

## Fabrikasi dan Karakterisasi Film Tipis ZnO dengan Arus Deposisi Menggunakan Metode Elektroplating

Romantina Hutajulu\*, Jubaidah\*, Nurdin Siregar

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan  
Jl. William Iskandar Ps. V, Sumatera Utara 20221, Indonesia

### Info Artikel

#### Histori Artikel:

Diajukan: 10 November 2023  
Direvisi: 18 Maret 2024  
Diterima: 19 April 2024

#### Kata kunci:

Arus Deposisi  
Elektroplating  
Film Tipis ZnO  
SEM-EDX  
UV-Vis  
XRD

#### Keywords:

Current Deposition  
Electroplating  
ZnO Thin Films  
SEM-EDX  
UV-Vis  
XRD

#### Penulis Korespondensi:

Romantina Hutajulu, Jubaidah  
Email:  
[romantinahutajulu0@gmail.com](mailto:romantinahutajulu0@gmail.com)  
[jubaidah@unimed.ac.id](mailto:jubaidah@unimed.ac.id)

### ABSTRAK

Seng oksida (ZnO) merupakan material semikonduktor tipe-*n* yang banyak dikembangkan untuk berbagai aplikasi salah satunya adalah sel surya. ZnO biasanya dibuat dalam bentuk *film* tipis. *Film* tipis ZnO telah berhasil disintesis menggunakan metode *elektroplating* dengan variasi arus deposisi (7, 10, 25, dan 35 mA). Sampel *film* tipis ZnO diuji menggunakan XRD, SEM-EDX, dan UV-Vis untuk mengetahui struktur, morfologi, dan sifat optiknya. Hasil analisis difraktogram XRD menunjukkan struktur kristal untuk semua sampel adalah *Wurtzite Hexagonal* dan ukuran kristalit 18,1-28,0 nm dengan puncak tertinggi dihasilkan bidang Miller (200). Analisis morfologi menunjukkan bahwa semakin tinggi arus deposisi, semakin seragam bentuk partikel kristalit dan semakin merata menutupi permukaan substrat. Hasil UV-Vis menunjukkan nilai transmitansi *film* tipis ZnO untuk semua sampel > 80% dan lebar celah pita energi *film* tipis ZnO berkisar antara 3,41-3,47 eV sehingga dapat diaplikasikan pada sel surya.

*Zinc Oxide (ZnO) is a n-type semiconductor material that has been widely developed to produce various applications, such as solar cell. ZnO crystal material is usually made in the form of thin films. ZnO thin films have been successfully synthesized using the electroplating method with varied electric currents (7, 10, 25, and 35 mA). XRD, SEM-EDX, and UV-Vis were used to obtain the structure, morphology and optical properties of the ZnO thin films. The XRD diffractogram patterns indicate that the crystal structure for all samples is hexagonal wurtzite and the crystallite size is 18,1-28,0 nm. The highest crystallite peak come from (200) plane. Morphological analysis shows that the higher the deposition current, the more uniform the crystallite particle shape and the more compact substrate coverage. The UV-Vis spectra show that the transmittance value of ZnO thin films for all samples is > 80% and the energy band gap width of the ZnO thin film is 3,41-3,47 eV, so that it can be applied to solar cells.*

