

## PENGARUH PENAMBAHAN TiO<sub>2</sub> TERHADAP SIFAT OPTIK DAN LISTRIK NANOKOMPOSIT ZnO-PVA

### *The Effect of TiO<sub>2</sub> Addition on Optical and Electric Properties Of ZnO-PVA Nanokomposites*

Miftahul Khoiri<sup>1</sup>, Abrar<sup>2</sup>, Muhammad Nasir<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universitas Telkom, Bandung

<sup>1</sup>miftahulkhoiri@student.telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>abrarselah@telkomuniversity.ac.id,

<sup>3</sup>muhammadnasir@telkomuniversity.ac.id

#### Abstrak

Nanopartikel TiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi berat 1, 2 dan 3% telah berhasil didoping ke dalam matriks nanokomposit ZnO-PVA. Karakterisasi SEM, XRD, UV-Vis dan IV telah dilakukan untuk mengetahui struktur morfologi, kristalinitas, sifat optik dan listrik. Lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA dan ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub> telah berhasil dideposisikan diatas substrat kaca/glass dengan metode *spin coating*. Karakterisasi SEM menunjukkan ada beberapa heterogenitas pada lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA dan ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub> yang disebabkan aglomerasi nanopartikel anorganik ZnO dan TiO<sub>2</sub>. Karakterisasi XRD menyatakan adanya kristal ZnO dan TiO<sub>2</sub> dalam orientasi tertentu pada matrik PVA. Karakterisasi UV-Vis menunjukkan nilai absorbansi nanokomposit ZnO-PVA lebih besar dibanding ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub>. Namun seiring penambahan TiO<sub>2</sub> nilai absorbansi meningkat, yang dikaitkan dengan hamburan cahaya pada kekasaran permukaan dan grain boundary karena partikel yang kurang tersebar merata pada substrat. Semua sampel lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA tanpa dan dengan penambahan TiO<sub>2</sub> mengalami *red shifted* kearah ultraviolet. Karakterisasi sifat listrik telah dilakukan dengan pengukuran I-V, dan hasilnya menunjukkan nanokomposit ZnO-PVA dan ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub> mengalami fluktuasi. Nilai arus yang mengalir sangat kecil yaitu 0.235 nA untuk nanokomposit ZnO-PVA dan -0.905 nA untuk penambahan 3% TiO<sub>2</sub> saat diberikan variasi tegangan -5V hingga 5V tanpa pengaruh cahaya.

Kata kunci : I-V, PVA, *Spin Coating*, TiO<sub>2</sub>, UV-Vis, ZnO

#### Abstract

TiO<sub>2</sub> nanoparticles with a weight concentration of 1, 2 and 3% have been successfully doped into the ZnO-PVA nanocomposites matrix. SEM, XRD, UV-Vis and IV characterization have been carried out to determine the morphological, crystallinity structure, optical and electrical properties. A thin film of ZnO-PVA and ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub> nanocomposites has been successfully deposited on a glass substrate by the spin coating method. SEM characterization showed that there was some heterogeneity in the ZnO-PVA and ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub> nanocomposites films caused by agglomeration of ZnO and TiO<sub>2</sub> inorganic nanoparticles. XRD characterization revealed the presence of ZnO and TiO<sub>2</sub> crystals in certain orientations on the PVA matrix. UV-Vis characterization showed that the absorbance value of ZnO-PVA nanocomposite was greater than that of ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub>. However, with the addition of TiO<sub>2</sub> the absorbance value increases, which favors light scattering on the surface roughness and grain boundaries because the particles are evenly distributed on the substrate. All samples of ZnO-PVA and ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub> nanocomposites film experienced a red shift towards ultraviolet. Characterization of electrical properties was carried out by I-V measurements, and the results showed that ZnO-PVA and ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub> nanocomposites fluctuated. The value of the current flowing is very small, namely 0.235 nA for ZnO-PVA nanocomposite and -0.905 nA for the addition of 3% TiO<sub>2</sub> when given a voltage variation of -5V to 5V without the influence of light.

