

Pengaruh *Doping* Al Terhadap *Band Gap Energy* Lapisan Tipis ZnO

Listiorini¹, Helga Dwi Fahyuan^{1*} dan Ngatijo²

¹Program Studi *Fisika*, FST, Universitas Jambi, Jl. Jambi-Ma. Bulian KM 15 Mendalo Darat, Jambi 36361, Indonesia

²Program Studi *Kimia*, FST, Universitas Jambi, Jl. Jambi-Ma. Bulian KM 15 Mendalo Darat, Jambi 36361, Indonesia

*e-mail: helgadwifahyuan@unja.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh *doping* Al terhadap *band gap energy* lapisan tipis ZnO dengan variasi konsentrasi Al 0%, 4%, 6%, 8% dan 10%. Lapisan tipis ZnO/Al ditumbuhkan di atas kaca substrat dengan menggunakan teknik *spin coating*. Lapisan tipis yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan alat UV-Vis untuk mengukur nilai transmitansi lapisan ZnO/Al pada rentang panjang gelombang 200-700 nm. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai *band gap energy* menggunakan persamaan *Swanepoel* dan metode *Touc Plot* dan diperoleh nilai *band energy* pada konsentrasi Al 0%, 4%, 6%, 8% dan 10% berturut adalah 3,94 eV, 3,25 eV, 3,24 eV, 3,22 eV dan 3,84 eV. Dari hasil yang diperoleh, nilai *band energy* terkecil pada konsentrasi ZnO/Al 8% yaitu sebesar 3,22 eV.

Kata kunci: *Lapisan Tipis; Doping; Band Gap Energy*

Abstract

[**Title: The Effect of doping Al on the Value of Band Gap Energy Thin Film of ZnO**] A research has been conducted on the effect of doping Al on the value of band gap energy thin film ZnO with variation of concentration Al 0%, 4%, 6%, 8% and 10%. A thin film ZnO/Al is grown on a glass substrate using a spin coating technique. The resulting thin film was characterized using a UV-Vis measure the ZnO/Al transmittance value in the wavelength range 200-700 nm. Then calculate the value of band gap energy using the Swanepoel and touc Plot and obtained value band gap energy at concentration 0%, 4%, 6%, 8% and 10% successive is 3,94 eV, 3,25 eV, 3,24 eV, 3,22 eV dan 3,84 eV. Of the results obtained, the smallest band gap energy value at ZnO/Al 8% concentration of 3,22 eV.

Keyword: *Thin Film; Dopping; Band Gap Energy*

PENDAHULUAN

Seng oksida (ZnO) adalah semikonduktor dengan *band gap energy* yang lebar yakni 3,37 eV pada suhu kamar (Ebru dan Tayyar, 2016). Kelebihan ZnO yaitu tidak mudah rusak dan mudah jenuh sehingga ZnO merupakan material yang cocok digunakan untuk penelitian pada suhu tinggi, maupun tegangan listrik yang tinggi (Williander, 2014). ZnO secara fisik berbentuk serbuk berwarna putih, tidak larut dalam air dan alkohol namun larut dalam asam seperti asam klorida. Besar *band gap energy* ZnO tergantung pada ukuran partikelnya dalam orde nanometer. Pada ukuran besar, ZnO memiliki *band gap energy* 3,37 eV (Sutanto dan Wibowo, 2015). Nilai *band gap energy* ini kurang sesuai apabila diaplikasikan pada cahaya tampak. Oleh karena itu, untuk memaksimalkan sifat dari

ZnO maka perlu dilakukan *doping* untuk menurunkan nilai *band gap energy* ZnO.

Doping adalah salah satu teknik yang digunakan untuk menambahkan sejumlah kecil atom pengotor ke dalam struktur kristal semikonduktor. Pada penelitian ini digunakan Aluminium (Al) sebagai *doping* ZnO dengan variasi konsentrasi Al 0%, 4%, 6%, 8% dan 10%. Material Al memiliki karakteristik sifat fisis yang menarik, sehingga banyak dilakukan penelitian pada material tersebut. Sifat menarik Al yaitu ion Al^{3+} mempunyai jari-jari yang lebih kecil dari pada ion Zn^{2+} sehingga dapat menyisip ke dalam kristal ZnO (Wahyuningsih, 2013). *Doping* Al dapat menurunkan nilai *bandgap energy* ZnO, tujuan penurunan nilai *bandgap energy* ini adalah untuk menambah kinerja solar cell dilihat dari nilai efisiensinya. Semakin kecil *band gap energy* maka