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

## I. PENDAHULUAN

Studi mengenai pemanfaatan ZnO sebagai material sel surya telah berkembang pesat. ZnO atau *Zinc Oxide* adalah semikonduktor tipe-*n* berbentuk kristal *wurtzite* dengan celah pita energi langsung (*direct band gap*) (anggita et al., 2021). ZnO monokristal mempunyai nilai celah energi antara 3,1-3,3 eV pada temperatur ruangan, serta 3,44 eV pada temperatur 4K. ZnO polikristal untuk *film* memiliki nilai celah pita antara 3,28-3,30 eV dengan indeks bias ZnO dalam bentuk *film* berkisar antara 1,93-2,0 serta untuk material ukuran besar (*bulk*) adalah ~2,0. Penggunaan ZnO untuk elektroda kerja *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) cukup menjanjikan karena ZnO adalah bahan semikonduktor senyawa II-VI (Putri dkk., 2016). ZnO sebagai semikonduktor senyawa ZnO telah menunjukkan sifat multifungsi dengan energi ikat yang besar (60 MeV), resistivitas rendah ( $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ ), tidak beracun, mobilitas elektron sebesar  $200 \text{ cm}^2/\text{vs}$ , dan kemampuan menangkap cahaya yang besar (Siregar dkk., 2023). ZnO mempunyai struktur kristal *wurtzite* heksagonal, dengan nilai parameter kisi  $a = 3,249 \text{ \AA}$  dan  $c = 5,206 \text{ \AA}$  (Kumar & Sasikumar, 2014). Kristal ZnO biasanya dibuat dalam bentuk *film* tipis. Sintesis *film* tipis ZnO yang paling optimal dapat dibuat dengan metode *elektroplating* (Siregar dkk., 2023). Untuk mendapatkan hasil terbaik, terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan dalam proses *elektroplating*, antara lain adalah konsentrasi larutan elektrolit, dan jarak elektroda (Singgih & Toifur, 2020).

Ada beberapa parameter penting yang mempengaruhi pelapisan dalam proses *elektroplating* menurut Saputra dkk. (2020), yaitu konsentrasi larutan elektrolit, waktu deposisi atau waktu pelapisan, dan arus listrik. Yao dkk. (2015) memvariasikan konsentrasi elektrolit dengan rentang 0,005-0,03 M, yang menghasilkan struktur *wurtzite* heksagonal, intensitas puncak pada orientasi (002), serta menunjukkan nilai celah pita yang menurun secara linier seiring meningkatnya konsentrasi. Khansa dkk. (2019) melakukan penelitian pada variasi waktu deposisi dengan rentang 5-45 detik, hasilnya diperoleh struktur kristal dengan intensitas, dan ukuran butir yang bervariasi sehingga kadar endapan meningkat seiring bertambahnya waktu pengendapan, selain itu celah pita semakin menurun seiring bertambahnya waktu deposisi. Di lain kesempatan, Siregar dkk. (2023) melakukan penelitian *film* tipis ZnO dengan metode *elektroplating* dengan memvariasi arus deposisi dengan rentang 5-40 mA pada konsentrasi larutan 0,2M dan waktu deposisi 2,5 menit. Hasil penelitiannya menunjukkan hasil ZnO memiliki struktur kristal heksagonal serta ukuran kristal dan nilai celah pita meningkat seiring dengan meningkatnya arus pengendapan. Berdasarkan studi di atas, maka dapat diasumsikan bahwa dengan menggunakan konsentrasi larutan yang cukup tinggi dan waktu deposisi yang cukup lama, diharapkan dapat menurunkan lebar celah pita.

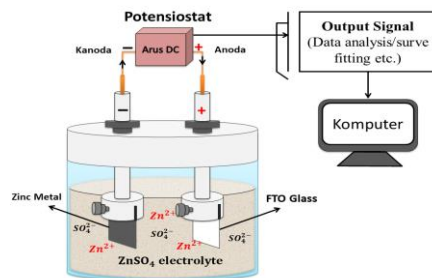
Penelitian ini bertujuan untuk melakukan fabrikasi *film* tipis ZnO-based dilakukan dengan metode *elektroplating* yang dihubungkan dengan Potentiostat-Galvanostat. Penggunaan Potentiostat-Galvanostat bertujuan untuk membuat *film* tipis ZnO menjadi ukuran nano dengan memvariasikan arus deposisi 7-35 mA. Adapun konsentrasi dan waktu deposisi dibuat konstan masing-masing 0,5 M dan 10 menit.