Keywords: I-V, PVA, *Spin Coating*, UV-Vis, TiO<sub>2</sub>, ZnO

#### 1. Pendahuluan

Nanokomposit merupakan suatu struktur padat dengan dimensi berskala nanometer yang jarak pengulangan skala nano antar struktur penyusunnya berbeda. Material-material nanokomposit terdiri dari dua atau lebih molekul organik/ anorganik dalam beberapa bentuk kombinasi. Salah satu kombinasi tersebut dapat berupa menggabungkan nanopartikel anorganik ke dalam matriks polimer konduktif[1,2]. Polimer konduktif polivinil alkohol (PVA) merupakan polimer yang efisien terkait membentuk lapisan yang seragam (*uniform*) dalam pengembangan aplikasi OLED, sel surya, sensor, bahan piezoelektrik, optoelektronik, dsb[2-4]. PVA bersifat semi kristal, konduktivitas listrik sekitar  $3.7 \times 10^{-12}$  S/m, larut dalam air, tidak berasa, tidak berbau, tidak beracun, dsb[4,5]. Sementara itu, seng oksida (ZnO) memiliki sifat transparansi optik pada daerah *visibel*, mobilitas elektron yang tinggi, resistivitas listrik sekitar  $<10^2-10^8$   $\Omega$ m, celah pita lebar sekitar 3.3 eV pada suhu kamar dengan energi pengikat eksitasi 60 meV. Hal tersebut memungkinkan pengaplikasian ZnO untuk perangkat semikonduktor, optoelektronik, dioda laser, fotodetektor, bahan piezoelektrik, sensor gas, dan sel fotovoltaik[3,6]. Selain ZnO, titanium oksida (TiO<sub>2</sub>) merupakan nanopartikel anorganik yang juga bisa menjadi pengisi atau *filler* pada polimer PVA. TiO<sub>2</sub> memiliki sifat tidak beracun, indeks biasnya tinggi, stabil, toksisitas yang rendah, resistivitas listrik sekitar  $10^2-10^{15}$   $\Omega$ m dan celah pita optik 3.2-3.8 eV[7,8]. Ukuran nanopartikel dari ZnO dan TiO<sub>2</sub> dapat mengontrol dan terdispersi cukup beraturan dalam matriks polimer. Filler dengan ukuran nano diketahui memiliki efek quantum confinement untuk membuat interaksi antar filler dan matriks[4].

Konsentrasi nanopartikel ZnO pada PVA mempengaruhi nilai celah pita optik dan konduktivitas optik telah diteliti oleh A.F. Mansour, et al (2015) yang disiapkan dengan metode *solution casting*[3]. Selain itu, berpengaruh juga pada pergeseran daerah biru-hijau yang berarti serapan *edge* bergeser ke arah energi yang lebih rendah atau panjang gelombang yang lebih tinggi telah diteliti oleh R. Kandulna, et al (2017)[2]. Penambahan fase anatase, rutil dan *mix* dari TiO<sub>2</sub> ke dalam PVA telah diteliti oleh I. Morad et al (2020). Fase anatase menunjukkan peningkatan nilai absorbansi dan konduktivitas optik, serta penurunan nilai celah energi[8]. Nilai celah pita nanokomposit ZnO-PVA menurun seiring dengan penambahan nanopartikel oksida logam transisi. Penambahan nanopartikel tersebut untuk Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diamati meningkatkan permitivitas dielektrik dengan loss factor 0,1 telah diteliti oleh T. Iqbal, et al (2020)[9]. Berdasarkan penelitian terdahulu, keseluruhan menunjukkan hasil menggabungkan nanopartikel anorganik pada matriks polimer dapat memodulasi sifat fungsional.

Dalam penelitian ini akan meneliti pengaruh penambahan nanopartikel metal oksida yaitu titanium oksida (TiO<sub>2</sub>) yang berfasa *mix* (anatase & rutil) terhadap sifat optik serta listrik nanokomposit ZnO-PVA. Penambahan TiO<sub>2</sub> mengambil peran sebagai *filler* atau pengisi dari matriks nanokomposit ZnO-PVA yang diharapkan mampu memperbaiki sifat dan struktur. Preparasi sampel lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA tanpa dan dengan penambahan TiO<sub>2</sub> dilakukan dengan teknik deposisi *spin coating* dan kemudian dikarakterisasi sifat kiralinitas, morfologi, optik dan listrik.

## 2. Material dan Metode

Polivinil Alkohol (PVA) (87-90% hydrolyzed), Seng Oksida (ZnO) (<100nm particle size) dan Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>) (<100nm particle size) dari Sigma- Aldrich, serta aquadest digunakan sebagai pelarut. Semua bahan kimia adalah kelas analitis dan digunakan tanpa pemurnian terlebih dahulu.