akan semakin kecil celah pita semikonduktor ZnO sehingga memudahkan elektron untuk berpindah. Teknik yang digunakan dalam penelitian ini yaitu teknik *spin coating*. Kelebihan dari teknik *spin coating* yaitu biayanya murah, komposisi yang homogen, tidak memerlukan ruang dengan tingkat kevakuman yang tinggi, ketebalan lapisan dapat dikontrol dan mikro strukturnya baik.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu neraca digital berfungsi untuk menimbang bahan yang digunakan, *hotplate* digunakan untuk memanaskan larutan, *magnetic stirrer* bertujuan agar larutan homogen, peralatan gelas, oven digunakan untuk mengeringkan lapisan, *furnace* untuk kalsinasi lapisan tipis, alat *spin coating* dan UV-Vis digunakan untuk melihat sifat optik bahan. Sementara bahan yang digunakan yaitu Serbuk *Zinc oxide* (ZnO) *pro analysis* kemurnian 99%, polivinil alkohol (PVA) Merck, akuades dan Aluminium Oksida (Al_2O_3).

Prosedur Kerja

Pembuatan Pasta ZnO/Al

PVA sebanyak 2,5 g dilarutkan dalam 20 mL akuades menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu $200^\circ C$ sampai membentuk suspensi. Dimasukkan serbuk ZnO kedalam suspensi dipanas pada suhu $80^\circ C$ selama 60 menit hingga membentuk koloid. Pasta/koloid didinginkan hingga mencapai suhu ruang, dilarutkan serbuk Al (0%, 4%, 6%, 8% dan 10%) dengan 1 mL akuades ditambahkan ke dalam pasta dan diaduk selama 60 menit. Pasta disimpan dalam botol tertutup dan sebelum digunakan botol yang berisi pasta dikocok terlebih dahulu.

Deposisi Lapisan ZnO/Al pada Kaca Substrat

Kaca substrat sebelum ditetesi koloid ZnO/Al dibersihkan menggunakan *ultrasonic cleaner*. Kaca substrat yang sudah dibersihkan diletakkan di atas alat *spin coating*. Kemudian koloid ZnO/Al dengan konsentrasi 0%, 4%, 6%, 8% dan 10% ditetesi di atas kaca substrat, substrat diputar dengan kecepatan putar 1500 rpm. Substrat diambil secara perlahan lalu dipanaskan di atas *hot plate* pada suhu $150^\circ C$ selama 45 menit kemudian dikalsinasi dengan suhu $400^\circ C$ selama 60 menit. Sampel dikarakterisasi menggunakan UV-Vis untuk mendapatkan nilai transmitansi minimum dan maksimum yang digunakan dalam perhitungan *band gap energy*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

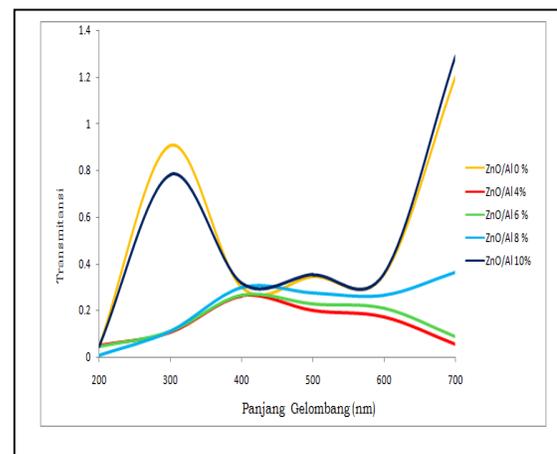
Lapisan Tipis ZnO/Al

Penelitian ini telah dihasilkan sampel lapisan tipis ZnO/Al dengan variasi *doping* Al 0%, 4%, 6%, 8% dan 10%, yang ditumbuhkan di atas kaca substrat menggunakan teknik *spin coating*. Penelitian ini mempelajari tentang sifat optik (*band gap energy*) lapisan tipis ZnO *doping* Al.