## II. METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium *Nanomaterials for Renewable Energy Research Center* (LAB NRE). Karakterisasi sampel atau pengujian XRD, SEM-EDX dan UV-Vis dilakukan di Laboratorium *National Taiwan University of Science and Technology* (LAB NTUST). Pengolahan data dilakukan di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Medan. Bahan yang digunakan adalah kaca *fluorine-doped thin oxide* (FTO), *zinc sulphate heksahidrat* ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), dan *deionized water* (DEA). Serbuk  $\text{ZnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  sebanyak 13,3425 g sesuai dengan perhitungan rumus kemolaran dengan konsentrasi 0,5M yang dilarutkan dalam DEA sebanyak 150 ml. Untuk melarutkan  $\text{ZnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dalam DEA diperlukan menggunakan *ultrasonic bath* dengan cara didiamkan selama 5 menit atau sampai terlarut.

Metode *elektroplating* dilakukan dengan dua elektroda menggunakan kaca FTO yang telah dipreparasi sebagai elektroda kerja (negatif) dan *zinc metal* sebagai elektroda acuan (positif) ditempatkan sejajar satu sama lain pada jarak sekitar 1 cm. Pembuatan sampel *film* tipis ZnO dilakukan dengan menggunakan potensiostat-galvanostat. Variasi yang dilakukan pada arus deposisi yaitu 7, 10, 25, dan 35 mA selama 10 menit. Kemudian dilakukan pemanasan awal (*pre-heating*) terhadap kaca dengan menggunakan *hot plate* selama 5 menit dan pemanasan akhir (*post-heating*) dilakukan dengan menggunakan *furnace* dengan maksimal 500 °C, kemudian suhu naik secara perlahan-lahan selama 2 jam sampai mencapai suhu tinggi 500 °C dan dipertahankan selama 15 menit kemudian diturunkan

sampai mencapai suhu ruangan sehingga terbentuk sampel *film* tipis ZnO. Hal ini bertujuan untuk mengurangi kandungan air, sisa pelarut dari lapisan, dan gugus asam, serta memfasilitasi terbentuknya sampel *film* tipis ZnO. Sampel *film* tipis ZnO dikarakterisasi menggunakan XRD, SEM-EDX, dan UV-Vis. Adapun skema proses pelapisan sampel kaca FTO yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1.

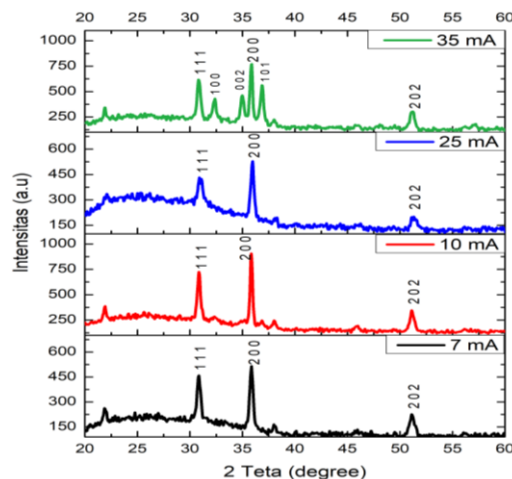


Gambar 1 Skema proses pelapisan metode *elektroplating*

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Hasil Uji X-Ray Diffraction (XRD)

Berdasarkan pengujian XRD didapat hasil pola difraksi untuk setiap sampel untuk mengetahui struktur kristal, ukuran kristal serta orientasi bidang kristal *film* tipis. Hasil visual sinar-X berupa pola difraksi dengan variasi arus deposisi serta sudut yang diambil berada pada rentang 20°-60° yang ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2 Difraktogram XRD *film* tipis ZnO dengan variasi arus deposisi

Gambar 2 menunjukkan bahwa semua sampel memiliki puncak pada sudut yang hampir sama sehingga dapat digunakan untuk menentukan fasa sampel ZnO. Dari puncak memperlihatkan sampel ZnO berfasa kristal karena memiliki puncak yang tajam. Puncak pertumbuhan yang tertinggi serta berorientasi untuk semua sampel berada pada bidang (200). Data yang diperoleh kemudian dicocokkan dengan data kartu *Joint Committee on Powder Diffraction Standard* (JCPDS) No. 33-0784 (Jin dkk., 2018). Maka senyawa yang terdapat pada *film* tipis ZnO dapat diidentifikasi bahwa kristal berbentuk *Wurtzite hexagonal*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya arus deposisi tidak mengubah atau tidak mempengaruhi struktur kristal dari *film* tipis ZnO.

