada lapisan tipis dengan deposisi selama 6 menit memiliki nilai absorpsi yang tinggi jika dibandingkan dengan lapisan tipis yang lainnya.

3.2 Morfologi Permukaan Lapisan Tipis TiO_2

Morfologi permukaan lapisan tipis TiO_2 citraan SEM dapat dilihat pada Gambar 1. Tingkat ketebalan lapisan tipis TiO_2 ikut mempengaruhi kinerja sel surya. Kemampuan absorpsi lapisan tipis TiO_2 semakin menurun dengan bertambahnya ketebalan. Keadaan ini terjadi pada lapisan tipis dengan waktu deposisi 2 menit sampai 6 menit. Lapisan tipis TiO_2 dengan waktu deposisi diatas 6 menit mengalami peningkatan nilai absorpsi seiring dengan menurunnya ketebalan lapisan tipis. Ketika ketebalan lapisan tipis bertambah menyebabkan kekasaran permukaan lapisan meningkat. Hal ini dapat meningkatkan hamburan gelombang foton yang datang pada permukaan lapisan tipis TiO_2 . Peristiwa ini dapat mengurangi interaksi foton dengan lapisan tipis TiO_2 (Saragih, 2010).

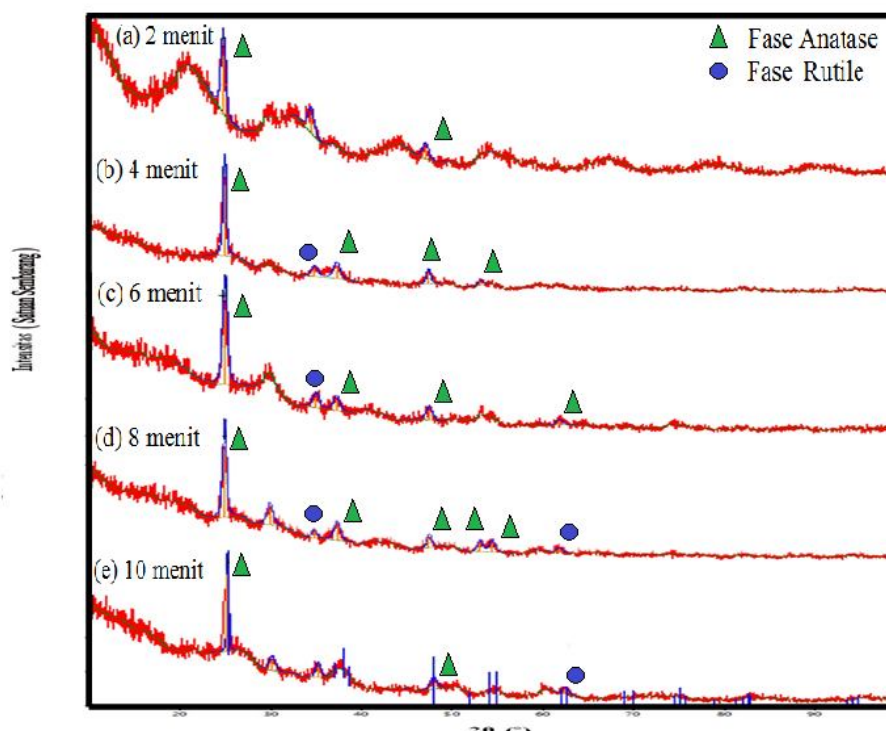


Gambar 1 Citraan SEM lapisan tipis TiO_2 dengan variasi waktu putar *spin coater* (a) 2 menit, (b) 4 menit, (c) 6 menit, (d) 8 menit dan (e) 10 menit

3.3 Struktur dan Ukuran Kristal Lapisan Tipis TiO_2

Hasil karakterisasi XRD pada Gambar 2 dapat digunakan untuk menganalisis struktur dan ukuran kristal. Ukuran kristal pada Tabel 1 dapat dihitung menggunakan persamaan

