

ESTIMASI CELAH ENERGI DAN INDEKS BIAS SEMIKONDUKTOR SENG OKSIDA BERDASARKAN SPEKTRUM ABSORBSI ULTRAVIOLET-CAHAYA TAMPAK

Iis Nurhasanah^{*}, Andra Arkadea Pringgodani

Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Sudarto, S.H. Semarang

*Email: nurhasanah@fisika.fsm.undip.ac.id

Abstrak

Celah energi dan indeks bias merupakan parameter intrinsik penting yang mencirikan sifat optik material, khususnya semikonduktor. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi celah energi dan indeks bias semikonduktor seng oksida dari spektrum absorpsi ultraviolet-cahaya tampak. Seng oksida berbentuk batang diperoleh melalui proses presipitasi. Spektrum absorpsi seng oksida diamati menggunakan spektrofotometer ultraviolet-cahaya tampak. Analisis spektrum absorpsi ultraviolet-cahaya tampak memberikan celah energi seng oksida 2,8 eV. Indeks bias seng oksida yang dihitung menggunakan berbagai model teoritis memberikan nilai yang bervariasi dari 2,28 sampai 2,84. Seng oksida memiliki kemampuan menyerap cahaya ultraviolet sampai cahaya tampak (~ 450 nm) dan kemampuan tinggi untuk membiaskan cahaya, potensial untuk aplikasi piranti optik dan optoelektronik yang bekerja dengan memanfaatkan radiasi ultraviolet dan cahaya tampak.

Kata kunci: Absorpsi; celah energi; indeks bias; semikonduktor; seng oksida.

Abstract

The energy gap and refractive index are important intrinsic physical parameters that characterize the optical properties of materials, especially semiconductors. This research aims to estimate zinc oxide semiconductors' energy gap and refractive index from the ultraviolet-visible light absorption spectrum. Rod-shaped zinc oxide was obtained through a precipitation process. The absorption spectrum of zinc oxide was observed using an ultraviolet-visible light spectrophotometer. Analysis of the ultraviolet-visible light absorption spectrum gives a zinc oxide energy gap of 2.8 eV. The refractive index of zinc oxide calculated using various theoretical models gives values varying from 2.28 to 2.84. Zinc oxide can absorb ultraviolet light to visible light (~ 450 nm) and has a high ability to refract light, potential for applications in optical and optoelectronic devices that work under ultraviolet and visible radiation.

Keywords: Absorption; energy gap; refractive index; semiconductor; zinc oxide.

1. PENDAHULUAN

Material semikonduktor memiliki berbagai kegunaan dalam piranti optik, elektronik dan optoelektronik. Celah energi dan indeks bias semikonduktor merupakan aspek fisis fundamental yang berperan dalam berbagai piranti tersebut. Celah energi menentukan kemampuan semikonduktor dalam mengabsorpsi foton, sedangkan indeks bias mengukur kemampuan mentransmisikan radiasi foton yang mengenai semikonduktor. Indeks bias semikonduktor bergantung pada celah energi. Korelasi antara dua aspek fisis tersebut menentukan struktur pita energi semikonduktor (Lamichhane, 2023; Gomma, dkk., 2021; Tripathy, 2015; Ravindra, dkk., 2007).

Seng oksida merupakan material semikonduktor yang paling sesuai untuk piranti optoelektronik, karena memiliki celah energi transisi langsung, stabil secara kimia dan termal (Abdelghani, dkk. 2022). Namun, seng oksida memiliki celah energi lebar, yaitu 3,37 eV (Davis, dkk., 2019). Hal ini berarti dibutuhkan energi minimal 3,37 eV untuk transisi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Dengan demikian, diperlukan energi cukup besar untuk menghasilkan elektron

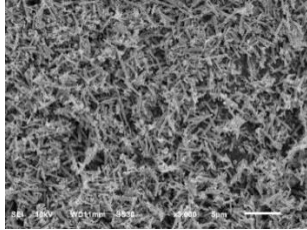
konduksi pada seng oksida. Seng oksida dengan struktur nano, memiliki karakteristik optik dan listrik yang unik. Celah energi seng oksida berstruktur nano bervariasi sesuai ukuran dan morfologinya (Sing, dkk., 2024; Davis, dkk., 2019; El Hamidia, dkk., 2018). Karakteristik tersebut memungkinkan rekayasa piranti optoelektronik dengan mempertimbangkan celah energi dan indeks bias seng oksida.