#### 3.2 Ukuran Kristal *Film* Tipis ZnO

Perhitungan pengukuran kristal yang terbentuk pada sampel *film* tipis ZnO dapat diketahui dengan menggunakan persamaan *Debye Scherrer* berikut:

$$d = \frac{0,9\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

dengan  $d$  adalah ukuran kristal (nm),  $\beta$  adalah *Full Width at Half Maximum* (FWHM),  $\lambda$  adalah panjang gelombang berkas sinar-X, dan  $\theta$  adalah besar sudut (rad). Dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan di atas maka ukuran kristal ditunjukkan oleh Tabel 1.

**Tabel 1** Ukuran kristal *film* tipis ZnO dengan variasi arus deposisi

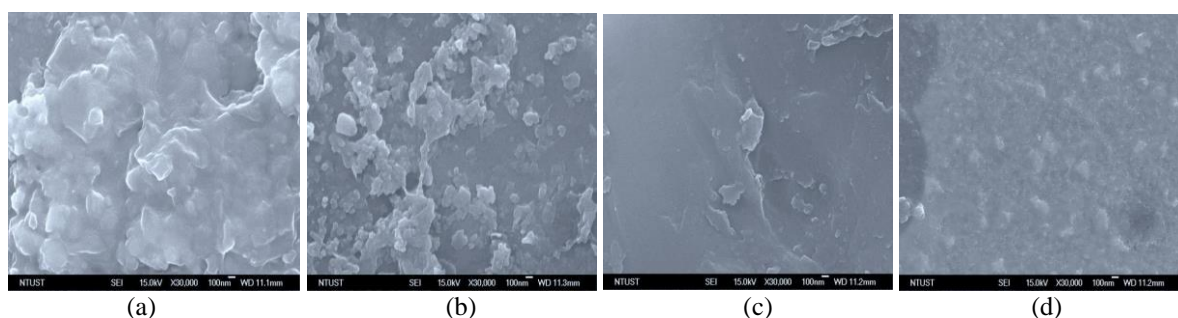
Arus Deposisi (mA)	Fase	Peak		Ukuran Kristal (nm)
		$2\theta$ (degree)	FWHM (Radian)	
7	ZnO	35,8628	0,39633	21,1
10	ZnO	35,8393	0,29866	28,0
25	ZnO	35,9642	0,46156	18,1
35	ZnO	35,8393	0,33896	24,6

Tabel 1 menunjukkan bahwa semakin bertambahnya arus deposisi dengan rentang 7-35 mA menghasilkan ukuran kristal yang tidak linear, namun cenderung meningkat. Pada penambahan arus deposisi dari 7 mA dan 10 mA, ukuran kristal meningkat. Namun, ukuran kristal justru mengecil pada arus deposisi 25 mA, sebelum naik kembali pada arus deposisi menjadi 35 mA. Adapun terjadinya peningkatan ukuran kristal disebabkan oleh jumlah atom-atom penyusun yang meningkat. Maka, proses penumbuhan kristal *film* tipis ZnO akan meningkatkan ukuran kristal. Sedangkan mengecilnya ukuran kristal menurut Aryanto dkk., (2014) terjadi karena adanya cacat kristal yang terdapat pada *film* tipis sehingga mempengaruhi hamburan dari muatan pembawa. Mobilitas muatan pembawa ini berkaitan erat dengan kualitas kristal film tipis yang terbentuk. Oleh karena itu pertumbuhan kristal mengalami penurunan. Adapun ukuran kristal meningkat kembali, hal ini terjadi karena proses penumbuhan atom-atom penyusun yang meningkat sehingga menurunkan pengaruh cacat kristal.

Perubahan ukuran yang tidak linear terhadap peningkatan arus disebabkan oleh beberapa faktor lain yang mempengaruhi ukuran kristal yaitu bahan dasar yang digunakan, konsentrasi pelarut, waktu, *pre-heating*, *post-heating* serta metode yang digunakan. Nilai ukuran kristal juga dipengaruhi oleh FWHM atau lebar spektrum XRD. Jika nilai FWHM kecil maka ukuran kristal besar, dan sebaliknya (Aliffah dkk., 2023). Semakin tinggi kristalinitas semakin tajam puncak difraksi (semakin kecil FWHM).

