

**SINTESIS SENYAWA PbS DENGAN AMILUM SEBAGAI *CAPPING AGENT* UNTUK
APLIKASI *QUANTUM DOT SENSITIZED SOLAR CELLS* (QDSSC)**

**SYNTHESIS OF PbS WITH STARCH AS *CAPPING AGENT* FOR QUANTUM DOT
SENSITIZED SOLAR CELLS APPLICATION (QDSSC)**

Vatrika Anggriana Putri & Cahyorini Kusumawardani

Jurusan Pendidikan Kimia, FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta

e-mail : irienuny@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan amilum terhadap ukuran partikel dan karakter elektronik dari material PbS. Sintesis ini dilakukan menggunakan metode sol-gel selama 2 x 7,5 jam dengan prekursor $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ dan amilum sebagai *capping agent* dengan variasi 0,2; 0,5; 1; 2 dan 3 gram. Hasil XRD menunjukkan bahwa struktur kristal material PbS tanpa amilum dan dengan amilum adalah kubik dengan rata-rata nilai parameter kisi berturut-turut yaitu $5,9163 \text{ \AA}$ dan $5,8078 \text{ \AA}$ yang mendekati nilai pada data standar JCPDS No. 05-0592. Sedangkan hasil karakterisasi menggunakan UV-Vis menghasilkan nilai energi celah pita material PbS tanpa amilum sebesar 1,68 eV, PbS 0,2 sebesar 3,41 eV, dan PbS 1 sebesar 2,4 eV.

Kata kunci : *quantum-dot*, metode sol-gel, amilum, senyawa PbS.

Abstract

This study aims to determine the effect of variations in the addition of starch to the particle size and the electronic character of material PbS. The synthesis was carried out using a sol gel method for 2 x 7,5 hours with precursor lead acetate, ammonium sulfide and starch as a capping agent with variation of 0,2; 0,5; 1; 2; 3 gram. XRD results showed that the crystal structure of PbS material before and after the starch is added with the average cubic lattice parameter were $5,9163 \text{ \AA}$ and $5,8078 \text{ \AA}$, respectively, which was very close to the value in the standard card JCPDS file No. 05-0592. Whereas the results of characterization using UV-Vis generated band gap energy of PbS without starch, with 0,2 and 1 gram of starch were 1,68 eV; 3,41 eV and 2,4 eV, respectively.

Key word : *quantum dot*, *sol-gel method*, *starch*, *PbS*

PENDAHULUAN

Dewasa ini, sebagian besar pemenuhan kebutuhan energi masyarakat berasal dari energi bahan bakar fosil seperti batu bara serta minyak dan gas bumi. Seiring dengan peningkatan kebutuhan dan keterbatasan sumber daya alam yang tersedia maka dibutuhkan sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui (*renewable*), murah, dan ramah lingkungan karena cadangan bahan bakar fosil dan minyak bumi mulai menyusut secara signifikan selama beberapa tahun belakangan ini [1]. Oleh karena itu, muncul suatu terobosan baru mengenai salah satu energi alternatif yang mempunyai potensi sangat besar namun belum dimanfaatkan secara maksimal yaitu sel surya (*photovoltaic/solar cell*) yang mampu mengkonversi sinar matahari secara langsung menjadi energi listrik tanpa mengeluarkan emisi gas buang apapun [2].

Perkembangan sel surya sampai saat ini sudah mencapai sel surya generasi ketiga, yakni sel surya berbasis pada nanostruktur semikonduktor dengan gabungan

material organik-anorganik mulai dikembangkan untuk mencapai efisiensi tinggi dengan biaya yang lebih ekonomis sesuai dengan yang diinginkan masyarakat. Namun teknologi sel surya yang ada saat ini menuntut kualitas bahan baku dan juga proses pembuatan sel surya dengan efisiensi yang sangat baik membutuhkan usaha yang relatif kompleks. Oleh karena itu pada tahun 1991, Grätzel mengembangkan sel surya generasi baru yang dikenal dengan sel surya tersensitasi zat pewarna (*Dye Sensitized Solar Cell*, DSSC) berbasis titanium dioksida (TiO_2) dengan efisiensi 11% memberikan terobosan yang sangat menjanjikan di bidang sel surya [3]. Sel surya nanokristal TiO_2 tersensitasi zat pewarna dikembangkan sebagai konsep alternatif bagi piranti fotovoltaik konvensional berbasis silikon. Sistem sel surya ini pertama kali dikembangkan oleh Grätzel sehingga disebut juga sel Grätzel. Keuntungan sistem sel surya ini adalah tidak menggunakan peralatan yang rumit dan tidak menggunakan bahan dengan kemurnian tinggi sehingga