Spektrofotometer ultraviolet (UV)-cahaya tampak merupakan metode spektroskopi yang fungsional untuk menganalisis sifat optik material (Sing, dkk., 2024). Spektrum absorpsi yang terukur memberikan gambaran interaksi cahaya UV sampai cahaya tampak (panjang gelombang 200 nm sampai 800 nm) dengan material. Spektrum absorpsi pada panjang gelombang 200 nm sampai 800 nm untuk semikonduktor berkorelasi dengan parameter optiknya, seperti celah energi dan indeks bias. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat optik seng oksida berbentuk batang menggunakan spektrofotometer UV-cahaya tampak. Celah energi seng oksida diestimasi dari spektrum absorpsi. Selanjutnya indeks bias seng oksida diestimasi menggunakan beberapa model teoritis relasi

indeks bias dengan celah energi dan dikomparasikan dengan literatur.

2. METODE

Bahan penelitian yang digunakan adalah serbuk seng oksida yang disintesis menggunakan metode presipitasi dengan sedikit modifikasi (Hernowo & Nurhasanah, 2019). Morfologi dari seng oksida berbentuk batang terlihat pada citra *scanning electron microscope* Gambar 1.



Gambar 1. Citra *scanning electron microscope* seng oksida

Spektrum absorpsi seng oksida diukur menggunakan spektrofotometer UV-cahaya tampak (Shimazu 1280). Celah energi seng oksida diestimasi menggunakan metode Tauc yang merepresentasikan relasi koefisien absorpsi dengan energi foton pada Persamaan (1).

$$(ah\nu)^2 = C(h\nu - E_g) \quad (1)$$

Dengan α adalah koefisien absorpsi, h adalah konstanta Planck, ν adalah frekuensi foton, C adalah konstanta dan E_g adalah celah energi. Koefisien absorpsi ditentukan menggunakan Persamaan (2).

$$\alpha = \frac{2.303A\rho}{lc} \quad (2)$$

A adalah absorpsi, ρ adalah kerapatan seng oksida, l adalah lintasan cahaya dan c adalah konsentrasi. Selanjutnya indeks bias seng oksida diestimasi menggunakan beberapa model teoritis berikut.

a. Moss (Moss, 1985)

$$n_M = \left(\frac{95 \text{ eV}}{E_g} \right)^{1/4} \quad (3)$$

b. Herve-Vandamme (Herve & Vandamme, 1994)

$$n_{HV} = \sqrt{1 + \left(\frac{13,6 \text{ eV}}{E_g + 3,4 \text{ eV}} \right)^2} \quad (4)$$

c. Reddy-Ahmed (Reddy & Ahmed, 1995)

$$n_{RA} = \sqrt{\frac{12,417 \text{ eV}}{(E_g - 0,365 \text{ eV})^{1/2}}} \quad (5)$$

d. Ravindra (Ravindra, dkk., 2007)

$$n_R = 4,084 - 0,62 E_g \quad (6)$$

e. Annani (Annani, dkk., 2008)

$$n_A = 3,4 - 0,2 E_g \quad (7)$$

f. Kumar-Singh (Kumar & Singh, 2010)