### 3.3 Morfologi *Film* Tipis ZnO

Analisa morfologi lapisan tipis ZnO pada sampel kaca menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Pada penelitian ini diperoleh hasil SEM dari sampel lapisan ZnO dengan variasi arus deposisi seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



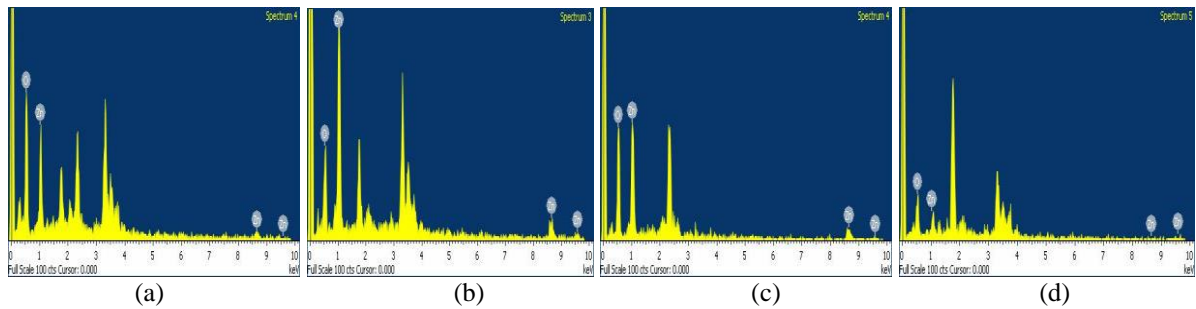
**Gambar 3** Bentuk lapisan tipis ZnO dengan perbesaran 30.000x yang dideposisi menggunakan arus: (a) 7 mA, (b) 10 mA, (c) 25 mA, (d) 35 mA

Gambar 3 (a) memperlihatkan distribusi butir kristalit dimana ukuran butirnya tampak kasar dan seragam pada semua permukaan kaca, hal ini dipengaruhi oleh ketebalan dari lapisan tipis. Pada Gambar 3(b) diperoleh distribusi butiran kristalit memperlihatkan bahwa ukuran butirnya tampak lebih besar dan mempunyai morfologi permukaan cukup merata yang hampir menutupi permukaan kaca, ukuran butir yang sama dan teratur. Seiring distribusi kristalit yang kecil mengalami pertumbuhan maka menghasilkan aglomerat-aglomerat yang sama dan akan membentuk butiran baru yang lebih besar. Pada Gambar 3(c) diperoleh distribusi butiran kristal halus yang tidak beraturan dan tampak sedikit memiliki retakan butiran kristal. Pada Gambar 3(d) diperoleh distribusi butiran kristal yang kasar, tidak

beraturan dan tampak ukuran butiran partikel yang seragam dengan morfologi permukaan cukup merata yang hampir menutupi permukaan kaca. Terjadinya perbedaan bentuk partikel kristalit yang tidak stabil karena semakin meningkatnya arus deposisi yang mengalir akan mempengaruhi jumlah ion-ion yang terlepas dari larutan dan mengendap pada sampel kaca FTO.

### 3.4 Kandungan Unsur *Film Tipis ZnO*

Analisis untuk mengetahui unsur yang terkandung dan sebaran unsur (*mapping*) pada sampel dengan variasi arus deposisi dilakukan dengan uji EDX yang hasilnya diperlihatkan pada Gambar 4.



