

Pengaruh Variasi Ukuran Partikel ZnO terhadap Morfologi Permukaan dan Sifat Optik pada Lapisan Tipis ZnO-GO

Indri Saputri Pertama¹, Riri Jonuarti², Yenni Darvina³, Fadhillah Ulfa Jhora⁴

^{1,2,3,4} Fisika, Universitas Negeri Padang

e-mail: indrisaputripertama@gmail.com

Abstrak

Salah satu faktor pendukung dalam pengaplikasian ZnO adalah pada mikrostrukturnya seperti: ukuran partikel dan kristalinitas pada ZnO. ZnO dengan ukuran partikel besar memiliki beberapa kelemahan salah satunya area permukaan per volume yang kecil. ZnO yang memiliki permukaan per volume yang lebar akan lebih optimal. Permukaan yang lebar pada ZnO akan mengabsorpsi cahaya yang lebih banyak sehingga meningkatkan daya serap terhadap foton. Salah satu cara agar dapat mengabsorpsi cahaya lebih banyak adalah dengan memperkecil ukuran partikel pada ZnO. Selain itu, ZnO memiliki band gap 3,37 eV. Nilai band gap ini jika diaplikasikan pada penyerapan pada daerah cahaya tampak (Visible-light) kurang optimal. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk penurunan band gap pada ZnO adalah dengan Penambahan doping. Penambahan doping dapat dilakukan dengan penambahan senyawa berbasis karbon seperti graphene oxide (GO). Graphene oxide (GO) memiliki keunggulan pada sifat mekanik, listrik dan optik serta termal yang baik, Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran partikel ZnO pada lapisan tipis ZnO-GO terhadap morfologi permukaan serta sifat optik berupa energi band gap yang nantinya akan dijadikan sebagai semikonduktor pada sel surya. Tiga variasi ukuran partikel yang diselidiki dalam penelitian ini: 28.739 nm; 58.161 nm; 62.718 nm, metode yang digunakan dalam pembuatan lapisan tipis yaitu spin coating. Dari hasil analisis XRD dapat dilihat bahwa variasi ukuran partikel mempengaruhi bahwa semakin berkurangnya ukuran partikel ZnO maka pada ukuran kristal pada lapisan tipis ZnO-GO juga berkurang, sama halnya pada analisis menggunakan SEM variasi ukuran partikel mempengaruhi bahwa semakin berkurangnya ukuran partikel ZnO maka pada ukuran partikel lapisan tipis ZnO-GO juga berkurang, Serta morfologi dari lapisan tipis dengan penyebaran ZnO dan GO yang bervariasi dari setiap variasi sampel. Dari hasil analisis UV-Vis dapat dilihat bahwa variasi ukuran partikel mempengaruhi bahwa semakin berkurangnya ukuran partikel ZnO didapatkan nilai absorbansi yang semakin meningkat, Akan tetapi pada penelitian ini tiap variasi ukuran partikel nilai absorbansi tertinggi terdapat pada spektrum cahaya masih pada daerah UV dengan rentang panjang gelombang pada 200 – 400 nm, . Serta nilai energi band gap lapisan tipis ZnO-GO dengan nilai yang semakin menurun seiring berkurangnya ukuran partikel yaitu dari 2,765 eV menjadi 2,035 eV, Hasil ini menunjukkan bahwa lapisan tipis ZnO-GO dengan variasi ukuran partikel ZnO berpotensi sebagai semikonduktor dalam aplikasi sel surya.

Kata kunci: *Sel Surya, Semikonduktor, Lapisan Tipis ZnO-GO, Ukuran Partikel ZnO*

Abstract

One of the supporting factors in the application of ZnO is its microstructure such as particle size and crystallinity. ZnO with large particle size has several disadvantages, one of which is the small per volume surface area. ZnO that has a wide per volume surface will be more optimal. The wide surface on ZnO will absorb more light so as to increase the absorption of photons. One way to absorb more light is to reduce the particle size of ZnO. In addition, ZnO has a band gap of 3.37 eV. This band gap value when applied to absorption in the visible-light region is less than optimal. One way that can be done to decrease the band gap on ZnO is by adding doping. The addition of doping can be done by adding carbon-based compounds such as graphene oxide (GO). Graphene oxide (GO) has advantages in mechanical, electrical and optical properties as well as good thermal, In this study aims to determine the effect of ZnO particle size variations in ZnO-GO thin