proses pabrikasinya lebih sederhana dan biayanya relatif lebih murah. Namun kelemahan dari sel surya ini adalah stabilitasnya rendah karena penggunaan elektrolit cair yang mudah mengalami degradasi atau kebocoran [4].

Oleh karena adanya kelemahan dalam DSSC ini, maka terciptalah sebuah gagasan sensitisasi dengan penggunaan kuantum dot menggunakan zat pewarna pada matriks semikonduktor oksida sebagai penyerap sinar menghasilkan *quantum dots sensitized solar cells* (QDSSC) atau sel surya tersensitisasi kuantum dot. QDSSC memiliki absorpsi sinar dan kestabilan yang tinggi, kisaran panjang gelombang absorpsi yang lebar, kemungkinan generasi multi eksiton yang lebih besar dan menggunakan elektron dengan energi yang lebih tinggi dibandingkan pita konduksi semikonduktor [5]. Itulah beberapa kelebihan dari QDSSC dibandingkan dengan DSSC. QDSSC merupakan sistem sel surya yang berpotensi untuk mencapai rasio efisiensi-biaya yang kompetitif.

Penggunaan semikonduktor untuk sistem QDSSC sudah mulai dikembangkan antara lain seperti PbS, PbSe, CdS, CdSe, CdTe dan sebagainya sebagai sensitizer. Salah satu semikonduktor yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah PbS. PbS mampu digunakan untuk aplikasi dalam beberapa bidang teknis termasuk katalisis fotokimia, sensor gas, detektor, sel surya, bahan optik nonlinier, berbagai perangkat luminescence, dan lain-lain [6]. Ada berbagai metode yang biasa digunakan untuk sintesis PbS antara lain seperti metode *chemical bath deposition*, metode sol gel, sistem hidrotermal, metode solvothermal, deposisi elektrokimia, *vacuum evaporation*, dan sebagainya [7]. Pada penelitian kali ini akan dilakukan sintesis senyawa PbS dengan variasi penambahan amilum sebagai *capping agent* melalui metode sol gel. Prekursor yang digunakan yaitu $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_2\text{S}$, dan amilum. Pada akhir penelitian akan didapatkan senyawa kuantum dot yakni senyawa PbS kuantum dot.

METODE PENELITIAN

Sintesis senyawa PbS dengan amilum

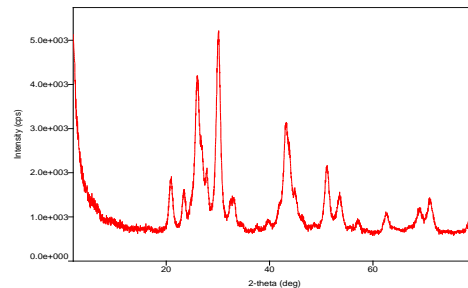
Serbuk PbS dibuat dengan melarutkan larutan 0,1 M $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ke dalam 50 mL aquades dalam labu takar 50 mL dan melarutkan larutan 0,2 M $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ke dalam 50 mL aquades. Kemudian larutan 0,1 M $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ diaduk selama 30 menit kemudian menambahkan amilum secara bervariasi antara 0,2 gram, 0,5 gram, 1,0 gram, 2,0 gram dan 3,0 gram ke dalam larutan tersebut sambil dilakukan pengadukan terus menerus selama 7,5 jam. Setelah campuran tersebut diaduk selama 7,5 jam, menambahkan larutan 0,2 M $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ke dalam larutan tersebut dan diaduk selama 7,5 jam. Larutan tersebut disaring dan dikeringkan pada suhu 80°C selama 4 jam untuk mendapatkan serbuk PbS. Hasil tersebut dikarakterisasi menggunakan XRD *Rigaku Multiflex* dengan radiasi Cu $\text{K}\alpha$ ($\lambda=1,5405981\text{\AA}$) dan UV-Vis.