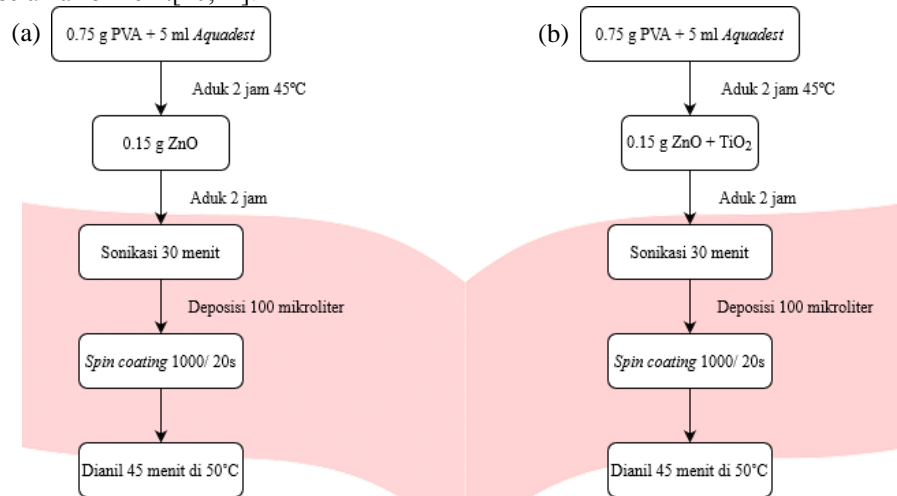
### 2.1 Sintesis Lapisan Tipis Nanokomposit ZnO-PVA

Dalam sintesis nanokomposit ZnO- PVA, disiapkan larutan PVA sebanyak 0.75 gram PVA ditambahkan ke 5 ml aquadest. Campuran diaduk pada suhu 45°C selama 2 jam sampai diperoleh larutan transparan. Kemudian 0.15 gram nanopowder ZnO ditambahkan ke larutan PVA dan dicampur selama 2 jam serta sonikasi selama 30 menit[9,10]. Lalu dilakukan teknik spin coating dengan meneteskan larutan sebanyak 100  $\mu$ L ke substrat kaca dengan kecepatan 1000 selama 20 detik. Lapisan tipis tersebut dianil pada suhu 50°C selama 45 menit[10,11].

### 2.2 Sintesis Lapisan Tipis Nanokomposit ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub>

Dalam sintesis nanokomposit ZnO- PVA, disiapkan larutan PVA sebanyak 0.75 gram PVA ditambahkan ke 5 ml aquadest. Campuran diaduk pada suhu 45°C selama 2 jam sampai diperoleh larutan transparan. Kemudian 0.15 gram nanopowder ZnO dan 0.05, 0.10 dan 0.15 nanopowder TiO<sub>2</sub> masing- masing ditambahkan ke larutan PVA dan dicampur selama 2 jam serta sonikasi selama 30 menit[9,10]. Lalu, dilakukan teknik spin coating dengan meneteskan larutan sebanyak 100  $\mu$ L ke

substrat kaca dengan kecepatan 1000 rpm selama 20 detik. Lapisan tipis tersebut dianil pada suhu  $50^{\circ}\text{C}$  selama 45 menit[10,11].



Gambar 1. Sintesis Lapisan Tipis Nanokomposit a. ZnO-PVA dan b. ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub>

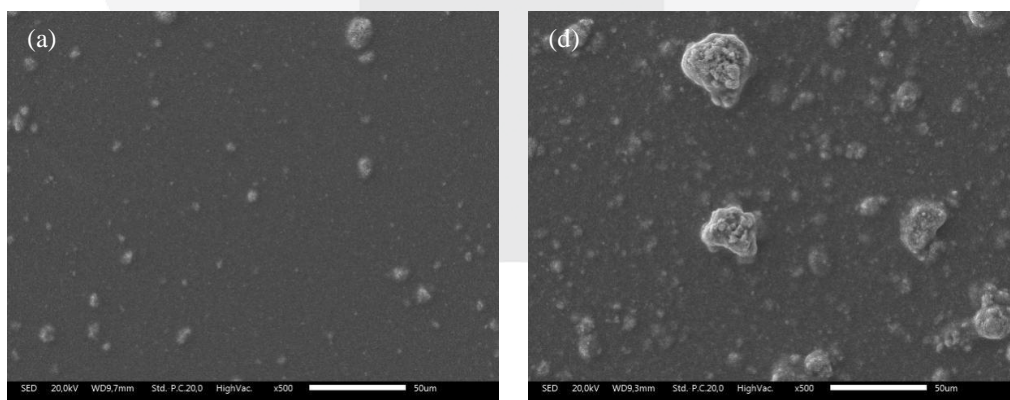
### 2.3 Karakterisasi

Karakterisasi SEM/EDX dan XRD untuk nanokomposit ZnO-PVA dan ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub> dilakukan di Loka Penelitian Teknologi Bersih (LIPI) Bandung dengan menggunakan alat JEOL JSM IT300/OXFORD XMAX 20 dengan energi sinar 20kV diperbesar 500x hingga 30kx dan menggunakan alat XRD Bruker D8 Advance 3kW dengan detektor LynxEye XE-T dan sumber radiasi Cu K alfa ( $1.54060 \text{ \AA}$ ) dalam suhu ruang  $23^{\circ}\text{C}$  dengan kelembaban 50%. Karakteristik sifat optik menggunakan UV-Vis dilakukan di Pusat Pelayanan Basic Science Universitas Padjajaran dengan menggunakan alat Spektrofotometer Shimadzu UV-1800 UV-Vis. Dan pengukuran I-V dilakukan dengan menggunakan Keithley 2400.