Sifat optik lapisan tipis ZnO/Al (0%, 4%, 6%, 8% dan 10%) dilakukan pengukuran dengan alat spektrometer UV-Vis. Data yang dihasilkan dari alat UV-Vis berupa nilai transmitansi, kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan *Swanepoel* dan metode *Touc Plot* untuk mendapatkan nilai *band gap energy* (E_g).

Hasil Karakterisasi UV-Vis lapisan ZnO/Al

Pengukuran transmitansi menggunakan alat UV-Vis dilakukan pada rentang panjang gelombang 200-700 nm, dimulai dari cahaya ultraviolet hingga cahaya tampak. Hasil pengukuran transmitansi optik dengan UV-Vis diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik hubungan transmitansi dengan panjang gelombang pada lapisan tipis ZnO/Al 0%, 4%, 6%, 8% dan 10%

Gambar 1 menunjukkan adanya perubahan transmitansi pada setiap variasi konsentrasi ZnO/Al (0%, 4%, 6%, 8% dan 10%). Lapisan ZnO tanpa *doping* memiliki nilai transmitansi pada daerah sinar ultraviolet hingga tampak yaitu 30%-120%. Sementara untuk lapisan ZnO/Al (4%, 6% dan 8%) mengalami penurunan nilai transmitansi dibandingkan dengan ZnO tanpa *doping* yaitu pada rentang 10%-30% pada daerah sinar ultraviolet

hingga tampak. Namun berbeda dengan konsentrasi ZnO/Al 10% nilai transmisi meningkat pada rentang 31%-129% pada daerah sinar ultraviolet hingga sinar tampak. Perubahan nilai transmitansi tersebut menunjukkan adanya serapan optik yang berbeda pada setiap sampel, sehingga menyebabkan perbedaan nilai *band gap energy* pada setiap sampel.

Penentuan Nilai Band Gap Energy Lapisan ZnO/Al

Perhitungan nilai *band gap energy* pada lapisan tipis ZnO/Al dengan metode *Touc Plot* dilakukan dengan beberapa tahap perhitungan sampai didapatkannya *band gap energy*. Prosesnya dimulai dengan menentukan nilai transmitansi maksimum (T_M) dan minimum (T_m), kemudian nilai tersebut digunakan untuk mencari indeks bias (persamaan 2) dan ketebalan kristal lapis tipis (persamaan 3). Berikut adalah rumus indeks bias dengan menggunakan persamaan *Swanepoel* (persamaan 1) untuk sampel ZnO/Al 0%:

$$N = 2n_s \frac{T_M T_m}{T_M T_m} + \frac{n_s^2 + 1}{2} \tag{1}$$

$$N_1 = 2 \cdot 1.51 \cdot \frac{0.905 \cdot 0.344}{0.905 \cdot 0.344} + \frac{1.51^2 + 1}{2}$$

$$N_2 = 7.802$$

$$n = \sqrt{N + \sqrt{N^2 - n_s^2}} \tag{2}$$

$$n_1 = \sqrt{7.802 + \sqrt{7.802^2 - 1.51^2}} = 3.741$$

$$N_2 = 2n_s \cdot \frac{T_{M2} T_{m1}}{T_{M2} \cdot T_{m1}} + \frac{n_s^2 + 1}{2}$$

$$N_2 = 2 \cdot 1.51 \frac{0.353 \cdot 0.299}{0.353 \cdot 0.299} + \frac{1.51^2 + 1}{2}$$

$$N_2 = 3.185$$

$$n_2 = \sqrt{N_2 + \sqrt{N_2^2 - n_s^2}}$$

$$n_2 = \sqrt{3.185 + \sqrt{3.185^2 - 1.51^2}} = 2.447$$

Notasi n_s adalah nilai indeks bias kaca (1.51) dan n adalah indeks bias lapis tipis. Hasil perhitungan nilai indeks bias lapis tipis digunakan untuk menghitung nilai tebal lapis tipis menggunakan persamaan 3.

$$d = \frac{1}{2(n_2 - n_1)} \tag{3}$$

$$d = \frac{300 \cdot 600}{2(300 \cdot 2.447 - 600 \cdot 3.741)}$$

$$d = 5.959 \cdot 10^{-8} m$$

Notasi d adalah ketebalan lapis tipis, λ_1 adalah panjang gelombang pada serapan maksimum ke-1 dan λ_2 adalah panjang gelombang pada serapan maksimum ke-2. Hasil perhitungan ketebalan lapis tipis digunakan untuk menghitung koefisien serap lapis tipis masing-masing panjang gelombang menggunakan persamaan serap lapis tipis (persamaan 4).

