

KARAKTERISASI OPTIK DAN ELEKTRIK MATERIAL SEMIKONDUKTOR CuSnO₃ DAN ZnO MENGGUNAKAN METODE UV-VIS DRS DAN *FOUR-POINT PROBE*

Sylvia Syafniati Putri¹, Hary Sanjaya^{2*}, Mawardi³, Romy Dwipa Yamesa Away⁴

^{1,2,3,4} Universitas Negeri Padang, Jl. Prof.Dr.Hamka Air Tawar Barat, Kecamatan Padang Utara, Kota Padang, Sumatera Barat 25173

*E-mail: hary.s@fmipa.unp.ac.id

Riwayat Article

Received: 11 July 2026; Received in Revision: 29 September 2026; Accepted: 29 September 2026

Abstract

This study evaluated the effect of ZnO calcination temperature on the optical and electrical properties of layered CuSnO₃/ZnO oxide films. A Cu-Sn-O layer with CuSnO₃ as the target composition was prepared by sol-gel spin coating on glass and calcined at 550°C. ZnO was then deposited by doctor blade and calcined at 350°C, 400°C, and 450°C. Optical band gaps were estimated by UV-Vis diffuse reflectance spectroscopy (UV-Vis DRS), electrical parameters were obtained from four-point probe (FPP) measurements, and the Cu-Sn-O surface was examined by SEM-EDS. The Cu-Sn-O layer showed an optical band gap of 2.08 eV with estimated resistivity of 0.5–1.0 Ω·cm and conductivity of 1.0–2.0 S/cm. ZnO band gaps were 3.15, 3.04, and 3.11 eV at 350°C, 400°C, and 450°C, respectively. With increasing calcination temperature, the estimated ZnO resistivity decreased from 50–100 to 10–50 Ω·cm and conductivity increased to 0.02–0.10 S/cm. SEM-EDS showed a relatively homogeneous surface and detected O, Cu, and Sn. Because XRD and direct band-edge measurements were not performed, the crystalline phase and heterostructure band-alignment type were not assigned. The results indicate that ZnO calcination temperature affects electrical transport more systematically than the optical band gap in the layered films.

Keywords: CuSnO₃; ZnO; Calcination Temperature; Band Gap; Resistivity; UV-Vis DRS; Four-Point Probe.

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh suhu kalsinasi ZnO terhadap sifat optik dan listrik lapisan berstruktur CuSnO₃/ZnO. Lapisan Cu-Sn-O dengan CuSnO₃ sebagai komposisi target dibuat melalui metode sol-gel dan spin coating pada kaca, kemudian dikalsinasi pada 550°C. ZnO dideposisikan dengan metode doctor blade dan dikalsinasi pada 350°C, 400°C, dan 450°C. Celah pita optik diestimasi menggunakan UV-Vis diffuse reflectance spectroscopy (UV-Vis DRS), parameter listrik diperoleh dari pengukuran four-point probe (FPP), dan permukaan Cu-Sn-O dianalisis dengan SEM-EDS. Lapisan Cu-Sn-O menunjukkan band gap 2,08 eV dengan resistivitas estimasi 0,5–1,0 Ω·cm dan konduktivitas 1,0–2,0 S/cm. Band gap ZnO berturut-turut 3,15; 3,04; dan 3,11 eV pada 350°C, 400°C, dan 450°C. Seiring kenaikan suhu kalsinasi, resistivitas estimasi ZnO menurun dari 50–100 menjadi 10–50 Ω·cm dan konduktivitas meningkat hingga 0,02–0,10 S/cm. SEM-EDS menunjukkan permukaan yang relatif homogen serta mendeteksi unsur O, Cu, dan Sn. Karena XRD dan pengukuran posisi tepi pita tidak dilakukan, fase kristal dan tipe band alignment heterostruktur tidak ditetapkan. Hasil menunjukkan bahwa suhu kalsinasi ZnO memengaruhi transport listrik lebih sistematis dibandingkan perubahan band gap optik pada lapisan berstruktur tersebut.

Kata Kunci: Cusno₃; Zno; Suhu Kalsinasi; Band Gap; Resistivitas; UV-Vis DRS; Four-Point Probe.

1. Introduction

Sifat optik dan listrik semikonduktor oksida dipengaruhi oleh struktur elektronik, cacat, dan mikrostruktur lapisan. Pada sistem berlapis, perubahan pada satu lapisan dapat memengaruhi serapan cahaya dan transport muatan secara keseluruhan. Karena itu, hubungan antara celah pita, resistivitas, dan perlakuan termal perlu dievaluasi secara bersamaan ketika CuSnO_3 dikombinasikan dengan ZnO (Andia-Huaracha et al., 2022; Yang et al., 2021).

CuSnO_3 dilaporkan sebagai semikonduktor oksida Cu-Sn amorf dengan celah pita sekitar 2,0–2,5 eV dan dapat dipreparasi melalui proses sol-gel (Kim et al., 2018). Celah pita tersebut memungkinkan respons pada wilayah cahaya tampak, sedangkan ZnO memiliki celah pita lebar sekitar 3,37 eV. Perbedaan sifat optik ini menjadi dasar pemilihan pasangan $\text{CuSnO}_3/\text{ZnO}$: lapisan Cu-Sn-O berperan sebagai komponen penyerap, sedangkan ZnO menjadi lapisan oksida celah pita lebar yang sifat transport muatannya dapat dimodifikasi melalui perlakuan termal.

Pada ZnO, pita valensi terutama berkaitan dengan orbital O 2p dan pita konduksi dengan orbital Zn 4s. Struktur wurtzite merupakan bentuk ZnO yang stabil pada suhu kamar. Ukuran butir, batas butir, dan cacat seperti vakansi oksigen dapat memengaruhi tepi serapan, densitas pembawa, dan mobilitas elektron; karena itu, kalsinasi dapat mengubah sifat optik dan listrik melalui mekanisme yang tidak selalu sama (Gurylev & Perng, 2021; Arab et al., 2023).