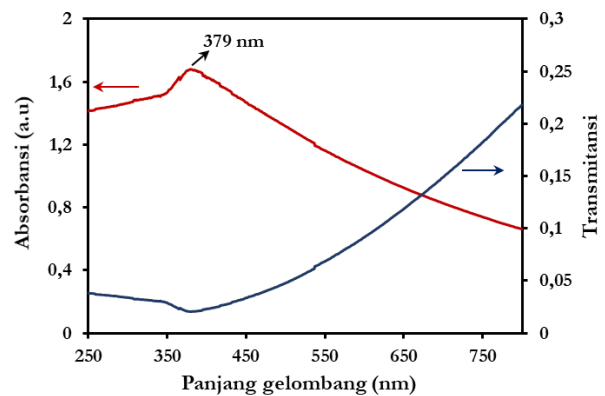
$$n_{KS} = 3,3668 \times E_g^{-0,32234} \quad (8)$$

g. Hosam (Gomma, dkk., 2021)

$$n_H = \sqrt{\frac{3,44^2}{E_g^{0,5}} - 3,44^{0,5}} \quad (9)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Spektrum absorpsi dan transmisi cahaya ultraviolet-cahaya tampak dari seng oksida ditunjukkan pada Gambar 2. Seng oksida memiliki absorpsi yang tinggi pada cahaya UV dan transmisi meningkat pada cahaya tampak. Spektrum absorpsi yang serupa dikemukakan pada beberapa literatur (Davis, dkk., 2019; Abdelghani, dkk., 2022). Puncak absorpsi seng oksida pada penelitian ini berada pada panjang gelombang 379 nm, sedikit bergeser ke arah panjang gelombang yang lebih besar dari karakteristik intrinsik seng oksida yaitu 376 nm. Puncak absorpsi seng oksida dengan struktur nano dapat bergeser ke arah panjang gelombang yang lebih pendek atau lebih panjang dari 376 nm. Umumnya, hal ini teramati pada panjang gelombang 360 sampai 380 nm yang merupakan karakteristik transisi elektronik dan bersesuaian dengan celah energi (Sing, dkk., 2024; Abdelghani, dkk., 2022; Alamdari, dkk., 2020; Davis, dkk., 2019). Dengan demikian, celah energi seng oksida berstruktur nano dapat bervariasi.

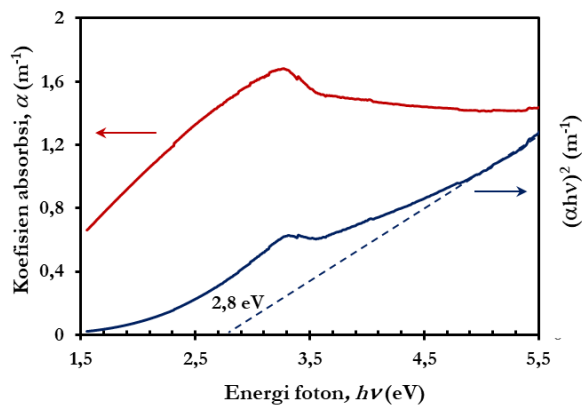


Gambar 2. Spektrum absorpsi dan transmisi cahaya ultraviolet-cahaya tampak seng oksida

Analisis lebih lanjut pada spektrum absorpsi menghasilkan grafik koefisien absorpsi dan grafik $(ah\nu)^2$ terhadap energi foton seperti terlihat pada Gambar 2. Koefisien absorpsi diperoleh menggunakan Persamaan (2). Koefisien absorpsi bertambah linier dari 0,6 sampai 1,67 m^{-1} terhadap energi foton dari 1,5 sampai 3,2 eV. Energi foton tersebut bersesuaian dengan energi dari cahaya tampak sampai daerah sinar UV-A, yaitu cahaya UV dengan panjang gelombang besar (320 – 400 nm). Selanjutnya, koefisien absorpsi pada energi foton 3,2 eV sampai 3,5

eV mengecil menjadi $1,40 \text{ m}^{-1}$ dan konstan sampai energi foton $5,5 \text{ eV}$. Hal ini mengindikasikan seng oksida memiliki sifat absorpsi yang baik terhadap cahaya UV-A. Cahaya UV-A merupakan 95% radiasi UV yang mencapai permukaan bumi, dapat menembus kaca dan berdampak langsung ke lapisan epidermis kulit dan material-material organik. Dengan demikian seng oksida pada penelitian ini dapat digunakan untuk proteksi terhadap radiasi UV.