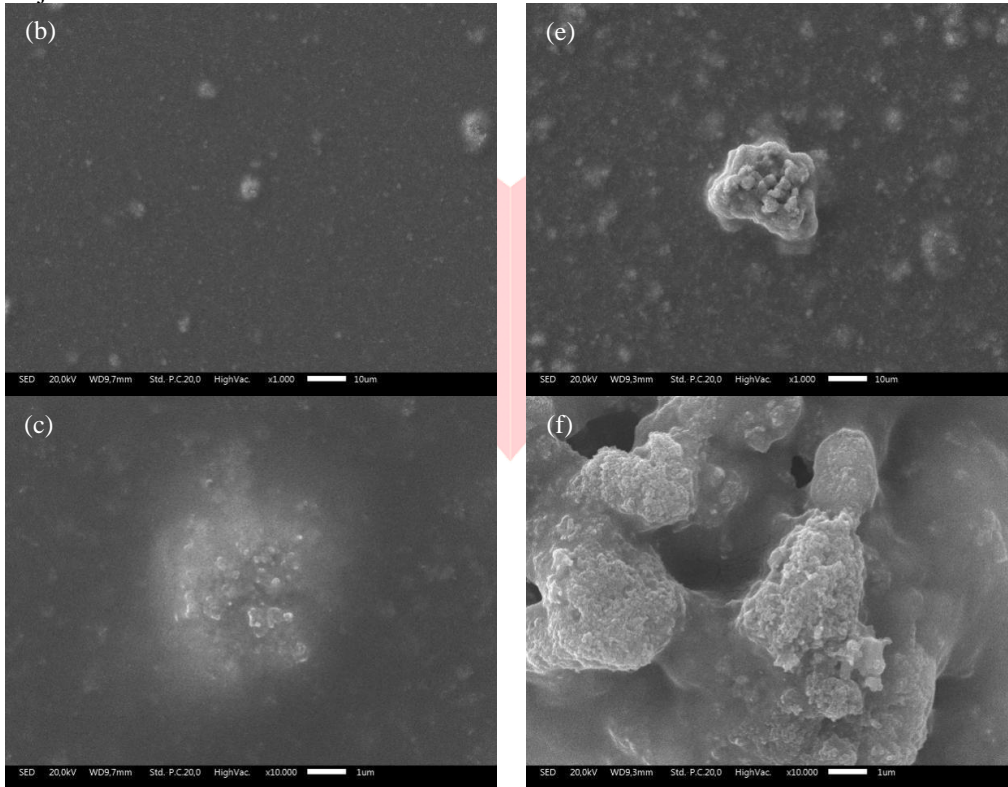
## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Karakterisasi SEM/EDX

Gambar 2. (a,b) merupakan bentuk morfologi hasil dari karakterisasi SEM lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA dan Gambar 2. (d,e) untuk ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub> dengan perbesaran 500x dan 1000x berturut-turut. Hasil menunjukkan permukaan yang tidak beraturan atau kasar namun terdispersi cukup merata[8,12]. Adanya defect atau cacat permukaan lapisan tipis nanokomposit disebabkan oleh kandungan nanopartikel ZnO dan TiO<sub>2</sub> dalam PVA yang bersifat aglomerasi[13]. Ukuran yang tidak beraturan akibat aglomerasi seiring penambahan nanopartikel TiO<sub>2</sub> fase *mix* (anatase & rutil) pada ZnO-PVA[8]. Gambar 2. (c,f) merupakan morfologi dari perbesaran 10kx pada bagian heterogenitas nanopartikel yang menonjol.