Analisis celah pita dari data DRS dilakukan menggunakan fungsi Kubelka-Munk dan persamaan Tauc, $[F(R)hv]^m = A(hv - E_g)$, dengan $F(R)$ sebagai fungsi Kubelka-Munk, hv energi foton, A konstanta, dan m eksponen transisi. Untuk transisi direct allowed digunakan $m = 2$, sedangkan untuk indirect allowed digunakan $m = 1/2$. ZnO umumnya dianalisis sebagai semikonduktor direct band gap. Untuk CuSnO_3 , Kim et al. (2018) melaporkan analisis celah pita tidak langsung; karena itu, jenis transisi tidak disimpulkan hanya dari konfigurasi elektron Cu^{2+} .

Secara kimia, pembentukan lapisan Cu-Sn-O melalui rute sol-gel melibatkan pelarutan dan kompleksasi prekursor Cu dan Sn oleh pelarut serta DEA, diikuti pengeringan dan kalsinasi yang menghilangkan komponen volatil dan mendorong terbentuknya jaringan Cu-O-Sn. Namun, penelitian ini tidak menggunakan XRD atau XPS, sehingga fase kristal, keadaan oksidasi, dan jenis cacat tidak dapat ditetapkan secara langsung. Istilah CuSnO_3 dalam naskah ini digunakan sebagai komposisi target sintesis, sedangkan konfirmasi fase memerlukan karakterisasi struktur tambahan (Kim et al., 2018).

ZnO dipilih sebagai lapisan atas karena stabil secara kimia, mudah diproses, dan sifat listriknya peka terhadap mikrostruktur. Pada suhu kamar, perubahan ukuran butir dan jumlah batas butir dapat memengaruhi hamburan pembawa, sedangkan perubahan konsentrasi cacat dapat memengaruhi densitas pembawa. Oleh sebab itu, variasi suhu kalsinasi ZnO diharapkan terutama memengaruhi resistivitas dan konduktivitas, serta dapat menyebabkan perubahan pada tepi serapan optik (Abdullahi et al., 2016; Andia-Huaracha et al., 2022).

UV-Vis DRS digunakan untuk mengestimasi band gap dari data reflektansi, sedangkan metode FPP digunakan untuk menentukan sheet resistance atau resistivitas dari hubungan tegangan-arus; konduktivitas kemudian dihitung dari $\sigma = 1/\rho$. Perbedaan ini penting karena FPP tidak mengukur konduktivitas secara langsung (Landi, 2022; Chelly et al., 2023).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa annealing atau kalsinasi ZnO dapat mengubah kristalinitas, cacat, dan sifat listriknya (Tiwale et al., 2019; Arab et al., 2023; Yadav et al., 2025). Dalam rujukan yang digunakan pada naskah ini, CuSnO_3 dan ZnO umumnya dibahas secara terpisah. Data mengenai perubahan sifat optik dan listrik lapisan $\text{CuSnO}_3/\text{ZnO}$ ketika hanya suhu kalsinasi ZnO divariasikan pada 350°C, 400°C, dan 450°C masih terbatas; celah inilah yang menjadi fokus penelitian.

ZnO dideposisikan di atas lapisan Cu-Sn-O sehingga membentuk heterostruktur berlapis. Penelitian ini tidak menetapkan apakah penjajaran pita termasuk Type-I, Type-II, atau Z-scheme karena posisi tepi pita tidak diukur dengan UPS, XPS, atau Mott-Schottky dan tidak dilakukan pengujian mekanisme transfer muatan. Dengan demikian, istilah heterostruktur pada penelitian ini merujuk pada konfigurasi fisik lapisan, bukan pada model transfer muatan tertentu.

Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi terpadu pengaruh suhu kalsinasi ZnO terhadap band gap optik dan parameter listrik FPP pada sistem berlapis dengan kondisi preparasi CuSnO₃ yang dibuat tetap, serta dilengkapi karakterisasi SEM-EDS pada lapisan Cu-Sn-O. Fokus penelitian bukan pembuktian kinerja perangkat, melainkan penyediaan data dasar hubungan proses-sifat untuk lapisan oksida tersebut.

Penelitian ini bertujuan menentukan pengaruh suhu kalsinasi ZnO 350°C, 400°C, dan 450°C terhadap band gap, resistivitas, dan konduktivitas pada lapisan berstruktur CuSnO₃/ZnO; membandingkan sifat listrik ZnO dengan lapisan CuSnO₃; serta mendeskripsikan morfologi dan komposisi unsur lapisan Cu-Sn-O menggunakan SEM-EDS. Variasi suhu diterapkan hanya pada ZnO, sedangkan lapisan Cu-Sn-O dikalsinasi pada 550°C. Karena XRD tidak dilakukan, penelitian ini tidak menyimpulkan fase kristal maupun tipe band alignment.

2. Methodology

2.1. Bahan

Bahan yang digunakan adalah serbuk ZnO, SnCl₂·2H₂O, Cu(NO₃)₂·3H₂O, dietanolamina (DEA), metanol, etanol p.a., alkohol 70%, akuades, kaca preparat, dan scotch tape.

2.2. Peralatan

Peralatan utama meliputi neraca analitik, hot plate-magnetic stirrer, sonikator, oven, furnace, spin coater, perangkat doctor blade, spektrofotometer UV-Vis DRS, Four-Point Probe (FPP), serta SEM-EDS.

2.3. Preparasi Substrat CuSnO₃

SnCl₂·2H₂O dan Cu(NO₃)₂·3H₂O dilarutkan dalam 50 mL metanol dengan perbandingan mol 1:1, kemudian ditambah 2 mL DEA dan disonikasi selama 1 jam. Larutan diaduk pada 50°C selama 6 jam dan didiamkan 12 jam. Setelah kaca dibersihkan dengan metanol, larutan dilapiskan menggunakan spin coating 2000 rpm selama 60 detik, dikeringkan pada 110°C selama 15 menit, lalu dikalsinasi pada 550°C selama 2 jam.