HASIL DAN DISKUSI

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Hasil Karakterisasi XRD

a. PbS tanpa amilum



Gambar 1. Difraktogram XRD PbS tanpa amilum

Pada gambar terlihat adanya puncak-puncak yang tinggi, sempit, dan tajam yang mengindikasikan bahwa partikel tersebut adalah kristal serta memberikan informasi identitas bentuk kristal dari material PbS. Puncak-puncak utama yang nampak yaitu berkisar pada $2\theta = 26,03; 30,076; 43,068; 51,13$ dan $53,62^\circ$. Kelima puncak utama tersebut menandakan bahwa struktur kristal material PbS adalah kubik dan hal ini sesuai dengan data standar JCPDS no. 05-0592. Ukuran dari kristal PbS dapat ditentukan dengan persamaan *Scherrer* [8], yakni :

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta}$$

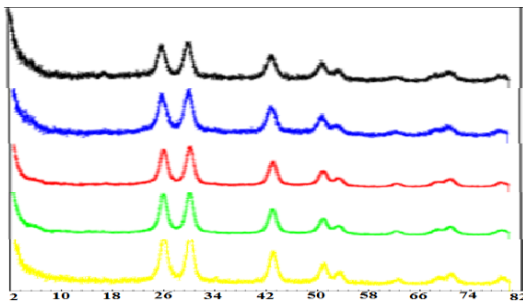
Sedangkan parameter kisi dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sin^2\theta = A (h^2 + k^2 + l^2),$$

$$\text{dengan } a = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}}$$

Dan diperoleh ukuran kristal sebesar 7,492 nm dan parameter kisi material PbS sebesar 5,9163 Å.

b. PbS dengan amilum 0,2; 0,5; 1; 2; 3 gram



Gambar 2. Difraktogram material PbS dengan variasi penambahan amilum

Masing-masing difraktogram menunjukkan variasi jumlah penambahan amilum pada material PbS dan menunjukkan adanya puncak difraksi yang khas dari material PbS yang mempunyai puncak difraksi pada $2\theta = 26, 30, 43, 51, 53, 62, 69, 71, \text{ dan } 79$ sesuai dengan bidang kristal dari (111), (200), (220), (311), (222), (400),

(331), (420), dan (422) yang masing-masing merupakan bidang dari kristal kubik PbS (JCPDS no. 05-0592). Ibrahim Alghoraibi menyatakan bahwa puncak-puncak yang tajam dan dominan menunjukkan material PbS tersebut sangat kristal. Dari hasil perhitungan, diperoleh rata-rata ukuran kristal PbS menggunakan *capping agent* amilum berturut-turut seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

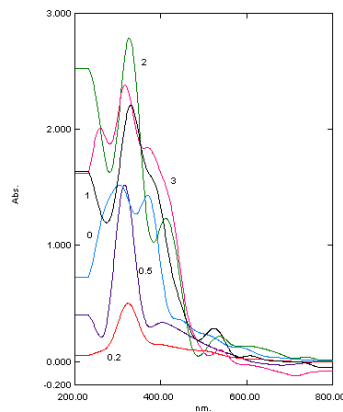
Tabel 1. Data ukuran kristal material PbS

Sampel	D (nm)
PbS 0,2	6,049
PbS 0,5	5,922
PbS 1	5,836
PbS 2	5,237
PbS 3	5,252

Tabel 2 menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai ukuran kristal yang signifikan dari material PbS tanpa amilum (7,492 nm) dengan material PbS dengan amilum. Selain itu, semakin banyak jumlah amilum yang ditambahkan pada material PbS maka ukuran partikelnya dominan semakin kecil. Hal ini berarti bahwa

capping agent telah berhasil menutup pori pada material PbS sehingga tidak terjadi aglomerasi partikel. Sementara itu, nilai parameter kisi material PbS dengan penambahan variasi penambahan amilum 0,2; 0,5; 1; 2; 3 gram berturut-turut yaitu 5,929 Å, 5,937 Å, 5,937 Å, 5,887 Å, 5,921 Å.