film on surface morphology and optical properties in the form of band gap energy which will later be used as a semiconductor in solar cells. Three particle size variations were investigated in this study: 28.739 nm; 58.161 nm; 62.718 nm. . The method used in the manufacture of thin film is spin coating. From the results of XRD analysis, it can be seen that the variation of particle size affects that the decreasing particle size of ZnO, the crystal size of the ZnO-GO thin film is also reduced, as well as the analysis using SEM, the variation of particle size affects that the decreasing particle size of ZnO, the particle size of the ZnO-GO thin film is also reduced, as well as the morphology of the thin layer with the distribution of ZnO and GO which varies from each sample variation. From the results of UV-Vis analysis, it can be seen that the variation of particle size affects that the decreasing particle size of ZnO obtained absorbance value is increasing, but in this study each particle size variation the highest absorbance value is in the light spectrum still in the UV region with a wavelength range at 200 - 400 nm,. As well as the band gap energy value of the ZnO-GO thin film with a value that decreases as the particle size decreases from 2.765 eV to 2.035 eV, these results indicate that the ZnO-GO thin film with variations in ZnO particle size has potential as a semiconductor in solar cell applications.

Keywords : *Solar Cell, Semiconductor, ZnO-GO Thin Film, ZnO Particle Size*

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi dan perkembangan zaman menjadi alasan utama menjadikan energi listrik sebagai kebutuhan primer yang tidak dapat dipisahkan dari penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari, khususnya pada masyarakat di Indonesia (T. Haryono, 2015). Indonesia memiliki potensi energi matahari yang cukup besar untuk dimanfaatkan potensinya. Oleh sebab itu, salah satu cara yang dapat dikembangkan sebagai penyediaan energi listrik adalah dengan memanfaatkan energi matahari. Potensi energi ini dapat dimanfaatkan sebagai penyediaan energi listrik dengan suatu teknologi yang dapat menghasilkan energi listrik dengan mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik, Seperti *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* (Rizaldi et al., 2021). DSSC merupakan sel surya yang dapat mengubah energi matahari (foton) menjadi energi listrik. Proses pengubahan atau konversi cahaya matahari (foton) menjadi listrik disebabkan oleh bahan material yang terusun pada sel surya berupa material semikonduktor.

Seiring dengan kemajuan teknologi peneliti terus melakukan pengembangan pembuatan *divais elektronik* dan *optoelektronik* dengan material semikonduktor. Salah satunya sel surya dalam bentuk lapisan tipis dengan material semikonduktor. Lapisan tipis merupakan suatu material yang melapisi substrat dengan ketebalan yang kurang dari 10 μm . Lapisan tipis bersifat semikonduktor sehingga dapat diaplikasikan sebagai sel surya (Jaslia & Astuti, 2017). Salah satu senyawa bersifat semikonduktor yang dapat digunakan dalam sintesis (pembuatan) lapisan tipis ya untuk diaplikasikan pada sel surya adalah ZnO.

ZnO memiliki banyak keunggulan diantaranya, tidak mudah rusak mempunyai stabilitas yang tinggi dalam plasma hidrogen, tidak beracun serta memiliki ketahanan pada radiasi. Sehingga ZnO merupakan material yang dapat digunakan untuk penelitian pada suhu tinggi seperti sel surya (Sinaga et al., 2009). Salah satu faktor pendukung dalam pengaplikasian ZnO adalah pada mikrostrukturnya seperti: ukuran partikel dan kristalinitas pada ZnO. (Hernowo & Nurhasanah, 2019). ZnO dengan ukuran partikel besar memiliki beberapa kelemahan salah satunya area permukaan per volume yang kecil. ZnO yang memiliki permukaan per volume yang lebar akan lebih optimal. Permukaan yang lebar pada ZnO akan mengabsorpsi cahaya yang lebih banyak sehingga meningkatkan daya serap terhadap foton. Salah satu cara agar dapat mengabsorpsi cahaya lebih banyak adalah dengan memperkecil ukuran partikel pada ZnO (Hanavi et al., 2019). ZnO memiliki band gap energy 3,37 eV. Nilai band gap energi ini jika diaplikasikan pada penyerapan pada daerah cahaya tampak (Visible-light) kurang optimal (Dwi Fahyuan & Ngatijo, 2018). Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk penurunan band gap pada ZnO adalah dengan penambahan doping. Penambahan doping dapat dilakukan dengan penambahan senyawa berbasis karbon seperti *graphene oxide (GO)*. *Graphene oxide (GO)* memiliki keunggulan pada sifat mekanik, listrik dan optik serta termal yang baik. (Marcelina et al., 2017). Salah satu metode yang dapat digunakan dalam pembuatan lapisan tipis adalah *spin-coating*.