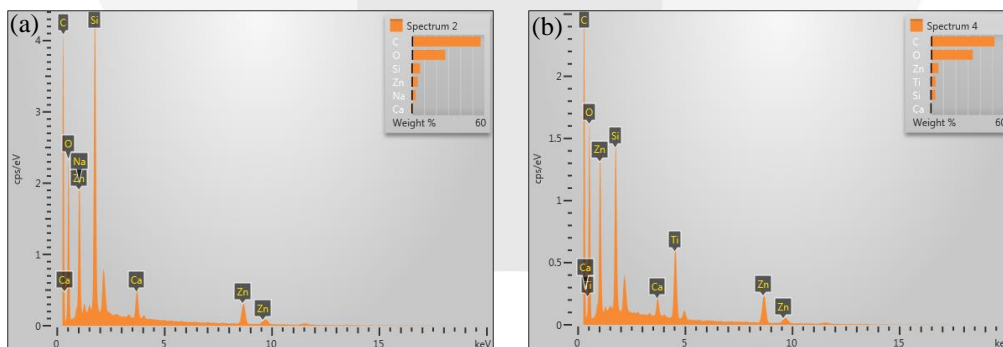


Lanjutan



Gambar 2. Morfologi lapisan tipis nanokomposit (a-c) berturut-turut perbesaran ZnO-PVA (500x, 1000x, 10kx) dan (d-f) berturut-turut perbesaran ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub> (500x, 1000x, 10kx)

Berdasarkan pada Gambar 3. a dan b merupakan hasil EDX lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA tanpa dan dengan penambahan TiO<sub>2</sub>. Karbon (C) dan Oksigen (O) adalah elemen utama dalam nanokomposit ZnO-PVA dan dengan penambahan TiO<sub>2</sub>, yang dikaitkan dengan prevalensi PVA. Sementara ditemukannya Natrium (Na), Silikon (Si) dan Kalsium (Ca) pada nanokomposit diduga karena pelarut air yang digunakan, udara ketika proses anil, *impurity* atau pengotor maupun akurasi dari alat. Titanium (Ti) dan Zn (Seng) terkait nanopartikel TiO<sub>2</sub> dan ZnO.



Gambar 3. Hasil EDX lapisan tipis nanokomposit a. ZnO-PVA dan b. ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub>

### 3.2. Karakterisasi XRD

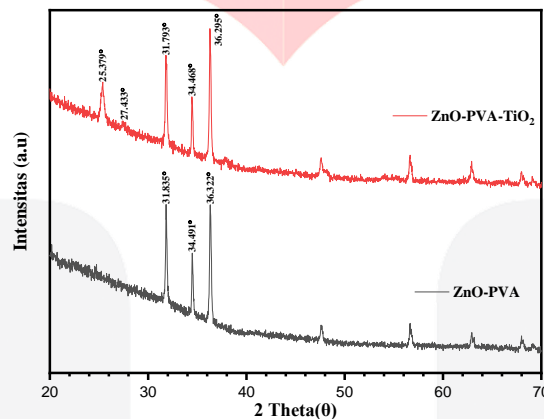
Gambar 4 informasi struktur kristal pada lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA dan ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub> dapat diperoleh. Lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA yang didasari standard JCPDS no. 36-1451 mengandung tiga puncak yang menonjol pada nilai 2θ yaitu 31.835°, 34.491° dan 36.322°. Hal



tersebut dikaitkan dengan refleksi bidang ZnO yang paling intens di 100, 002 dan 101 berturut-turut mengkonfirmasi ZnO berfase kristal *wurtzite* heksagonal[3,9]. Sementara TiO<sub>2</sub> fase anatase dan rutil berdasarkan standard dari JCPDS no. 88-1175 dan JCPDS no. 84-1286 berturut-turut menunjukkan hasil lapisan tipis ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub> memiliki satu puncak difraksi yang tajam pada  $2\theta = 25.379^\circ$  di bidang 101 yang berarti fase anatase dan satu puncak lemah di  $27.433^\circ$  bidang 110 adalah fase rutil[8,13]. Dengan penambahan nanopartikel TiO<sub>2</sub> pada nanokomposit ZnO-PVA menunjukkan adanya penambahan puncak intensitas pada nilai  $2\theta = 25.379^\circ$  dan  $27.433^\circ$  yang merupakan fase anatase dan rutil. Selain itu nanopartikel TiO<sub>2</sub> juga mempengaruhi menurunnya puncak intensitas nanokomposit ZnO-PVA. Ukuran rata-rata kristal untuk nanopartikel anorganik ZnO dan TiO<sub>2</sub> dihitung menggunakan persamaan *Scherrer* berikut.