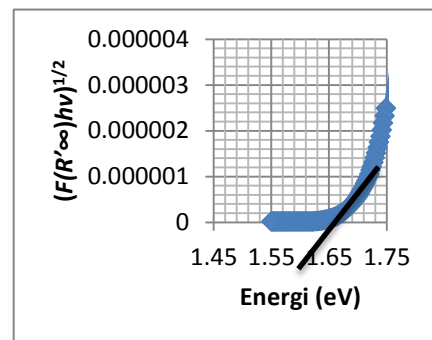
2. Karakterisasi UV-Vis



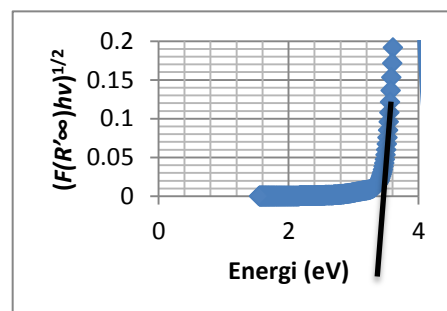
Gambar 3. Spektra Absorbansi material PbS dengan berbagai variasi penambahan *capping agent*

Berdasarkan spektra Gambar 3 terlihat bahwa sebelum ditambahkan amilum, material PbS murni hanya memberikan absorpsi pada daerah UV ($\lambda < 375$ nm). Sementara pergeseran serapan ke arah sinar tampak/visible terjadi seiring meningkatnya penambahan jumlah variasi *capping agent* yang dilakukan pada lapis tipis PbS. Hal ini berarti

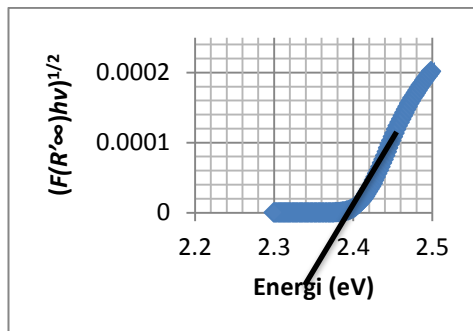
telah terjadi peningkatan intensitas serapan optik seiring dengan bertambahnya jumlah *capping agent* yang ditambahkan pada sintesis material PbS yang ditunjukkan oleh adanya serapan pada panjang gelombang yang nilainya lebih besar dari 400 nm. Sedangkan besarnya energi celah pita dapat ditentukan dengan metode Kubelka-Munk, dimana energi celah pita diperoleh dari grafik hubungan antara $h\nu$ (eV) vs $(F(R'_{\infty})h\nu)^{1/2}$.



Gambar 4. Grafik energi celah pita material PbS tanpa amilum



Gambar 5. Grafik energi celah pita material PbS 0,2 gram.



Gambar 6. Grafik energi celah pita material PbS 1 gram

Dari Gambar 4, 5 dan 6 tersebut, dapat terlihat perbedaan yang signifikan antara energi celah pita dari PbS tanpa amilum dengan PbS dengan amilum. Grafik pertama menunjukkan nilai dari energi celah pita PbS tanpa amilum adalah sebesar 1,68 eV. Sedangkan pada grafik kedua dan ketiga, dimana material PbS telah disintesis dengan penambahan amilum 0,2 dan 1 gram, memberikan efek peningkatan yang signifikan dengan diperoleh nilai energi celah pita sebesar 3,41 eV dan 2,4 eV.

SIMPULAN

1. Pengaruh penambahan *capping agent* terhadap ukuran partikel dan energi celah pita PbS yaitu mampu menurunkan ukuran partikel dari 7,492 menjadi 6,049 nm dan meningkatkan energi

celah pita dari 1,68 eV menjadi 3,41 dan dari 1,68 eV menjadi 2,4 eV.