**Gambar 4** Sebaran unsur pada lapisan tipis ZnO yang dideposisi dengan arus: (a) 7 mA, (b) 10 mA, (c) 25 mA, (d) 35 mA

**Tabel 2** Persentase atom pada *film* tipis ZnO variasi arus deposisi

Arus Deposisi (mA)	Atomic (%)	
	O	Zn
7	83,40	16,60
10	64,38	35,62
25	77,55	22,45
35	89,89	10,11

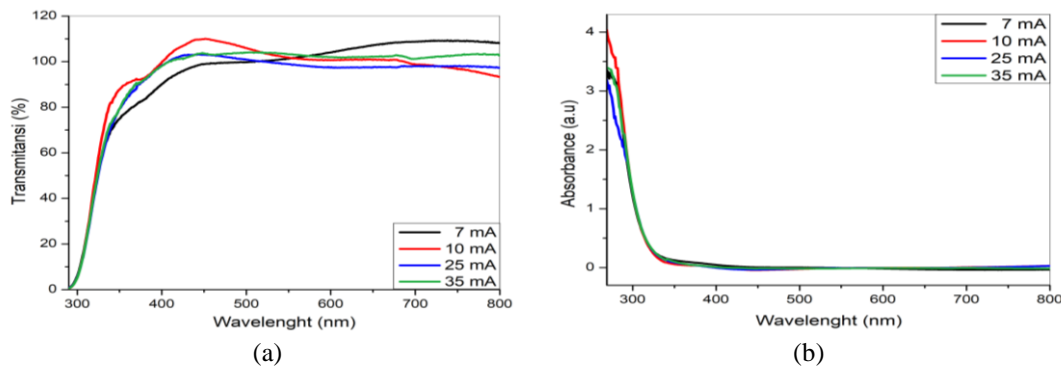
Hasil EDX pada Tabel 2 memberikan informasi bahwa persentase unsur Zn tertinggi yang terkandung dalam *film* tipis ZnO sebesar 35,62% pada arus 10 mA dan terendah sebesar 10,11% pada arus 35 mA. Persentase unsur O tertinggi yang terkandung dalam *film* tipis ZnO sebesar 89,89% pada arus 35 mA, dan terendah sebesar 64,38% pada arus 10 mA. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kenaikan arus deposisi akan mempengaruhi persentase unsur pada sampel *film* tipis ZnO. Maka dapat disimpulkan bahwa bertambahnya arus deposisi, dapat menurunkan persentase kandungan unsur Zn, yang mengakibatkan persentase unsur O meningkat.

### 3.5 Transmittansi dan Absorbansi *Film Tipis ZnO*

Spektrum transmittansi *film* tipis ZnO dengan variasi arus deposisi pada Gambar 5(a) memperlihatkan terjadinya kenaikan nilai transmittansi yang cukup tajam pada rentang panjang gelombang sekitar 290-450 nm. *Film* tipis ZnO dengan arus deposisi 7, 10, 25, dan 35 mA memiliki nilai transmittansi tertinggi di wilayah cahaya tampak berturut-turut yaitu 80,18%, 89,64%, 87,45%, dan 88,36%. Secara umum pola spektrum transmittansi dari lapisan ZnO mempunyai pola yang hampir sama. Menurut Siregar dkk. (2023) terjadinya kenaikan arus pengendapan sejalan dengan penurunan nilai transmittansi karena semakin besar arus pengendapan, semakin banyak atom konstituen menyebabkan lebih banyak cahaya diserap dan dihamburkan oleh atom penyusun, sehingga hanya sedikit cahaya yang mampu menembus material. Nilai transmittansi untuk semua sampel lapisan tipis ZnO > 80% sehingga dapat diaplikasikan pada sel surya. Semakin tinggi arus deposisi, semakin meningkat nilai transmittansi. Nilai transmittansi yang besar dari *film* tipis ini memungkinkan untuk digunakan sebagai fotoanoda DSSC.

Selain transmittansi, juga diperoleh spektrum absorbansi pada *film* tipis ZnO dengan variasi arus deposisi pada Gambar 5(b) menunjukkan nilai absorbansi menurun tajam pada rentang panjang gelombang 270-350 nm dari daerah *ultraviolet* yang juga merupakan daerah serapan cahaya. Nilai absorbansi menurun pada arus deposisi yang semakin tinggi dikarenakan arus deposisi yang tinggi menyebabkan laju reaksi yang semakin cepat sehingga nilai absorbansi akan semakin rendah (Rumiyanti dkk., 2021).