2.4. Preparasi Pasta ZnO dan Pelapisan ZnO pada Kaca Substrat CuSnO₃

Pasta ZnO disiapkan dengan melarutkan 0,5 g serbuk ZnO ke dalam 4 mL etanol. Campuran diaduk menggunakan magnetic stirrer pada kecepatan 300 rpm selama 60 menit hingga diperoleh pasta yang homogen. Kaca CuSnO₃ yang telah siap diberi batasan area seluas 1 cm × 1 cm dengan bantuan scotch tape, kemudian pasta ZnO dideposisikan di atas permukaannya menggunakan metode doctor blade agar diperoleh lapisan yang rata. Setelah deposisi, lapisan ZnO dipanaskan dalam oven pada suhu 100°C selama 30 menit. Selanjutnya, sampel dikalsinasi pada variasi suhu 350°C, 400°C, dan 450°C masing-masing selama 30 menit untuk mendapatkan lapisan ZnO dengan perlakuan termal yang berbeda (Pandey et al., 2017).

2.5. Penentuan Band Gap CuSnO₃ dan ZnO dengan UV-Vis DRS

Data reflektansi UV-Vis DRS dikonversi menjadi fungsi Kubelka-Munk, $F(R) = (1-R)^2/(2R)$, dengan R dinyatakan sebagai fraksi desimal. Band gap ditentukan menggunakan persamaan Tauc, $[F(R)hv]^m = A(hv - E_g)$. Plot $[F(R)hv]^2$ terhadap hv digunakan untuk ZnO (direct allowed), sedangkan interpretasi CuSnO₃ mengacu pada pendekatan indirect allowed, $[F(R)hv]^{1/2}$ terhadap hv , sebagaimana dilaporkan Kim et al. (2018). Nilai E_g diperoleh dari ekstrapolasi bagian linier kurva ke sumbu energi (Landi, 2022).

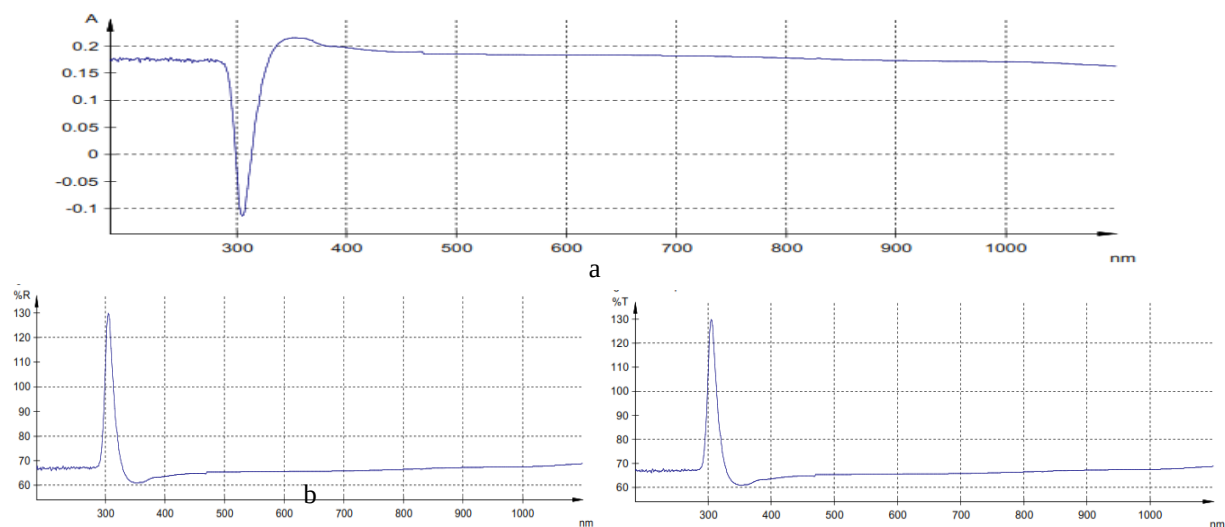
2.6. Pengukuran Konduktivitas CuSnO₃ dan ZnO dengan Four Point Probe (FPP)

Pengukuran listrik dilakukan dengan metode FPP: arus dialirkan melalui dua probe luar dan beda potensial diukur pada dua probe dalam. Sheet resistance dihitung dengan $R_s = (\pi/\ln 2) (V/I) \approx$

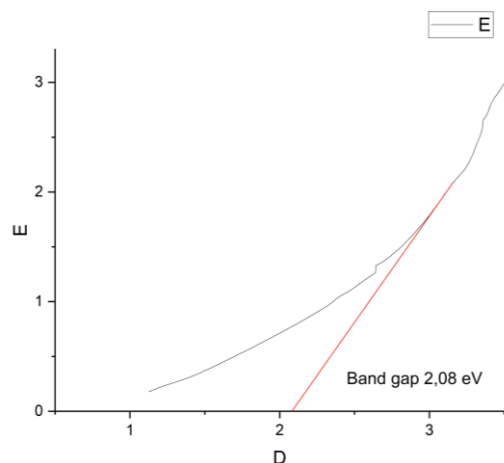
4,532(V/I) untuk geometri lembaran ideal, kemudian resistivitas diperkirakan dari $\rho = R_s t$ dan konduktivitas dihitung dengan $\sigma = 1/\rho$ (Chelly et al., 2023). Perhitungan menggunakan ketebalan yang diasumsikan sekitar 200 nm untuk lapisan Cu-Sn-O dan 2 μm untuk ZnO; karena ketebalan tidak diukur langsung pada setiap sampel, nilai resistivitas dan konduktivitas dilaporkan sebagai estimasi.

3. Results and Discussion

3.1. Karakterisasi Optik CuSnO₃



Gambar 1. Spektrum UV-Vis DRS CuSnO₃ (a) absorbansi; (b) reflektansi; (c) transmitansi.



Gambar 2. Grafik celah pita CuSnO₃

Spektrum UV-Vis DRS CuSnO₃ menunjukkan serapan pada wilayah ultraviolet dan respons yang berlanjut ke wilayah tampak. Pada sekitar 290–310 nm terdapat nilai absorbansi negatif dan reflektansi melebihi 100%, sehingga bagian spektrum tersebut diperlakukan sebagai artefak pengukuran dan tidak digunakan untuk penentuan band gap. Interpretasi difokuskan pada daerah spektrum yang memberikan respons reflektansi yang stabil.