2. Semakin banyak jumlah *capping agent* yang ditambahkan pada material PbS maka akan semakin memberikan pergeseran absorpsi ke arah visibel pada spektra UV-Vis.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada Ibu Dr. Cahyorini Kusumawardani, M.Si atas bimbingan dan saran yang diberikan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ardita Azmi Nuzulkarnaen. (2014). Preparasi Senyawa Nanokomposit N-TiO₂/CdS dengan Metode Chemical Bath Deposition. *Skripsi*. Universitas Negeri Yogyakarta: Jurdik Kimia FMIPA.
2. J. Jang, H. Kim, J. Jung Ji, B. Shon & J. Lee. (2006). Visible Light-Active Titanium Oxide Photocatalyst Realized by an Oxygen Deficient Structure and by Nitrogen Doping. *Journal Solid State Chemistry*, 179: 1067.

3. M. Gratzel. (2007). Photovoltaic and Photoelectrochemical Conversion of Solar Energy. *Trans Royal Science*, 365: 993-1005.
4. Karami Hasan, Mina Ghasemi., & Sara Matini. (2013). Synthesis, Characterization and Application of Lead Sulfide Nanostructures as Amonia Gas Sensing Agent. *International Journal Electrochemical Science*, 8: 11661-11679.
5. L. F. Koao, F. B. Dejene & H. C Swart. (2014). Synthesis of PbS Nanostructures by Chemical Deposition Method. *International Journal Electrochemical Science*, 9: 1747–1757.
6. P.V. Kamat. (2007). Meeting the Clean Energy Demand: Nanostructure Architectures for Solar Energy Conversion. *Journal Physical Chemistry*, 111(7): 2834-2860.
7. Ibrahim Alghoraibi. (2014). Effect of Deposition Time on the Nanocrystalline PbS Thin Synthesized by Chemical Solution Deposition Method: Structural Characterization. *International Journal Chemical Technology Research*, 6(5): 2725-2731.
8. Q. X. Zhang, X. Z. Guo, X. M. Huang & Y. H. Luo. (2011). Highly Efficient Cds/Cdse-Sensitized Solar Cells Controlled by the Structural Properties of Compact Porous TiO₂ Photoelectrodes. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 13(10): 4659-4667.

Artikel ini telah disetujui untuk diterbitkan oleh Pembimbing I pada tanggal²² Juni 2015



Dr. Cahyorini Kusumawardani, M.Si
NIP. 19770723 200312 2 001

Artikel ini telah direview oleh Penguji Utama pada tanggal 19 Juni 2015



Prof. A.K. Prodjo Santoso, Ph.D
NIP. 19601028 198503 1 002

Synthesis of PbS with Starch as *Capping Agent* for Quantum Dot Sensitized Solar Cells Application(QDSSC)

By:

Vatrika Anggriana Putri

11307141026

Supervisor: Dr. Cahyorini Kusumawardani, M.Si

ABSTRACT

This study aims to determine the effect of variations in the addition of starch to the particle size and the electronic character of material PbS. The synthesis was carried out using a sol gel method for 2 x 7,5 hours with precursor lead acetate as a source of Pb, ammonium sulfide as a source of S, and starch as a capping agent with variation of 0,2; 0,5; 1; 2; 3 gram.

The result was obtained black solid which used for thin layer on a glass substrate and then characterized using XRD to determine the crystal structure, particle size of PbS and UV-Vis to determine the electronic character of PbS with starch. XRD results showed that the crystal structure of PbS material before and after the starch is added with the cubic lattice parameter were 5,9163 Å and 5,8078 Å, respectively, which was very close to the value in the standard card JCPDS file No. 05-0592 ($a = 5,936 \text{ \AA}$).

Whereas the results of characterization using UV-Vis generated band gap energy of PbS without starch, with 0,2 and 1 gram of starch were 1,68 eV; 3,41 eV and 2,4 eV, respectively. The success of using capping agent for PbS synthesis is also point out the results showed that the more the number of PbS adding when synthesis, it will provide a shift towards visible absorption.

Key word: quantum dot, sol-gel method, starch, PbS

**Sintesis Senyawa PbS dengan Amilum sebagai *Capping Agent* untuk Aplikasi
*Quantum Dots Sensitized Solar Cell (QDSSC)***

**Oleh:
Vatrika Anggriana Putri
11307141026**

Pembimbing: Dr. Cahyorini Kusumawardani, M.Si

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan amilum terhadap ukuran partikel dan karakter elektronik dari material PbS. Sintesis ini dilakukan menggunakan metode sol-gel selama 2 x 7,5 jam dengan prekursor $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ sebagai sumber Pb, $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ sebagai sumber S, dan amilum sebagai *capping agent* dengan variasi 0,2; 0,5; 1; 2 dan 3 gram.