Hasil pengukuran transmitansi dan absoransi pada arus deposisi menggunakan spektrofotometer UV-Vis diperlihatkan pada Gambar 5.



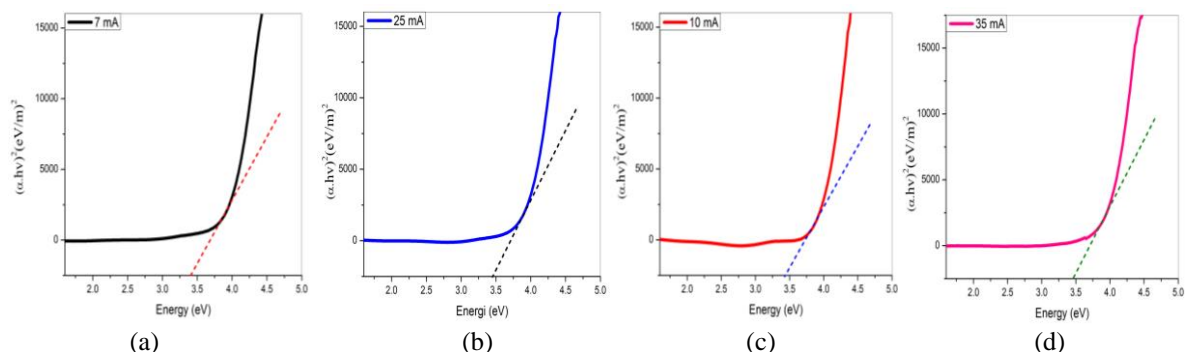
Gambar 5 Spektrum film tipis ZnO variasi arus deposisi (a) Transmitansi, (b) Absorbansi

### 3.6 Celah Pita Energi Film Tipis ZnO

Hubungan antara absoransi dan transmitansi pada celah pita langsung, sifat optik dari film tipis ZnO pada variasi arus deposisi diperoleh dari koefisien korelasi absoransi frekuensi foton yang memenuhi Persamaan 2.

$$(\alpha h\nu)^2 = C_D (h\nu - E_g) \quad (2)$$

dengan  $\alpha$  adalah koefisien absoransi,  $h$  adalah konstanta Planck,  $\nu$  adalah frekuensi foton,  $C_D$  adalah konstanta absoransi, dan  $E_g$  adalah energi gap. Celah pita energi film tipis ZnO pada variasi arus deposisi dapat dihitung menggunakan metode *Tauc plot*. Metode *Tauc plot* yaitu menarik ekstrapolasi pada daerah linier dari kurva hubungan  $h\nu$  sebagai absis dan  $\alpha h\nu$  sebagai ordinat hingga memotong sumbu energi sehingga diperoleh nilai  $E_g$  ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Celah pita energi film tipis ZnO variasi arus deposisi: (a) 7 mA, (b) 10 mA, (c) 25 mA, (d) 35 mA

Tabel 3 Celah pita energi film tipis ZnO variasi arus deposisi

Arus Deposisi (mA)	Band Gap (eV)
7	3,41
10	3,43
25	3,44
35	3,47

Tabel 3 menunjukkan bahwa lebar celah pita energi meningkat seiring bertambahnya variasi arus deposisi. Hasil ini sinkron dengan hasil penelitian Siregar dkk. (2023) yang menyatakan bahwa bertambahnya arus deposisi memfasilitasi pelebaran celah pita energi dalam daerah ultraviolet. Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai energi band gap seperti; (a) permukaan film tipis ZnO yang tidak rata dapat menyebabkan pantulan cahaya pada sudut yang berbeda sehingga tampak seolah-olah ada serapan pada panjang gelombang tampak dan (b) dapat juga disebabkan oleh warna biru peristiwa pergeseran *blue shift*. Peristiwa *blue shift* pada variasi arus deposisi sebagian besar dianggap berasal

dari efek Burstein-Moss, yakni peningkatannya nilai energi celah pita optik pada *film* tipis ZnO. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai lebar celah pita energi dipengaruhi arus deposisi.