Pada 300–800 nm, reflektansi CuSnO_3 relatif stabil pada kisaran 64–67%, sedangkan transmitansi sangat rendah dan meningkat perlahan hingga sekitar 1% pada wilayah dekat inframerah. Nilai transmitansi yang rendah menunjukkan bahwa sistem lapisan/substrat yang diukur bersifat dominan menyerap atau memantulkan cahaya, sehingga parameter optik perlu ditafsirkan sebagai respons sistem lapisan, bukan transparansi intrinsik material tunggal.

Ekstrapolasi kurva Tauc pada daerah spektrum yang valid menghasilkan estimasi band gap optik CuSnO_3 sebesar 2,08 eV (Gambar 2), masih berada dalam kisaran 2,0–2,5 eV yang dilaporkan untuk copper stannate amorf (Kim et al., 2018). Karena XRD tidak dilakukan dan jenis transisi tidak diverifikasi kembali dari data mentah, nilai tersebut dilaporkan sebagai estimasi celah pita optik tanpa menetapkan fase kristal secara definitif.

Pengukuran FPP menunjukkan resistivitas estimasi CuSnO_3 yang lebih rendah daripada ZnO. Namun, mekanisme transport seperti variable-range hopping atau perpindahan $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+$ tidak dapat ditetapkan hanya dari pengukuran FPP pada satu kondisi. Penetapan mekanisme tersebut memerlukan data tambahan, misalnya konduktivitas sebagai fungsi suhu dan karakterisasi keadaan oksidasi.

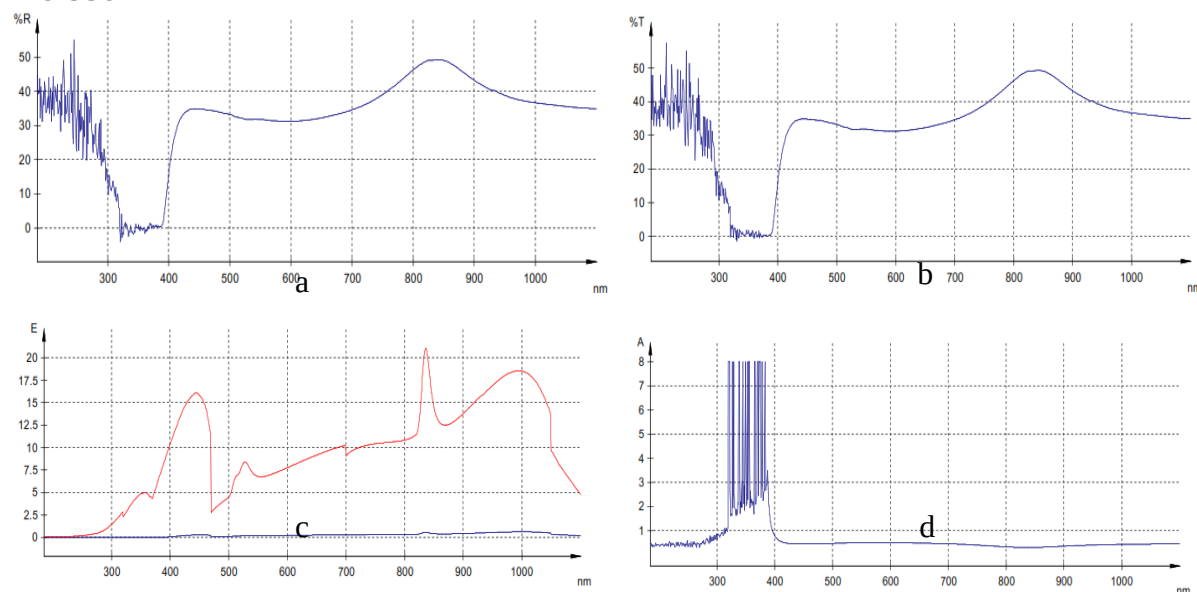
3.2. Karakterisasi Optik ZnO pada Variasi Suhu Kalsinasi

Lapisan ZnO dikalsinasi pada 350°C, 400°C, dan 450°C. Parameter optik utama dirangkum pada Tabel 1.

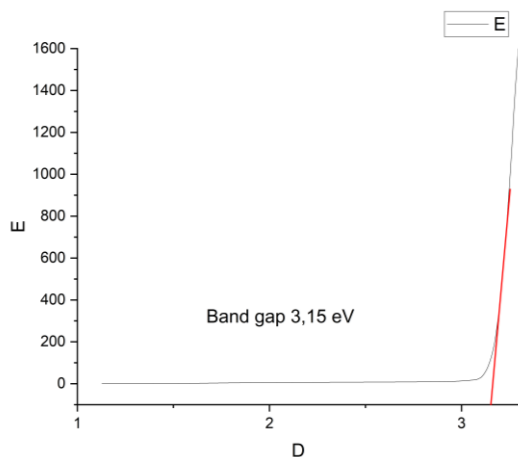
Tabel 1. Parameter Optik ZnO pada Variasi Suhu Kalsinasi

Suhu (°C)	Band gap (eV)	Absorbansi puncak (A)	Reflektansi rata-rata 400–800 nm (%)	Transmitansi rata-rata 400–800 nm (%)
350	3,15	4,0–4,2	0,3–0,4	0,3–0,4
400	3,04	3,8–4,0	0,4–0,5	0,4–0,5
450	3,11	4,4–4,5	0,5–0,6	0,5–0,6