Keunggulan dari metode *spin coating* cukup mudah dan dapat dilakukan pada suhu kamar (Darvina Y, 2018).

Pada penelitian ini peneliti ingin memfokuskan penelitian pada pengaruh variasi ukuran partikel ZnO terhadap morfologi, sifat optik pada lapisan tipis ZnO-GO. Lapisan tipis yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan spektrofotometri UV-Vis untuk memperoleh sifat optik dan band gap pada lapisan ZnO-GO. Dikarakterisasi menggunakan XRD (X-ray diffraction) untuk memperoleh hasil struktur kristal dan dikarakterisasi menggunakan SEM (Scanning Electron Mikroskop) untuk memperoleh analisa morfologi permukaan lapisan tipis ZnO-GO, ukuran butir partikel ZnO, dan ketebalan lapisan tipis.

METODE

Jenis penelitian yang telah dilakukan merupakan penelitian eksperimental laboratorium. Pada tahap preparasi sampel dan pengujian sampel dengan alat karakterisasi XRD dilakukan di Laboratorium Fisika Material dan Biofisika Departemen Fisika Universitas Negeri Padang. Proses sintesis lapisan tipis dilakukan Laboratorium di LLDIKTI Wilayah X, Padang. Pengujian sampel dengan alat karakterisasi UV-Vis dilakukan di Laboratorium Mineral dan Material Maju Universitas Negeri Malang. Pengujian sampel dengan alat karakterisasi SEM dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (PPPGL) Bandung. Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah HEM-3D, SEM, XRD, UV-Vis, Timbangan digital, Gelas Kimia, Spatula, Pipet Tetes, Gelas Ukur, Magnetic Stirer, Ultrasonic Cleaner, Spin Coating, Furnace, Oven, Substrat Kaca, Pinset. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu, Serbuk Seng Oksida (ZnO), Serbuk Oksida Grafena (GO), Isopropyl Alcohol, Aquades.

Penelitian ini terdapat tiga tahap, yaitu tahap pertama tahapan preparasi sampel serbuk ZnO. Sampel ZnO 2 gram sampel ZnO dimasukkan kedalam alat High Energy Milling dengan berat bola milling yaitu 20 gram (Siswanto & Hariyanto, 2020). ZnO di-milling dengan variasi waktu selama 2 jam, 4 jam, dan 6 jam. Ukuran partikel yang didapat dari hasil karakterisasi SEM berturut-turut yaitu (28.739 nm, 58.161 nm, 62.718 nm). Tahapan kedua yaitu persiapan perkusor. 0,1 gr bubuk GO dilarutkan dalam 50 ml isopropyl alcohol. Digerakkan dengan menggunakan ultrasonik cleaner selama 2 jam. 2 gr serbuk ZnO yang sudah divariasikan ukuran partikelnya (28.739 nm, 58.161 nm, 62.718 nm) dilarutkan dengan 50 ml isopropyl alcohol dan diaduk menggunakan magnetik stirer pada suhu 60 °C. Larutan diaduk terus-menerus selama satu jam dan kemudian didinginkan hingga suhu kamar (Paul et al., 2016) Lalu larutan GO dan ZnO dicampur hingga homogen selama 1 jam menggunakan magnetik stirer.

Tahapan ketiga yaitu pembuatan substrat Lapisan Tipis ZnO-GO. Substrat kaca dipotong dengan ukuran yang sama 2cm x 2cm. Kaca yang telah dipotong dibersihkan dengan alcohol menggunakan Ultrasonic Cleaner selama 1 jam, lalu substrat kaca dikeringkan dengan oven pada temperature 60°C selama 30 menit (Dafri, 2021). Deposisi lapisan tipis ZnO-GO dilakukan dengan menggunakan teknik *spin coating*. Kemudian meletakkan kaca preparat diatas *spin coating*. Kemudian substrat kaca diletakkan di atas *spin coating* lalu diteteskan perkusor diatas substrat sebanyak 10 tetes dan diputar dengan 3000 rpm selama 30 detik. Setelah itu, sampel dipanaskan menggunakan oven pada suhu 120 °C selama 10 menit. Kemudian lapisan tipis ZnO-GO dianil menggunakan furnace dengan suhu 400 °C selama 10 menit (Paul et al., 2016). Hasil dari lapisan tipis dari masing masing variasi ukuran partikel dapat dilihat pada gambar 1