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln T \tag{4}$$

Berikut adalah nilai koefisien serap ZnO/Al 0% pada Tabel 1

Tabel 1. Nilai koefisien serap ZnO/Al 0%

Panjang gelombang (nm)	α (m ⁻¹)
200	52417614
300	1675119
400	20260307
500	17907596
600	17474194
700	3101500.9

Hasil perhitungan penentuan koefisien serap lapis tipis (α) bersama dengan nilai energi serap (foton) lapisan tipis untuk masing-masing panjang gelombang digunakan untuk membuat grafik sesuai dengan persamaan pada metode *Tauc Plot*. Berikut adalah persamaan untuk nilai energi serap cahaya/foton (persamaan 5).

$$E = hv = h \frac{c}{\lambda} \tag{5}$$

Notasi h adalah konstanta plank ($6,63 \cdot 10^{-34} J.s$), c adalah kecepatan cahaya $3 \cdot 10^8 m/s$, adalah 200 nm s.d 700 nm (Achmad, 2015). Berikut adalah nilai energi serap

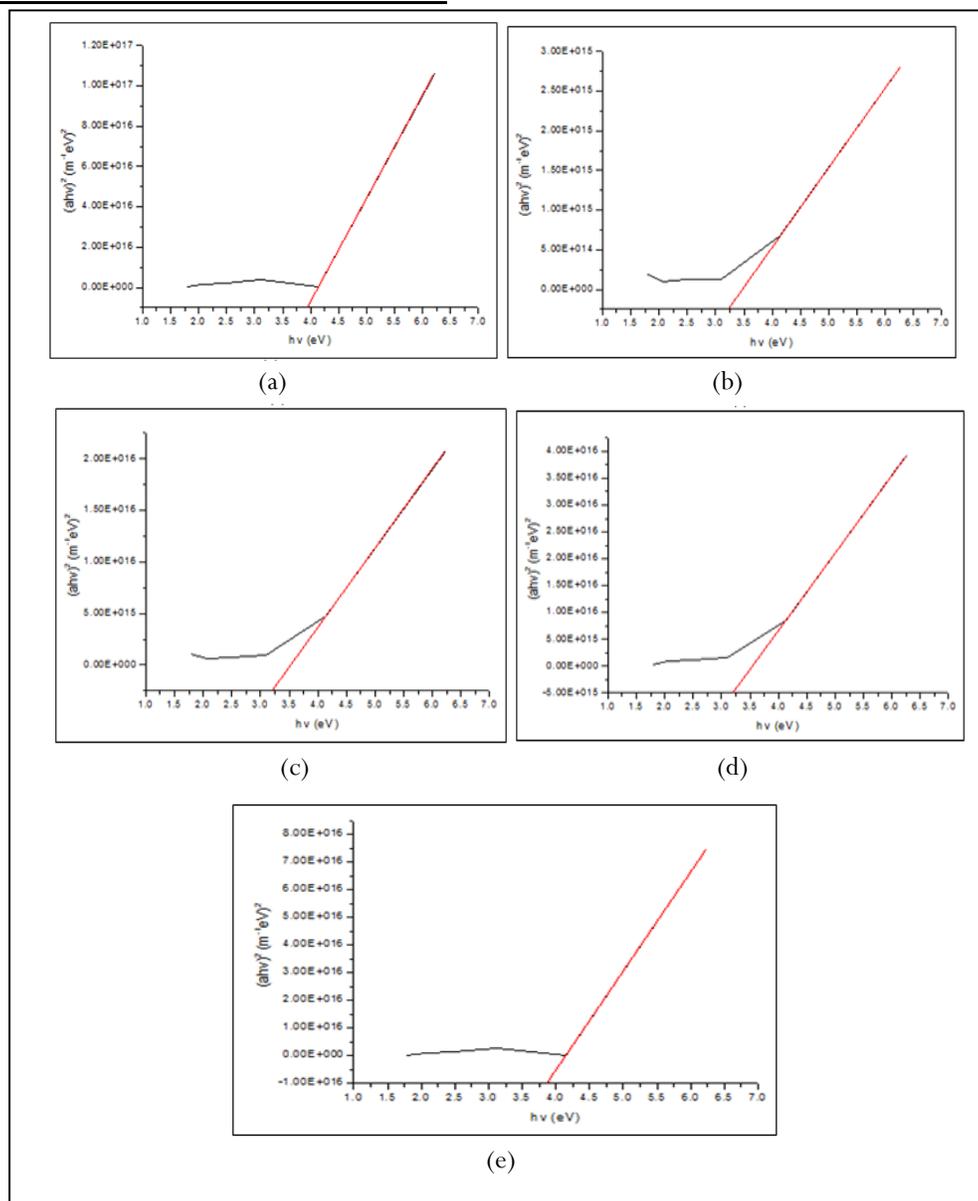
masing panjang gelombang lapisan tipis ZnO/Al 0% pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai energi serap lapisan tipis ZnO/Al 0%