ZnO 350°



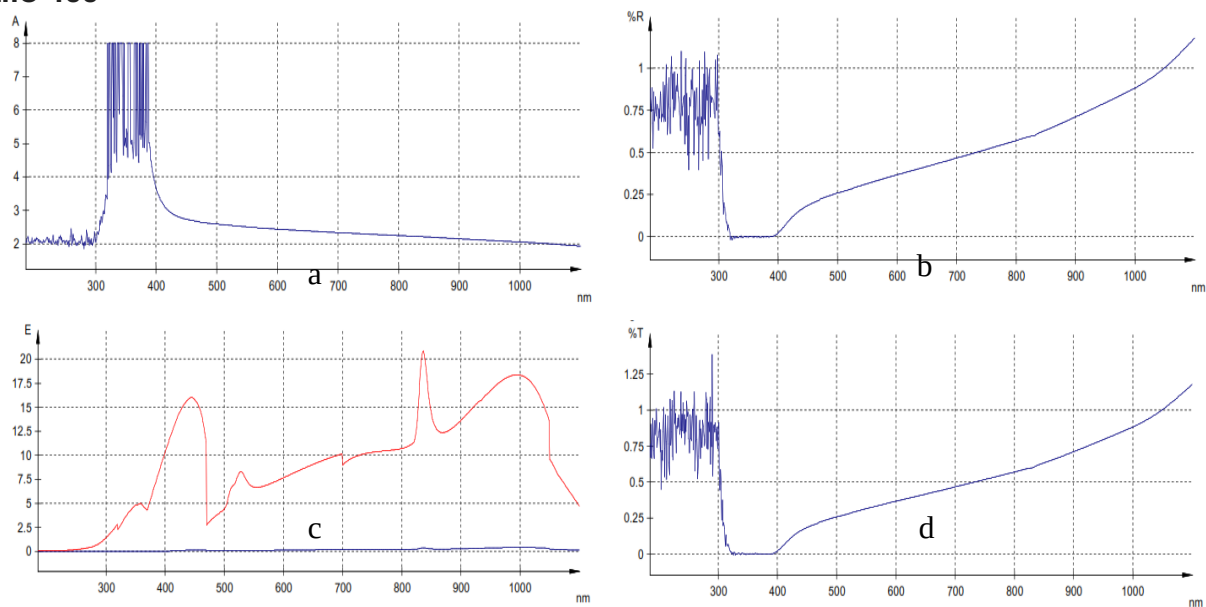
Gambar 3. Spektrum UV-Vis DRS ZnO 350°C : (a) reflektansi, (b) transmitansi, (c) energi, (d) absorbansi



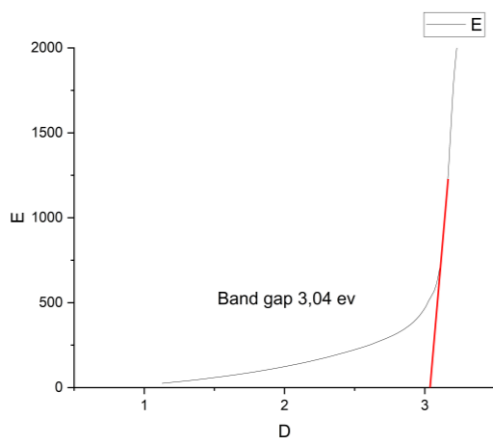
Gambar 4. Grafik celah pita ZnO 350°C

Pada 350°C, ZnO menunjukkan absorbansi tinggi di wilayah ultraviolet dan penurunan tajam di sekitar tepi serapan. Kurva Tauc memberikan band gap 3,15 eV (Gambar 4), sedangkan reflektansi dan transmitansi pada wilayah tampak tetap rendah karena pengukuran dilakukan pada sistem lapisan di atas CuSnO_3 .

ZnO 400°



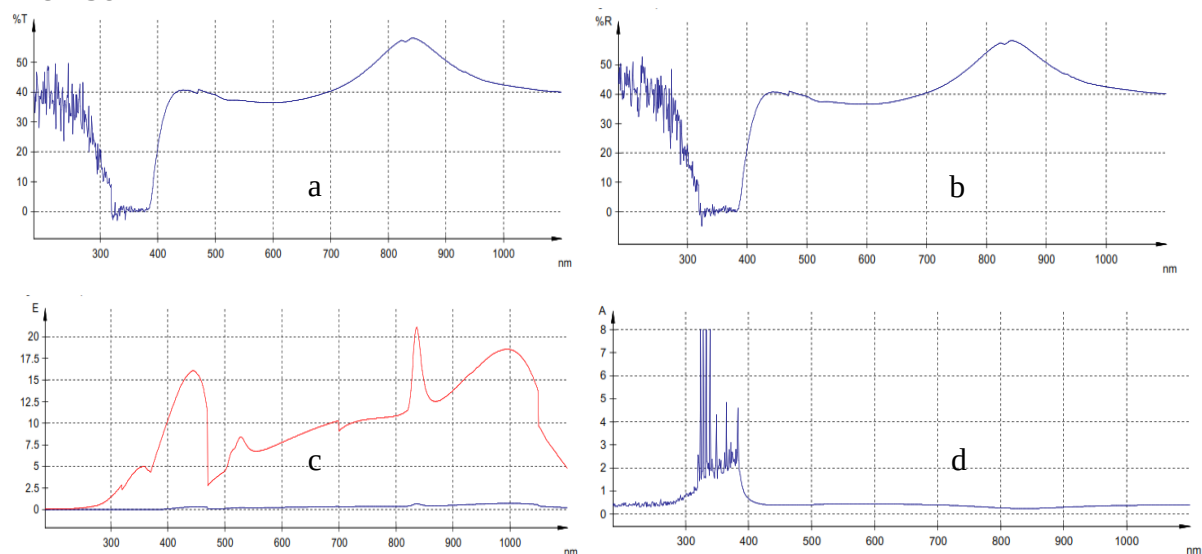
Gambar 5. Spektrum UV-Vis DRS ZnO 400°C : (a) absorbansi, (b) reflektansi, (c) energi, (d) transmitansi



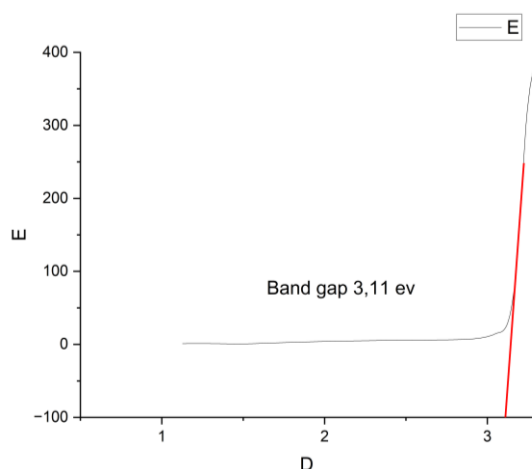
Gambar 6. Grafik celah pita ZnO 400°C

Pada 400°C, tepi serapan berada pada wilayah yang serupa dengan sampel 350°C dan band gap yang diperoleh adalah 3,04 eV (Gambar 6). Reflektansi dan transmitansi meningkat sedikit, tetapi perubahan band gap relatif kecil.