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

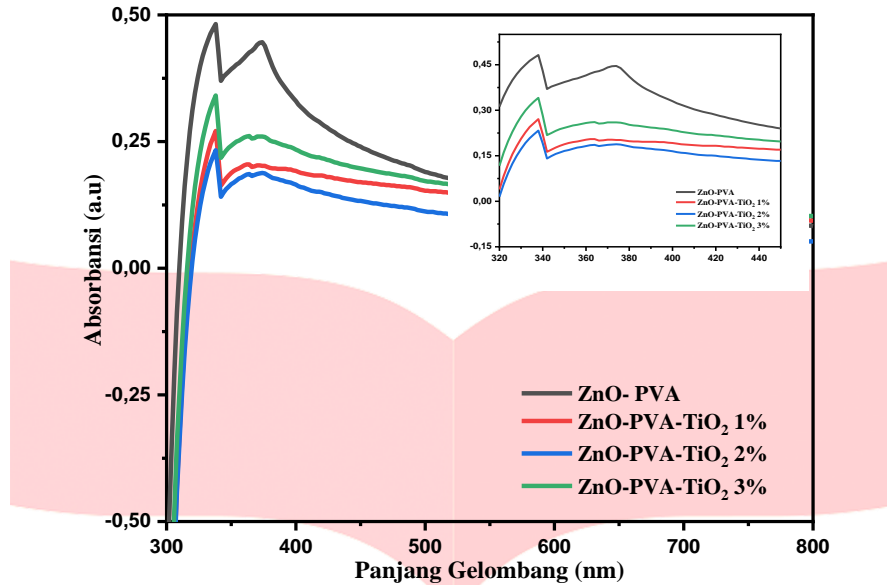
dengan 0.9 adalah konstanta *Scherrer*,  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X ( $1.54060 \text{ \AA}$ ),  $\beta$  adalah FWHM dan  $\theta$  adalah sudut difraksi. Ukuran rata-rata kristal nanopartikel ZnO sebesar  $27.839 \text{ nm}$  dan TiO<sub>2</sub> sebesar  $20.731 \text{ nm}$  dan  $40.624 \text{ nm}$  untuk masing-masing fase anatase dan rutil.



Gambar 4. Pola XRD lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA dan ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub>

### 3.3. Karakterisasi UV-Vis

Gambar 5. menunjukkan spektrum absorptansi UV-Vis lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA dengan dan tanpa penambahan TiO<sub>2</sub> pada rentang panjang gelombang 300-800 nm. Hasil menunjukkan puncak lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA berada pada 2 pita serapan dipanjang gelombang  $374 \text{ nm}$  dan  $338 \text{ nm}$ . Hal tersebut mengacu pada penyerapan PVA dan eksiton nanopartikel ZnO[2]. Sementara itu, untuk lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi TiO<sub>2</sub> 1, 2 dan 3% puncak pita lemah berturut-turut bergeser dari  $374, 362$  dan  $364 \text{ nm}$  menuju  $338 \text{ nm}$ . Nilai absorptansi meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi dari TiO<sub>2</sub> yang dikaitkan dengan hamburan cahaya pada kekasaran permukaan dan grain boundary karena partikel yang kurang tersebar merata pada substrat[14]. Namun menurun jika dibandingkan dengan lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA. Seluruh lapisan tipis nanokomposit mengalami pergeseran puncak pita mengalami *red shifted*, hal tersebut menunjukkan serapan terjadi pada daerah UV[15]. Pergeseran puncak pita ini disebabkan adanya efek kuantum confinement yaitu pengurangan ukuran kristal[11].



Gambar 5. Spektrum absorbansi lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA dan ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub>

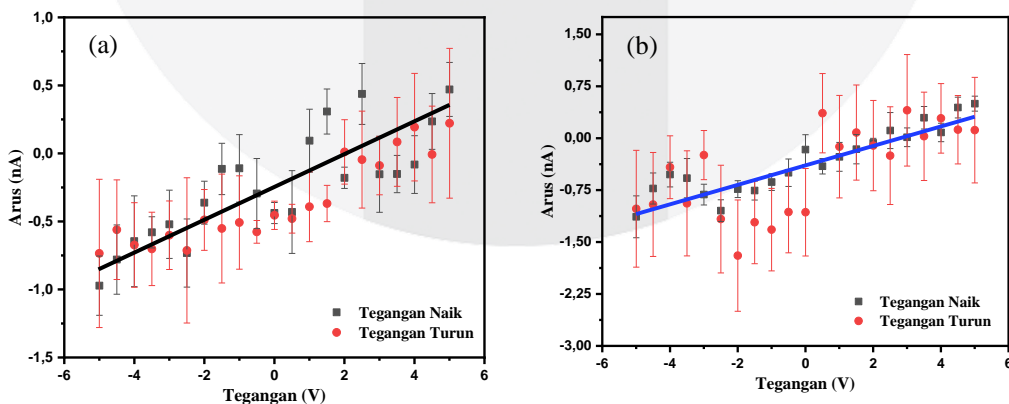
Energi gap diperoleh dari nilai panjang gelombang absorpsi dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$E_g = \frac{hc}{\lambda} \quad \dots(2)$$