Panjang gelombang (nm)	h (eV)
200	6.215625
300	4.14375

400	3.1078125
500	2.48625
600	2.071875
700	1.775892857

Nilai *band gap energy* yang diperoleh dengan menggunakan metode *Touc Plot* pada Gambar 2.



Gambar 2. Penentuan nilai *band gap energy* dengan metode *Touc Plot* terdiri atas (a) ZnO/Al 0%, (b) ZnO/Al 4%, (c) ZnO/Al 6%, (d) ZnO/Al 8% dan (e) ZnO/Al 10%

*untuk perhitungan nilai *band gap energy* lainnya menggunakan proses yang sama.

Gambar 2 menunjukkan grafik hubungan antara hasil kali koefisien serap dengan energi $(\alpha h\nu)^2$ terhadap energi yang diserap/foton $(h\nu)$. Sumbu X menunjukkan nilai energi yang diserap/foton $(h\nu)$ sebagai variabel bebas. Sumbu Y menunjukkan kali koefisien serap dengan energi $(\alpha h\nu)^2$ sebagai variabel terikat. Gambar 2 terlihat pada panjang gelombang 200 nm terjadi kenaikan nilai $(\alpha h\nu)^2$ yang signifikan, hal ini dipengaruhi oleh nilai transmitansi. Semakin kecil nilai transmitansi maka akan semakin besar nilai $(\alpha h\nu)^2$. Penarikan garis lurus antara hasil kali koefisien serap dengan energi $(\alpha h\nu)^2$ terhadap energi yang diserap/foton $(h\nu)$ dilakukan dengan menggunakan metode *Touc Plot*. Metode *Touc Plot* merupakan metode penarikan garis lurus antara hasil kali koefisien serap dengan energi $(\alpha h\nu)^2$ terhadap energi yang diserap/foton $(h\nu)$. Penarikan garis lurus tersebut dilakukan menggunakan *software* origin. Berikut adalah nilai *band gap energy* sampel ZnO doping Al pada Tabel 3.

Tabel 3. *Band gap energy* lapisan tipis ZnO doping Al

Lapisan tipis ZnO/Al	<i>band gap energy</i> (eV)
ZnO/Al 0%	3.94
ZnO/Al 4%	3.25
ZnO/Al 6%	3.24
ZnO/Al 8%	3.22
ZnO/Al 10%	3.84

Tabel 3 menunjukkan *band gap energy* (E_g) lapisan tipis ZnO doping Al 0%, 4%, 6%, 8%, 10%, terlihat pada Tabel bahwa ZnO tanpa doping memiliki nilai E_g yang cukup besar yaitu 3,94 eV. Berdasarkan literatur *band gap energy* ZnO murni sebesar 3,37 eV. Perbedaan E_g yang didapat dengan E_g menurut literatur diasumsikan karena suhu *furnace* saat kalsinasi tidak konstan sehingga berpengaruh pada hasil yang diperoleh. Perbedaan nilai *band gap energy* dengan literatur juga didapatkan oleh Akhtar dkk., (2015) yang memperoleh *band gap energy* sebesar 3,51 eV. Terjadi penurunan nilai E_g pada konsentrasi 4%, 6%, 8% yaitu berturut-turut sebesar 3,25 eV, 3,24 eV, 3.22 eV dan ZnO/Al 10% nilai *band gap energy* naik menjadi 3,84 eV. Berdasarkan data yang diperoleh, doping Al mampu menurunkan nilai *band gap energy* ZnO, namun penurunan *band gap energy* tidak linear, hanya sampai batas ZnO/Al 8%. Terjadinya kenaikan nilai E_g pada sampel ZnO/Al 10% disebabkan karena penambahan doping telah melewati batas maksimum suatu bahan. Hal ini juga terjadi pada penelitian Ghomrani dkk., (2015) melakukan ZnO doping Al dengan konsentrasi Al 0.5%, 2%, 3%, dan 6%.