ZnO 450°



Gambar 7. Spektrum UV-Vis DRS ZnO 450°C: (a) transmitansi, (b) reflektansi, (c) energi, (d) absorptansi



Gambar 8. Grafik celah pita ZnO 450°C

Pada 450°C, band gap ZnO sebesar 3,11 eV (Gambar 8), dengan reflektansi dan transmitansi sedikit lebih tinggi dibandingkan dua suhu lainnya. Secara keseluruhan, nilai band gap pada 350°C, 400°C, dan 450°C berturut-turut 3,15; 3,04; dan 3,11 eV, sehingga perubahan yang terjadi kecil dan tidak menunjukkan pergeseran monoton. Literatur mengaitkan perlakuan termal ZnO dengan perubahan cacat dan mikrostruktur, tetapi peningkatan kristalinitas atau ukuran butir pada sampel ini tidak dapat dipastikan tanpa XRD atau analisis ukuran butir langsung (Arab et al., 2023; Gurylev & Perng, 2021).

Reflektansi dan transmitansi ZnO yang sangat rendah (sekitar 0,3–0,8% di wilayah tampak) perlu dibaca dalam konteks konfigurasi sampel: ZnO dideposisikan di atas lapisan CuSnO_3 yang juga memiliki transmitansi rendah. Sebagian cahaya dapat diserap atau dihamburkan oleh kedua lapisan, sehingga nilai tersebut tidak menunjukkan transparansi intrinsik ZnO. Pengukuran ZnO pada substrat transparan tanpa CuSnO_3 diperlukan apabila transparansi intrinsik ZnO ingin dievaluasi.

3.3. Karakterisasi Listrik dengan *Four-Point Probe* (FPP)

Parameter listrik diperoleh dari hubungan tegangan–arus pada pengukuran FPP. Karena resistivitas dihitung menggunakan ketebalan lapisan yang diasumsikan, nilai pada Tabel 2 diperlakukan sebagai estimasi; kecenderungan antarsuhu lebih dapat dibandingkan daripada nilai absolutnya.

Tabel 2. Perbandingan Sifat Optik dan Listrik CuSnO_3 dan ZnO (nilai listrik merupakan estimasi)

Material	Suhu kalsinasi (°C)	Band gap (eV)	Resistivitas ($\Omega\cdot\text{cm}$)	Konduktivitas (S/cm)
CuSnO_3	550	2,08	0,5–1,0	1,0–2,0
ZnO	350	3,15	50–100	0,01–0,02
ZnO	400	3,04	30–80	0,01–0,03
ZnO	450	3,11	10–50	0,02–0,10

Resistivitas estimasi ZnO menurun dari 50–100 $\Omega\cdot\text{cm}$ pada 350°C menjadi 30–80 $\Omega\cdot\text{cm}$ pada 400°C dan 10–50 $\Omega\cdot\text{cm}$ pada 450°C, sedangkan konduktivitas meningkat dari 0,01–0,02 S/cm menjadi 0,02–0,10 S/cm. Tren ini menunjukkan bahwa kenaikan suhu kalsinasi memperbaiki jalur transport listrik pada rentang suhu yang diuji.

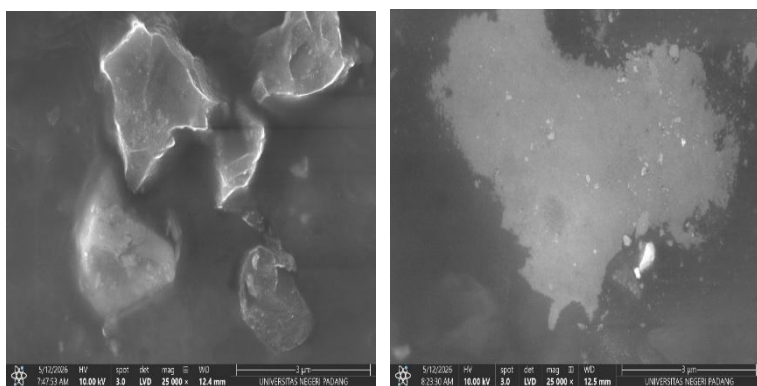
Perbaikan transport listrik ZnO sejalan dengan laporan bahwa annealing dapat mengurangi hambatan batas butir dan sebagian pusat hamburan, sehingga mobilitas efektif pembawa meningkat (Andia-Huaracha et al., 2022; Krysova et al., 2024). Namun, mekanisme tersebut merupakan interpretasi berbasis literatur karena penelitian ini tidak mengukur ukuran butir, konsentrasi cacat, atau mobilitas secara langsung.

Lapisan CuSnO_3 menunjukkan resistivitas estimasi $0,5\text{--}1,0\ \Omega\cdot\text{cm}$ dan konduktivitas $1,0\text{--}2,0\ \text{S/cm}$, lebih konduktif daripada ZnO pada seluruh suhu kalsinasi yang diuji. Perbedaan tersebut tidak dapat dijelaskan hanya oleh lebar band gap, karena konduktivitas semikonduktor juga ditentukan oleh densitas pembawa, mobilitas, cacat, mikrostruktur, dan ketebalan lapisan.