Koefisien absorpsi semikonduktor direlasikan dengan celah energi pada Persamaan (2). Celah energi seng oksida yang diestimasi berdasarkan Persamaan (2) adalah $2,8 \text{ eV}$, seperti terlihat pada Gambar 2. Nilai celah energi ini lebih kecil dari celah energi intrinsik seng oksida ($3,37 \text{ eV}$). Hal ini menunjukkan bahwa celah energi seng oksida dapat direayasa dengan modifikasi struktur-nanonya. Seng oksida dengan celah energi $2,8 \text{ eV}$ potensial untuk aplikasi pada piranti elektronik yang memanfaatkan sinar matahari (komposisi cahaya UV dan cahaya tampak), seperti penapis UV, sel surya, foto-anoda dan fotokatalis.



Gambar 3. Grafik koefisien absorpsi terhadap energi foton dan grafik penentuan celah energi

Selanjutnya, indeks bias merupakan parameter optik seng oksida lain yang penting untuk aplikasi optoelektronik. Pada penelitian ini, indeks bias seng oksida ditentukan menggunakan beberapa model teoritis pada Persamaan (3) sampai Persamaan (9). Model-model teoritis tersebut merelasikan indeks bias dengan celah energi. Tabel 1 merangkumkan indeks bias seng oksida yang diperoleh dengan memasukkan nilai celah energi $2,8 \text{ eV}$ ke Persamaan (3) sampai Persamaan (9).

Indeks bias seng oksida yang dihitung menggunakan beberapa model teoritis bernilai $2,28$ sampai $2,84$. Hal ini menunjukkan bahwa seng oksida memiliki kemampuan tinggi untuk membiaskan cahaya, sehingga sesuai untuk aplikasi optik. Model Hosam menghasilkan indeks bias terkecil dan indeks bias terbesar diperoleh dari model Annani. Tiga model teoritis yaitu Moss, Herve-Vandamme, dan Kumar-Singh menghasilkan indeks bias yang sama, yaitu $2,41$. Hal ini cukup masuk akal karena indeks bias

berdasarkan model Moss dan model Heerve-Vandamme memiliki karakteristik yang serupa untuk semikonduktor dengan celah energi kecil ($\sim 1 \text{ eV}$) sampai celah energi yang lebar, seperti seng oksida. Namun, model Herve dan Vandamme diklaim lebih sesuai untuk semikonduktor III-V (Tripathy, 2015). Sementara itu, model Kumar-Singh cukup berhasil memprediksi indeks bias untuk semikonduktor dengan celah energi 2 eV sampai 4 eV .

Tabel 1. Indeks bias seng oksida yang dihitung menggunakan berbagai model teoritis

No.	Model	Indeks bias
1.	Moss	2,41
2.	Herve-Vandamme	2,41
2.	Reddy-Ahammed	2,82
3.	Ravindra	2,35
5.	Kumar-Singh	2,41
6.	Annani	2,84
7.	Hosam	2,28

Model Reddy-Ahammed dan Annani memberikan indeks bias seng oksida dengan nilai yang hampir sama, yaitu $2,82$ dan $2,84$. Nilai tersebut mendekati indeks bias seng oksida pada penelitian lain yang diperoleh menggunakan model Reddy-Ahammed (Singh, dkk., 2024). Indeks bias seng oksida yang diperoleh menggunakan model Ravindra mendekati model Moss, model Herve-Vandamme dan model Kumar-Singh. Mengacu pada penelitian Reddy dan Ahammed (1995), indeks bias seng oksida yang dihitung menggunakan model Ravindra memiliki nilai deviasi yang kecil dibandingkan model Moss dan model Reddy-Ahammed. Penelitian lain menunjukkan bahwa indeks bias yang diestimasi menggunakan model Ravindra memiliki kecocokan yang baik untuk semikonduktor dengan celah energi $0,3 \text{ eV}$ sampai $3,35 \text{ eV}$ (Lamichhane, 2023). Dengan demikian dalam penelitian ini, model Ravindra paling sesuai dalam menentukan indeks bias seng oksida.