Scherer, seperti persamaan 1. Bentuk kristal lapisan tipis TiO_2 termasuk fase anatase untuk lapisan tipis dengan waktu deposisi selama 2 menit, 4 menit, 6 menit dan 8 menit. Lapisan dengan waktu deposisi 10 menit memiliki ukuran kristal 38,83 nm. TiO_2 dengan ukuran kristal lebih besar dari 35 nm termasuk fase rutile. Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat hubungan yang berbanding terbalik antara *bandgap* dengan ukuran kristal masing-masing lapisan tipis. Nilai *bandgap* mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya ukuran kristal dan sebaliknya. Mohammed (2009) mendapatkan hasil yang sama, *bandgap* yang dimiliki CdI_2 mengalami penurunan seiring dengan semakin besarnya ukuran kristal. Kristal lapisan tipis TiO_2 dengan ukuran yang kecil meningkatkan jumlah *dye* ekstrak buah delima yang diserap lapisan tipis dan luas permukaan serapan cahaya matahari. Banyaknya jumlah *dye* buah delima yang terserap pada lapisan tipis dengan besarnya luas permukaan dapat meningkatkan jumlah penyerapan intensitas cahaya matahari. Hal ini menjadi dasar dari aplikasi sel surya.



Gambar 2 Hasil XRD lapisan tipis dengan variasi waktu putar *spin coater* (a) 2 menit, (b) 4 menit, (c) 6 menit, (d) 8 menit dan (e) 10 menit

Secara termodinamik, pita konduksi merupakan ukuran kekuatan reduksi elektron pada semikonduktor, sedangkan pita valensi ukuran kekuatan oksidasi *hole*. Semikonduktor harus memiliki level energi pita valensi pada potensial yang tinggi agar mampu mendegradasi senyawa-senyawa organik. Semikonduktor dengan *bandgap* yang kecil baik digunakan untuk absorpsi cahaya matahari. Namun semikonduktor dengan *bandgap* yang kecil normalnya tidak memiliki potensial pita valensi yang tinggi (Jiang, 2004). Selain itu, sifat fotokatalis yang dimiliki oleh semikonduktor TiO_2 mampu aktif pada spektrum panjang gelombang cahaya ultraviolet (Karabay, 2012). Oleh karena itu, lapisan tipis TiO_2 dengan *bandgap* yang terlalu kecil tidak menunjang kinerja sel surya.

IV. KESIMPULAN

Kemampuan kerja sel surya dalam mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik dapat dipengaruhi oleh karakteristik yang dimiliki lapisan TiO_2 . Hasil penelitian menunjukkan satu dari lima lapisan tipis TiO_2 yang dihasilkan dengan metode *sol-gel-spin coating* pada waktu deposisi selama 2 menit memiliki *bandgap* 3,2 eV untuk fase anatase. Lapisan tipis TiO_2 dengan waktu deposisi tersebut mampu menghasilkan nilai absorpsi tertinggi 0,7392 dan ukuran kristal yang lebih kecil dibandingkan lapisan tipis lainnya yaitu 12,94 nm

DAFTAR PUSTAKA

- Arisandi, 2001, Studi Tentang Pengaruh Kopigmentasi Terhadap Stabilitas Antosianin dari Kulit Buah Anggur (*Alphonso lavalle*), *Skripsi*, Fakultas MIPA Universitas Brawijaya, Malang.
- Karabay, Yuksel, Ozturk, Asli, 2012, *Structural and Optical Characterization of TiO₂ Thin Film Prepared by Sol-Gel Process*, Yilzid Technical University Istanbul Turkey, Department of Physisc, Vol. 121, 265-267.
- Jiang. D, 2004, *Studies of Photocatalytic Processes at Nanoporous TiO₂ Film Electrodes by Photoelectrochemical Techniques and Development of A Novel Methodology for Rapid Determination of Chemical Oxygen Demand*, University Griffith, School of Envirotment and Applied Sciences.
- Mohammed, 2009, *Correlation Between Thickness, Grain Size, and Optical Bandgap of CdI₂ Film*, Univesity of Technology Baghdad, Applied Sciences Depatment.
- Nurmawati, Abdullah, Khairurrijal, 2009, Distribusi Celah Pita Energi "Titania Pengotor", *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*, Institut Teknologi Bandung, 38-42.
- Saragih, Aliah, Hutapea, 2010, Sifat Optik Lapisan Tipis In₂O₃ yang ditumbuhkan dengan Metode MOCVD, *Jurnal Matematika dan Sains*, Universitas Advent Indonesia, Vol. 15, No. 2, 85-92.
- Septina. W, 2007, Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Anorganik (Dye Sensitized Solar Cell), *Skripsi*, Teknik Fisika, ITB, Bandung.