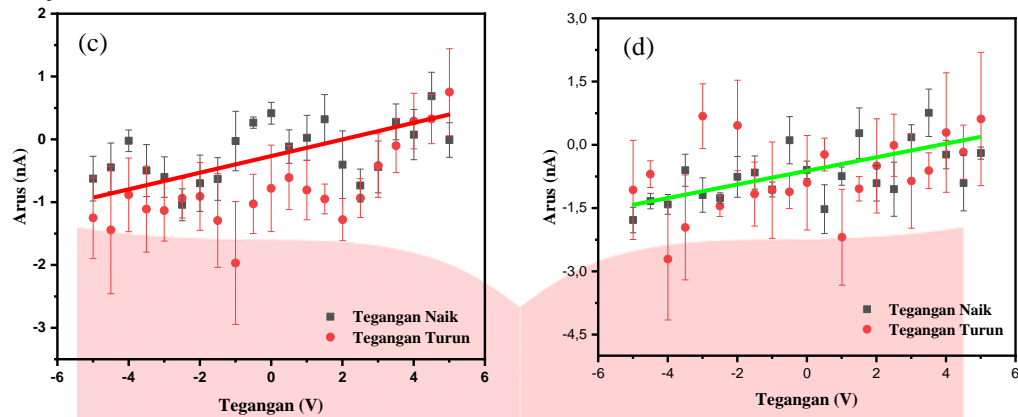
dengan  $h$  adalah konstanta *Plank* ( $6.62606957 \times 10^{-34}$  J.s atau  $4.13567 \times 10^{-15}$  eV.s),  $c$  adalah kecepatan cahaya dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang (nm). Energi gap lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA menunjukkan 3.317eV untuk *weak band* dan 3.671eV untuk *broadband*. Sementara itu, untuk lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi TiO<sub>2</sub> 1, 2 dan 3% menunjukkan energi gap yang sama dengan nsanokomposit ZnO-PVA *broadband* yaitu 3.671eV.

### 3.4. Pengukuran I-V

Gambar 6. menunjukkan hasil grafik yang mengalami fluktuatif dari kurva I-V lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA tanpa dan dengan penambahan konsentrasi 1, 2 dan 3% TiO<sub>2</sub>. Oleh karena itu ada penambahan garis linear untuk memperjelas trend pada kurva I-V tersebut. Arus yang dihasilkan lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA adalah 0.235 nA dengan tegangan 4.5 V dan diperoleh nilai resistansi sebesar 19.149 GΩ dari hukum Ohm. Sementara untuk lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA dengan konsentrasi TiO<sub>2</sub> 1, 2 dan 3% besar nilai arus berturut-turut 0.443, 0.687 dan -0.905 nA. Semua sampel yang diuji menghasilkan nilai arus yang kecil, yang berarti nilai resistansinya tinggi yaitu dalam gigaohm (GΩ).



Lanjutan



Gambar 6. Kurva I-V lapisan tipis nanokomposit a. ZnO-PVA, b. ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub> 1%, c. ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub> 2%, dan d. ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub> 3%

Nilai resistivitas dari lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA adalah sebesar  $149.58 \times 10^3 \Omega \cdot m$  dan dengan penambahan 3% TiO<sub>2</sub> sebesar  $-9.82 \times 10^3 \Omega \cdot m$ . Sementara nilai konduktivitas listrik dari lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA sebesar  $6.685 \times 10^{-6} (\Omega \cdot m)^{-1}$  dan ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub> 3% sebesar  $-101.83 \times 10^{-6} (\Omega \cdot m)^{-1}$ .

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut beberapa simpulan yang diperoleh yaitu:

1. Lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA dan ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub> memiliki permukaan yang tidak mulus atau kasar namun terdispersi cukup merata. Heterogenitas yang terjadi disebabkan oleh sifat aglomerasi dari nanopartikel ZnO dan TiO<sub>2</sub>. Dan pola XRD menunjukkan nanopartikel TiO<sub>2</sub> mempengaruhi menurunnya nilai puncak intensitas nanokomposit ZnO-PVA dan terdapat puncak tambahan terkait fase anatase dan rutil.
2. Karakterisasi UV-Vis menunjukkan nilai absorbansi lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA dengan penambahan TiO<sub>2</sub> menurun ketika dibanding ZnO-PVA tanpa penambahan TiO<sub>2</sub> serta nilai absorbansi pada penambahan TiO<sub>2</sub> 1% lebih besar dibanding 2%. Dan pengukuran I-V menunjukkan tanpa adanya pengaruh cahaya seluruh sampel lapisan tipis nanokomposit ZnO-PVA dan ZnO-PVA-TiO<sub>2</sub> sudah memiliki nilai arus yang kecil atau berorde nanoampere.