4. SIMPULAN

Celah energi dan indeks bias seng oksida berbentuk batang telah diestimasi dengan menganalisis spektrum absorpsi cahaya ultraviolet-cahaya tampak. Puncak absorpsi seng oksida berada pada panjang gelombang 379 nm bersesuaian dengan celah energi $2,8 \text{ eV}$. Berbagai model teoritis memberikan indeks bias seng oksida $2,28$ sampai $2,84$. Celah energi seng oksida pada penelitian ini lebih kecil dari celah energi intrinsiknya, yaitu $3,37 \text{ eV}$. Hal ini menunjukkan bahwa seng oksida berbentuk batang memiliki sifat optik yang unik dan potensial untuk piranti optoelektronik.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abdelghani, G.M., Ahmed, A.B., & Al-Zubaidi, A.B. (2022). Synthesis, characterization, and the influence of energy of irradiation on optical properties of ZnO nanostructures. *Scientific Reports*, 12, 20016.
- Alamdari, S. Ghamsari, M.S., Lee, C., Han, W., Park, H.H., Tafreshi, M.J., Afarideh, H., & Ara, M.H.M. (2020). Preparation and Characterization of Zinc Oxide Nanoparticles Using Leaf Extract of *Sambucus ebulus*. *Applied Science*, 10, 3620.
- Anani, M., Mathieu, C., Lebid, S., Amar, Y., Chama, Z., & Abid, H. (2008). Model for calculating the refractive index of a III–V semiconductor. *Computational Materials Science*, 41, 570–575.
- Davis, K., Yarbrough, R., Froeschle, M., White, J., & Rathnayake, H. (2019). Band gap engineered zinc oxide nanostructures via a sol–gel synthesis of solvent driven shape-controlled crystal growth. *RSC Advanced*, 9, 14638–14648.
- El Hamidia, A., Meziane, K., El Hichoua, A., Jannaneb, T., Libab, A., El Haskouric, J., Amorósc, P., & Almagoussia, A. (2018). Refractive index controlled by film morphology and free carrier density in undoped ZnO through sol-pH variation. *Optik*, 158, 1139–1146.
- Gomaa, H.M., Yahia, I.S., & Zahran, H.Y. (2021). Correlation between the static refractive index and the optical bandgap: Review and new empirical approach. *Physica B*, 620, 413246.
- Hernowo, A. & Nurhasanah, I. (2019). Kristalinitas dan ukuran nanopartikel zno yang dikalsinasi pada temperatur 100°C dan 200°C. *Berkala Fisika*, 22(4), 125-131.
- Herve, P., & Vandamme, L.K.J. (1994). General relation between refractive index and energy gap in semiconductors. *Infrared Physics & Technology*, 35, 609–615.
- Moss, T.S. (1985). Relations between the Refractive Index and Energy Gap of Semiconductors. *Physica Status Solidi b*, 131, 415-427.
- Kumar, V., & Singh, J.K. (2010). Model for calculating the refractive index of different materials. *Indian Journal of Pure & Applied Physics*, 48, 571-574.
- Lamichhane, A. (2023). Energy-Gap-Refractive Index Relations in Semiconductors—Using Wemple–DiDomenico Model to Unify Moss, Ravindra, and Herve–Vandamme Relationships. *Solids*, 4, 316–326.
- Ravindra, N.M., Ganapathy, P., & Choi, J. (2007). Energy gap–refractive index relations in semiconductors – An overview. *Infrared Physics & Technology*, 50, 21–29.
- Reddy, R.R., & Ahammed, Y.N. (1995). A study on the Moss relation. *Infrared Physics & Technology*, 36, 825-830.
- Singh, S., Gade, J.V., Verma, D.K., Elyor, B., & Jain, B. (2024). Exploring ZnO nanoparticles: UV–visible analysis and different size estimation methods. *Optical Materials*, 152, 115422.
- Tripathy, S.K. (2015). Refractive indices of semiconductors from energy gaps. *Optical Materials*, 46, 240–246.