Hasil dari sintesis ini didapatkan padatan hitam yang kemudian digunakan untuk lapis tipis pada kaca substrat dan selanjutnya dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengetahui struktur kristal, ukuran partikel dari material PbS serta UV-Vis untuk mengetahui karakter elektronik dari material PbS dengan amilum. Hasil XRD menunjukkan bahwa struktur kristal material PbS tanpa amilum dan dengan amilum adalah kubik dengan nilai parameter kisi berkisar antara 5,9163 Å dan 5,8078 Å.

Sedangkan hasil karakterisasi menggunakan UV-Vis menghasilkan nilai energi celah pita material PbS tanpa amilum sebesar 1,68 eV, PbS dengan amilum 0,2 gram sebesar 3,41 eV, dan PbS dengan amilum 1 gram sebesar 2,4 eV. Keberhasilan dari sintesis senyawa PbS menggunakan *capping agent* amilum ditunjukkan pula pada hasil yang menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah amilum yang ditambahkan pada saat sintesis maka akan memberikan pergeseran absorpsi ke area sinar tampak.

Kata kunci : *quantum-dot*, metode sol-gel, amilum, senyawa PbS

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. Khairurijal.(2010).*Karakterisasi Nanomaterial Teori, Penerapan,dan Pengolahan Data*. Bandung: CV. Rezeki Putera Bandung: Hlm. 45-47; 95- 97.
- Alghoraibi, Ibrahim. (2014). *Effect of Deposition Time on the Nanocrystalline PbS Thin Synthesized by Chemical Solution Deposition Method: Structural Characterization*.Int. J. ChemTech Res. 6(5): 2725-2731.
- Ardiansyah, Nur dan Evi Maryanti.(2014). *Pengaruh Penambahan Sulfur Alam pada Sintesis Nanopartikel ZnO Berbasis Capping Agent Ekstra Air Daging Buah Sapindus Rarak Dc dengan Metode Sonokimia*.Jurnal Gradien.10(2): 1025-1028.
- Azmi, Ardita Nuzulkarnaen. (2014). *Preparasi Senyawa Nanokomposit N-TiO₂/CdS dengan Metode Chemical Bath Deposition*.Penelitian.Universitas Negeri Yogyakarta.
- Bensaha, Rabah and Hanene Bensouyad. (2012). *Synthesis, Characterization and Properties of Zirconium Oxide (ZrO₂)-Doped Titanium Oxide (TiO₂) Thin Films Obtained via Sol-Gel Process*. Hlm. 207-233.
- Fatimah, Is. (2009). *Peningkatan aktivitas Katalitik TiO₂ dan ZrO₂ Melalui Pengembangan Pada Matriks Al₂O₃-Montmorillonit*.Hibah Penelitian Untuk Mahasiswa Program Doktor. Yogyakarta: FMIPA UGM.
- Gratzel, M.(2007).*Photovoltaic and Photoelectrochemical Conversion of Solar Energy*, *Phil.Trans.Royal Sc.* 365, 1853: 993-1005.
- Guo, Qingchuan., Reza, Ghadiri., Thomas, Weigel., Andreas, Aumann., *et al.*,(2014). *Comparison of in Situ and ex Situ Methods for Synthesis of Two-Photon Polymerization Polymer Nanocomposites*. Open Access Polymers 2014. 6: 2037-2050
- Hodes, G.(2008). *Comparison of Dye and Semiconductor-Sensitized Porous Nanocrystalline Liquid Junction Solar Cells*, *J. Phys. Chem. C.* 17778-17787.
- Jang, J., Kim, H., Ji, S., Bae, S., Jung, J., Shon, B., and Lee, J. (2006). *VisibleLight-Active Titanium Oxide Photocatalyst Realized by an OxygenDeficient Structure and by Nitrogen Doping*.J. Solid State Chem., 179: 1067.