Perbandingan sifat optik dan listrik kedua material disajikan langsung pada Tabel 2. ZnO menunjukkan perubahan band gap yang kecil dan tidak monoton, tetapi resistivitas menurun secara lebih sistematis dengan kenaikan suhu kalsinasi. Hal ini menunjukkan bahwa pada rentang suhu yang diteliti, efek perlakuan termal lebih jelas pada transport listrik daripada pada celah pita optik.

Karena ketebalan lapisan tidak diukur secara langsung, ketidakpastian ketebalan akan memengaruhi nilai resistivitas dan konduktivitas secara proporsional. Oleh sebab itu, nilai absolut FPP sebaiknya dipandang sebagai estimasi dan dilengkapi pengukuran ketebalan pada penelitian lanjutan. Meskipun demikian, tren penurunan resistivitas ZnO dari 350°C ke 450°C tetap konsisten dalam data yang dilaporkan.

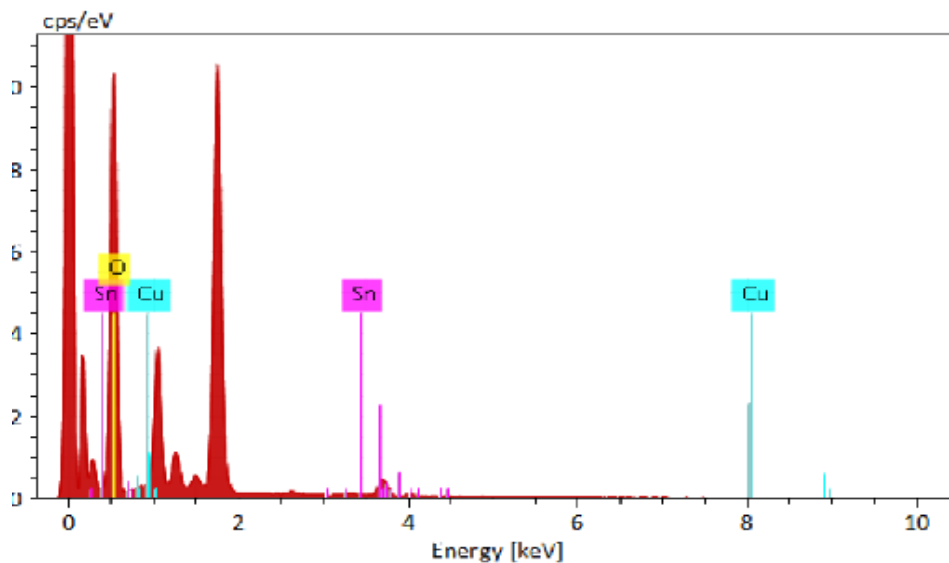
3.4. Analisis Morfologi dan Komposisi CuSnO_3



Gambar 9. Morfologi permukaan lapisan Cu–Sn–O hasil pemindaian SEM

Citra SEM (Gambar 9) menunjukkan permukaan lapisan Cu–Sn–O yang relatif homogen dan tidak memperlihatkan retakan besar pada area yang diamati. EDS pada dua titik memberikan komposisi rata-rata O 96,4 at%, Cu 2,0 at%, dan Sn 0,6 at%, sehingga rasio Cu:Sn sekitar 3,3:1 dan menyimpang cukup besar dari rasio target 1:1. Karena EDS bersifat semi-kuantitatif dan sensitif terhadap kondisi permukaan serta volume interaksi elektron, hasil ini tidak dapat digunakan sendiri untuk mengonfirmasi stoikiometri atau fase CuSnO_3 .

SEM tidak dapat membuktikan apakah lapisan bersifat amorf atau kristalin dan tidak cukup untuk menetapkan mekanisme hamburan pembawa. Karena itu, pembahasan morfologi dibatasi pada homogenitas permukaan yang teramati; konfirmasi fase dan keteraturan struktur memerlukan XRD, sedangkan keadaan kimia unsur memerlukan teknik seperti XPS.



Gambar 10. Spektrum EDS lapisan Cu-Sn-O

Spektrum EDS (Gambar 10) menegaskan terdeteksinya Cu, Sn, dan O pada area analisis. Dominasi sinyal O dan deviasi rasio Cu:Sn menunjukkan bahwa interpretasi komposisi perlu dilakukan secara hati-hati dan tidak digunakan sebagai bukti tunggal pembentukan fase stoikiometrik CuSnO_3 .

Tabel 3. Komposisi Unsur Lapisan Cu-Sn-O (Rata-rata Dua Titik EDS)

Unsur	Konsentrasi massa (%)	Konsentrasi atom (%)
O	85,5	96,4
Cu	7,4	2,0
Sn	4,2	0,6

Secara keseluruhan, Tabel 2 menunjukkan bahwa lapisan CuSnO_3 memiliki band gap optik lebih rendah dan konduktivitas estimasi lebih tinggi dibandingkan ZnO , sedangkan pada ZnO peningkatan suhu kalsinasi terutama berkorelasi dengan penurunan resistivitas. Hubungan tersebut tidak membuktikan bahwa band gap menjadi penyebab langsung perbedaan konduktivitas; faktor pembawa muatan dan mikrostruktur tetap perlu dikarakterisasi secara terpisah.

4. Conclusion

Karakterisasi UV-Vis DRS, FPP, dan SEM-EDS menunjukkan perbedaan sifat optik dan listrik antara lapisan CuSnO_3 dan ZnO . Lapisan CuSnO_3 memiliki band gap optik sekitar 2,08 eV dengan resistivitas estimasi 0,5–1,0 $\Omega\cdot\text{cm}$ dan konduktivitas 1,0–2,0 S/cm. Band gap ZnO pada 350°C, 400°C, dan 450°C berturut-turut 3,15; 3,04; dan 3,11 eV, sedangkan resistivitas estimasi menurun dari 50–100 menjadi 10–50 $\Omega\cdot\text{cm}$ dan konduktivitas meningkat hingga 0,02–0,10 S/cm. Dengan demikian, kenaikan suhu kalsinasi ZnO memberikan pengaruh yang lebih konsisten terhadap transport listrik daripada perubahan band gap optik. SEM-EDS menunjukkan permukaan Cu-Sn-O yang relatif homogen dan mendeteksi Cu, Sn, serta O, tetapi komposisi EDS tidak cukup untuk mengonfirmasi stoikiometri atau fase CuSnO_3 . Keterbatasan utama penelitian ini adalah tidak adanya XRD dan pengukuran ketebalan langsung, sehingga konfirmasi fase, mekanisme transport, dan tipe band alignment memerlukan karakterisasi lanjutan.