Hasil yang didapatkan ZnO doping Al 0.5% dan 2% mengalami penurunan *band gap energy*, sementara mengalami kenaikan *band gap energy* pada konsentrasi ZnO doping Al 3%, terjadi penurunan nilai *band gap energy* kembali ZnO doping Al 6%.

Menurut Durri dan Sutanto (2015) ZnO doping Al pada konsentrasi yang lebih tinggi (10%) terjadi peningkatan nilai *band gap energy*. Hal ini terjadi karena penambahan doping Al pada lapisan tipis ZnO mempengaruhi pergeseran pada panjang gelombang pendek (peristiwa *blue shift*). Peristiwa ini sebagian besar dianggap berasal dari efek Burstein-Moss, yaitu meningkatnya nilai *band gap energy* pada konsentrasi yang lebih tinggi. Terlihat pada Tabel 3 bahwa nilai E_g terkecil terdapat pada sampel ZnO/Al 8% yaitu 3.22 eV. Hal ini terjadi karena adanya kelebihan elektron sehingga memberikan level energi baru dimana elektron akan mudah tereksitasi dari pita valensi ke konduksi. Sementara Al dengan konsentrasi tinggi (>10%) akan menghasilkan struktur kristal dua phase yaitu ZnO hexagonal dan Al rhombohedral.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa doping Al mampu menurunkan nilai *band gap energy*. Lapisan tipis yang ditumbuhkan di atas kaca substrat dengan teknik *spin coating* mampu menurunkan nilai *band gap energy* hingga 3,22 eV pada konsentrasi ZnO/Al 8%.

SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran untuk penelitian selanjutnya yaitu; diperlukan variasi suhu kalsinasi sampel ZnO/Al dan variasi Al dengan konsentrasi rendah dibawah 10%.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, S. A., 2015. Sintesis dan Karakterisasi Film Tipis TiO₂ sebagai Pendegradasi Pewarna Tekstil *Procion Red MX-8B*. *Jurnal Ilmu Dasar*. 17(2):65-72
- Akhtar, M. J., Alhadlaq, H. A., Alshamsan, A., Khan, M. M. A., dan Ahamed, M., 2015. Aluminum doping tunes band gap energy level as well as oxidative stress-mediated cytotoxicity of ZnO nanoparticles in MCF-7 cells. *Scientific Report*. 1-16
- Durri, S., dan Sutanto, H., 2015. Karakterisasi Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO Doping Al yang Dideposisi di Atas Kaca dengan Metode Sol-Gel Teknik Spray-Coating. *Jurnal Fisika Indonesia*. 119(55):38-40

- Ebru, G dan Tayyar, G. 2016. Influence of Aluminum Concentration on the Electrical and Optical Properties of ZnO Thin Films. *Jurnal of the Turkish chemical society*. No. 3(3) : 453-462
- Ghomrani, F. Z., Aissat, A., dan Benkouder, A., 2015. Al Concentration Effect on ZnO Based Thin Films for Photovoltaic Applications. *Energy Procedia*. No. 74: 491-498
- Sutanto, H., dan Wibowo, S., 2015. Semikonduktor Fotokatalis Seng Oksida dan Titania, UPT UNDIP Press : Semarang
- Wahyuningsih, K., Marwoto, P., dan Sulhadi. 2013. Konduktivitas dan Transmittansi Film Tipis *Zinc Oxide* yang Dideposisikan pada Temperatur Ruang. *Unnes physics journal*. 2(1):37-43
- Williander, A., 2014. Karakterisasi Nanokristalin ZnO Hasil Presipitasi dengan Perlakuan Pengeringan, Anil dan Pasca-Hidritermal. *Tesis*. Jurusan Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia, Depok