#### REFERENSI

- [1] J. Nanosains, "Fabrikasi Material Nanokomposit Superkuat, Ringan dan Transparan Menggunakan Metode Simple Mixing," vol. 1, no. 1, pp. 14–21, 2008.
- [2] R. K. R. B. Choudhary, "Concentration-dependent behaviors of ZnO-reinforced PVA – ZnO nanocomposites as electron transport materials for OLED application," *Polym. Bull.*, 2017, doi: 10.1007/s00289-017-2186-9.
- [3] A. F. Mansour, S. F. Mansour, and M. A. Abdo, "Improvement Structural and Optical Properties of ZnO / PVA Nanocomposites," vol. 7, no. 2, pp. 60–69, 2015, doi: 10.9790/4861-07226069.
- [4] M. Aslam, M. A. Kalyar, and Z. A. Raza, "Polyvinyl Alcohol : A Review of Research Status and Use of Polyvinyl Alcohol Based Nanocomposites," 2018, doi: 10.1002/pen.24855.
- [5] V. Y. Pamela, R. Syarief, E. S. Iriani, and N. E. Suyatma, "KARAKTERISTIK MEKANIK, TERMAL DAN MORFOLOGI FILM POLIVINIL ALKOHOL DENGAN PENAMBAHAN NANOPARTIKEL ZnO DAN ASAM STEARAT uNTUK KEMASAN MULTILAYER," *J. Penelit. Pascapanen Pertan.*, vol. 13, no. 2, p. 63, 2017, doi: 10.21082/jpasca.v13n2.2016.63-73.
- [6] R. Murty, Raj, Murday, Shankar, *Nanoscience Nanotechnology*. 2013.
- [7] V. Kaler, R. K. Duchaniya, and U. Pandel, "Synthesis of nano-titanium dioxide by sol-gel route," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1724, pp. 1–5, 2016, doi: 10.1063/1.4945247.
- [8] I. Morad, A. M. Alshehri, A. F. Mansour, M. H. Wasfy, and M. M. El-Desoky, "Facile synthesis and comparative study for the optical performance of different TiO<sub>2</sub> phases doped PVA nanocomposite films," *Phys. B Condens. Matter*, vol. 597, no. June, p. 412415, 2020,

- doi: 10.1016/j.physb.2020.412415.
- [9] T. Iqbal, M. Irfan, S. M. Ramay, A. Mahmood, M. Saleem, and S. A. Siddiqi, "ZnO–PVA Polymer Matrix with Transition Metals Oxide Nano-fillers for High Dielectric Mediums," *J. Polym. Environ.*, vol. 28, no. 9, pp. 2422–2432, 2020, doi: 10.1007/s10924-020-01768-x.
- [10] S. S. Mousavi, B. Sajad, and M. H. Majlesara, "Fast response ZnO/PVA nanocomposite-based photodiodes modified by graphene quantum dots," *Mater. Des.*, vol. 162, pp. 249–255, 2019, doi: 10.1016/j.matdes.2018.11.037.
- [11] R. K. Duchaniya and N. Choudhary, "Synthesis and characterization of PVA/TiO<sub>2</sub> nanocomposite," *Key Eng. Mater.*, vol. 737 KEM, pp. 242–247, 2017, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.737.242.
- [12] Z. Oxide, "Synthesis and enhanced mechanical properties of nano Zinc Oxide in Polyvinyl alcohol and Polyvinyl pyrrolidone composite film," *Int. J. Nano Dimens.*, vol. 4, no. 2, pp. 153–159, 2013.
- [13] M. Azizi-Lalabadi, M. Alizadeh-Sani, B. Divband, A. Ehsani, and D. J. McClements, "Nanocomposite films consisting of functional nanoparticles (TiO<sub>2</sub> and ZnO) embedded in 4A-Zeolite and mixed polymer matrices (gelatin and polyvinyl alcohol)," *Food Res. Int.*, vol. 137, p. 109716, 2020, doi: 10.1016/j.foodres.2020.109716.
- [14] C. M. Firdaus, M. S. B. Shah Rizam, M. Rusop, and S. Rahmatul Hidayah, "Characterization of ZnO and ZnO: TiO<sub>2</sub> thin films prepared by sol-gel spray-spin coating technique," *Procedia Eng.*, vol. 41, no. Iris, pp. 1367–1373, 2012, doi: 10.1016/j.proeng.2012.07.323.
- [15] R. K. Goyal, *Nanomaterials and Nanocomposites*. 2017.