- Kamat, P. V. (2007). *Meeting the Clean Energy Demand: Nanostructure Architectures for Solar Energy Conversion*. J. Phys. Chem. C. 111(7): 2834-2860.
- Karami, Hasan., Mina, Ghasemi., and Sara, Matini., (2013). *Synthesis, Characterization and Application of Lead Sulfide Nanostructures as Amonia Gas Sensing Agent*. Int. J. Electrochem. Sci. 8: 11661 – 11679.
- Kartini, I., 2004, *Synthesis and Characterisation of Mesostructured Titania for Photoelectrochemical Solar Cells*, Disertation, School of Engineering, The University of Queensland, Australia.
- Koao, L.F., F.B, Dejene., and H.C, Swart.,(2014). *Synthesis of PbS Nanostructures by Chemical Deposition Method*. Int. J. Electrochem. Sci. 9: 1747 – 1757.
- Li, B., Wang, L. D., Kang, B. N., Wang, P., and Qiu, Y.,(2006). *Review of Recent Progress in Solid- State Dye-Sensitized Solar Cells*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 90(5): 549-573.
- Maryanti, E. 2008. *Studi Pengaruh Listrik Pada Pertumbuhan Kristal ZnO*. Bandung: Jurusan Kimia ITB.
- Mousa, Abdelrazek. (2011). *Synthesis and Characterization of PbS Quantum Dots*. Submitted to the Department of Chemical Physics. Lund University. Hlm. 1-21.
- Mozafari, Masoud and Fathollah Moztarzadeh. (2011). *Green Synthesis of Well-defined Spherical PbS Quantum dots and its Potential in Biomedical Imaging Research and Biosensing*. Iran. Amarkabir University of Technology. Hlm. 100-103.
- Nahar, Lamia and Arachchige.(2013). *Sol-Gel Methods for the Assembly of Metal and Semiconductor Nanoparticles*. Review Article. Hlm 2-6.
- Ntwaeaborwa, O.M., H.C, Swart., R.E, Kroon., and J.J, Terblans.,(2009). *Synthesis, characterization, and luminescent properties of ZnO–SiO₂:PbS*. J. Vac. Sci. Technol. A 27(4): 767-769.
- Rissa, L.V., S.Priatmoko., dan Harjito., *Sintesis Lapis Tipis Berbasis Nanopartikel Titania Termodifikasi Silika Secara Sol Gel Sebagai Bahan Anti Fogging*. Jurnal MIPA. 35(1): 57-65.
- Saraidarov, T and R. Reisfeld.(2003). *Synthesis and Characterization of Lead Sulfide Nanoparticles in Zirconia-Silica-Urethane Thin Films*

Prepared by the Sol-Gel Process. Journal of Sol-Gel Science and Technology. 26: 533–540.

- P. Sudhagar., Emilio, J., Yoo, Soo Kang., and Ivan, Mora Sero., (2014). *Quantum Dot-Sensitized Solar Cells.* World Class University Program Department of Energy Engineering and Center for Next Generation Dye-Sensitized Solar Cells, Hanyang University. South Korea. Hlm 89-136.
- Phuruangrat, Anukorn., Titipun, Thongtem., and Somchai, Tongthem., (2011). *Characterization and Photoluminescence of PbS Nanocubes Synthesized by a Solvothermal Method.* Chalcogenide Letters. 8(5): 297 – 300.
- Winardi, Sugeng., Kusdianto., dan Widiyastuti., (2011). *Preparasi Film ZnO-Silika Nanokomposit Dengan Metode Sol-Gel.* Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”. Hlm. 1-5.
- Yu, W. W., Qu, L. H., Guo, W. Z., and Peng, X. G., (2003). *Experimental Determination of the Extinction Coefficient of Cdte, Cdse, and Cds Nanocrystals.* Chem. Mater. 15(14): 2854-2860.
- Yulianty, Intan. (2013). *Surfaktan.* Bogor: Akademi Kimia Analisis Bogor.
- Zhang, Q. X., Guo, X. Z., Huang, X. M., Huang, S. Q., Li, D. M., and Luo, Y. H., et al., (2011). *Highly Efficient Cds/Cdse-Sensitized Solar Cells Controlled by the Structural Properties of Compact Porous TiO₂ Photoelectrodes.* Physical Chemistry Chemical Physics. 13(10): 4659-4667.