5. Acknowledgement

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang atas fasilitas dan dukungan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada Bapak Dr. Hary Sanjaya, M.Si. selaku dosen pembimbing atas bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berharga selama proses penelitian dan penyusunan naskah. Ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

References

- Abdullahi, S. S., Güner, S., Koseoglu, Y., Musa, I. M., Adamu, B. I., & Abdulhamid, M. I. (2016). Simple Method For The Determination of Band Gap of a Nanopowdered Sample Using Kubelka Munk Theory. *Journal of the Nigerian Association of Mathematical Physics*, 35, 241–246.
- Andia-Huaracha, S. C., Zapana-Cayo, L. M., Aragón, F. F. H., Aquino, J. C. R., Coaquira, J. A. H., Gonzales-Lorenzo, C. D., Ayala-Arenas, J. S., Solis, J. L., Morais, P. C., & Pacheco-Salazar, D. G. (2022). Tuning the photocatalytic activity of ZnO nanoparticles by the annihilation of intrinsic defects provoked by the thermal annealing. *Journal of Nanoparticle Research*, 24(3). <https://doi.org/10.1007/s11051-022-05421-7>
- Arab, L., Amri, A., Meftah, A., Latif, A., Tibermacine, T., & Sengouga, N. (2023). Effect of the annealing process on the properties of ZnO thin films prepared by the sol-gel method. *Chemical Physics Impact*, 7(April), 100266. <https://doi.org/10.1016/j.chphi.2023.100266>
- Benramache, S., Belahssen, O., & Temam, H. Ben. (2014). Effect of band gap energy on the electrical conductivity in doped ZnO thin film. *Journal of Semiconductors*, 35(7), 1–4. <https://doi.org/10.1088/1674-4926/35/7/073001>
- Chelly, A., Glass, S., Belhassen, J., & Karsenty, A. (2023). Broad review of four-point probe correction factors: Enhanced analytical model using advanced numerical and experimental cross-examination. *Results in Physics*, 48(April), 106445. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2023.106445>

- Faizah, S. H., Sanjaya, H., & Budiman, S. (2024). Pengaruh Penambahan Monoetanolamin (MEA) pada Sifat Listrik dari Material Copper Tin Oxide. *Masaliq*, 4(1), 308–313. <https://doi.org/10.58578/masaliq.v4i1.2506>
- Gurylev, V., & Perng, T. P. (2021). Defect engineering of ZnO: Review on oxygen and zinc vacancies. *Journal of the European Ceramic Society*, 41(10), 4977–4996. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2021.03.031>
- Kasim, M. F., Rusdi, R., Kamil, S. A., & Kamarulzaman, N. (2012). The effect of annealing temperature on the band gap of ZnO nano materials. *Advanced Materials Research*, 545, 165–168. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.545.165>
- Kim, B. N., Seo, G. K., Hwang, S. W., Yu, H., Ahn, B., Seo, H., & Cho, I. S. (2018). Photophysical properties and photoelectrochemical performances of sol-gel derived copper stannate (CuSnO₃) amorphous semiconductor for solar water splitting application. *Ceramics International*, 44(2), 1843–1849. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.10.119>
- Krysova, H., Mansfeldova, V., Tarabkova, H., Pisarikova, A., Hubicka, Z., & Kavan, L. (2024). High-quality dense ZnO thin films: work function and photo/electrochemical properties. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 28(8), 2531–2546. <https://doi.org/10.1007/s10008-023-05766-6>
- Landi, S. (2022). Use and misuse of the Kubelka-Munk function to obtain the band gap energy from diffuse reflectance measurements. *Solid State Communications*, 341. <https://doi.org/10.1016/j.ssc.2021.114573>
- Moltved, K. A., & Kepp, K. P. (2019). The chemical bond between transition metals and Oxygen: Electronegativity, d-Orbital Effects, and Oxophilicity as Descriptors of Metal-Oxygen Interactions. *Journal of Physical Chemistry C*, 123(30), 18432–18444. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b04317>
- Pandey, P., Parra, M. R., Haque, F. Z., & Kurchania, R. (2017). Effects of annealing temperature optimization on the efficiency of ZnO nanoparticles photoanode based dye sensitized solar cells. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28(2), 1537–1545. <https://doi.org/10.1007/s10854-016-5693-9>
- Sanjaya, H., Aziz, H., Stiadi, Y., Arief, S., Yohandri, Y., & Budiman, S. (2026). Preparation of Thin Film CuSnO₃ by Dip Coating Method: Structural, Optical, and Electrical Properties for Dye-Sensitized Solar Cell Applications. *Jurnal Kimia Valensi*, 12(1), 110–118. <https://doi.org/10.15408/jkv.v12i1.50326>
- Tiwale, N., Senanayak, S. P., Rubio-Lara, J., Alaverdyan, Y., & Welland, M. E. (2019). Optimization of Transistor Characteristics and Charge Transport in Solution Processed ZnO Thin Films Grown from Zinc Neodecanoate. *Electronic Materials Letters*, 15(6), 702–711. <https://doi.org/10.1007/s13391-019-00173-4>
- Yadav, A., Varshan, A. G., Nayak, S., Wu, J. Y., & Thanasekaran, P. (2025). Structural, morphological, dielectric and semiconducting properties of ZnO nanoparticles calcined at 500 °C. *RSC Advances*, 15(44), 36749–36759. <https://doi.org/10.1039/d5ra06276d>
- Yang, S., Lei, G., Xu, H., Lan, Z., Wang, Z., & Gu, H. (2021). Metal oxide based heterojunctions for gas sensors: A review. *Nanomaterials*, 11(4), 1–26. <https://doi.org/10.3390/nano11041026>