#### IV. KESIMPULAN

*Film* tipis ZnO telah berhasil disintesis dengan menggunakan metode *elektroplating*. Pada penelitian ini variasi arus deposisi tidak mengubah struktur kristal ZnO yaitu *Wurtzite Hexagonal* dengan ukuran kristal paling besar 28,0 nm. Namun, analisis morfologi menunjukkan dengan jelas peningkatan arus deposisi dapat menghasilkan butiran yang semakin seragam dan kompak. Arus pengendapan mempengaruhi persentase unsur Zn dan O yang terkandung dalam ZnO. Sedangkan analisis UV-Vis menunjukkan bahwa nilai transmitansi film tipis ZnO > 80% untuk semua sampel arus deposisi dengan nilai energi *band gap* sampel direntang 3,41-3,47 eV.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anggita, S.R; setiawan, H. (2021). *Fotokatalis ZnO:Ag dan Aplikasinya*. Alinea Media Dipantara.
- Aryanto, D., Marwoto, P., & Sulhadi. (2018). Karakterisasi Struktur Dan Sifat Listrik Film Tipis Zinc Oxide Didoping Gallium Dan Aluminium. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 15(3), 129–132.
- Jin, W., Wang, Z., Huang, H., Hu, X., He, Y., & Li, M. (2018). High-performance piezoelectric energy harvesting of vertically aligned Pb ( Zr, Ti) O<sub>3</sub> nanorod arrays. *RSC Advances*, 8, 7422–7427. <https://doi.org/10.1039/C7RA13506H>
- Khansa, M. L., Toifur, M., Maruto, G., Pramudya, Y., & Khusnani, A. (2019). The Effect of Deposition Time on The Microstructure and Resistivity of Cu/Ni Thin Film Prepared by Magnetized Electroplating. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH*, 8(10), 3430–3434.
- Kumar, M., & Sasikumar, C. (2014). Electrodeposition of Nanostructured ZnO Thin Film: A Review. *American Journal of Materials Science and Engineering*, 2(2), 18–23. <https://doi.org/10.12691/ajmse-2-2-2>
- Putri, T. E., Vincencius, Anderson, Jamaludin, Chairunnisa, Giovanni, R., Nahar, W. S., Amalia, Q., Pradana, J. S., & Suryana. (2016). Aplikasi ZnO pada Solar Cell. *Paper Fisika Material Energi*, 1–11.
- Rumiyanti, L., Aryanto, D., Garcia, S., Syafriadi, & Firdaus, I. (2021). Sintering temperature effect on optical properties of zinc oxide thin film on glass substrate prepared by sol-gel spin coating method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1751(1), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1751/1/012068>
- Saputra, J., Toifur, M., Ishafit, & Okimustava. (2020). *PENGARUH WAKTU DEPOSISI PADA ELEKTROPLATING Cu/Ni BERBANTUAN MEDAN MAGNET SEJAJAR* (D. Y. Kusuma & A. Kusumaatmaja (eds.)). Universitas Ahmad Dahlan.
- Singgih, S., & Toifur, M. (2020). PENGUKURAN NILAI RESISTIVITAS PLAT TIPIS Cu-Ni HASIL ELEKTROPLATING VARIASI KONSENTRASI SUHU RENDAH BERBASIS RESISTANCE TEMPERATURE DETECTOR (RTD). *Prosiding Seminar Nasional Fisika Dan Pendidikan Fisika*, 172–180.
- Siregar, N., Motlan, & Sirait, M. (2023). Effect of Deposition Current on Optical Properties of ZnO Thin Film Using Electroplating Method. *ICoSTA*, 1–9. <https://doi.org/10.4108/eai.1-11-2022.2326180>
- Yao, G., Zhang, M., Lv, J., Xu, K., Shi, S., Gong, Z., Tao, J., Jiang, X., Yang, L., Cheng, Y., He, G., Chen, X., & Sun, Z. (2015). Effects of Electrodeposition Electrolyte Concentration on Microstructure, Optical Properties and Wettability of ZnO Nanorods. *Journal of The Electrochemical Society*, 162(7), D300–D304. <https://doi.org/10.1149/2.0881507jes>