Gambar 1. Hasil dari lapisan tipis dari masing masing variasi ukuran partikel

Berdasarkan gambar 2, dapat dilihat pola difraksi lapisan tipis ZnO-GO dengan 3 variasi ukuran partikel ZnO 28.739 nm; 58.161 nm; 62.718 nm. Pada setiap variasi terdapat puncak-puncak tertinggi. Puncak ini menandakan ketinggian intensitas dari tiap material yaitu ZnO, dan Graphene Oxide. Dilihat pada gambar 2, ada variasi 2 jam dengan ukuran partikel ZnO 28.739 nm. Pada variasi ukuran partikel ZnO 23.739 nm dengan waktu milling 2 jam yang terlihat pada Tabel bahwa hasil deposisi yang terbentuk 6 puncak yaitu pada sudut 29.5589°, 48.7383°, 36.1656°, 43.3596°, 36.1656°, 47.6831°. dengan FWHM masing-masing yaitu 0.1948°, 0.5196°, 0.1948°, 0.3897°, 0.1948°, 0.3897°. Pada variasi ukuran partikel ZnO 58.161 nm dengan waktu milling 4 jam. yang terlihat pada Tabel bahwa hasil deposisi yang terbentuk 8 puncak yaitu pada sudut 22.9500°, 26.4233°, 29.3097°, 29.30977°, 29.3097°, 43.1126°, 47.4822°, 48.4560°. dengan FWHM masing-masing yaitu 0.7793°, 0.0974°, 0.1624°, 0.3897°, 0.2598°, 0.3897°, 0.1984°, 0.1984°. Pada variasi ukuran partikel ZnO 62.718 nm dengan waktu milling 6 jam. yang terlihat pada Tabel bahwa hasil deposisi yang terbentuk 8 puncak yaitu pada sudut 35.925°, 47.444°, 29.2632°, 39.3641°, 48.5036°, 22.9165°, 26.4149°, 43.1242°. dengan FWHM masing-masing yaitu 0.2598°, 0.2598°, 0.2598°, 0.3897°, 0.3897°, 0.7793°, 0.1948°, 0.1984°.

Hasil analisis menunjukkan bahwa sudah terdapat puncak dari lapisan tipis ZnO-GO yang diinginkan masing-masing variasi ukuran partikel ZnO. Dilihat pada gambar 2, kristal Graphene Oxide memiliki puncak tertinggi ketiga variasi ukuran partikel. Variasi pertama ukuran partikel ZnO 23.739 nm dengan waktu milling 2 jam yaitu pada sudut 2θ 29.5589° pada orientasi [211] dengan struktur kristal *Cubic*, Pada variasi ukuran partikel ZnO 58.161 nm dengan waktu milling 4 jam, Pada sudut 2θ 29.2632° pada orientasi [113] dengan struktur kristal *Hexagonal*. Pada variasi ukuran partikel ZnO 62.718 nm dengan waktu milling 6 jam, Pada sudut 2θ 29.3097° pada orientasi [110] dengan struktur kristal *Cubic*. Kemudian data dari 2θ ini yang akan digunakan sebagai parameter dalam perhitungan ukuran kristal. dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Pengaruh ukuran partikel ZnO pada ukuran kristal lapisan tipis ZnO-GO

Ukuran Partikel ZnO (nm)	Ukuran Kristal (nm)
28.739 nm	27.20 nm
58.161 nm	29.87 nm
62.718 nm	38.52 nm

Perbedaan intensitas dan lebar puncak dari sudut-sudut difraksi ini disebabkan oleh perbedaan nilai ukuran Kristal yang dihasilkan pada setiap variasi ukuran partikel. Struktur Kristal untuk masing-masing Fasa berstruktur Rhombohedral, Cubic dan Hexagonal. Hal ini disebabkan karena pada serbuk ZnO diperkecil ukuran partikel dengan sintesis metode ball milling akan membuat terjadinya perubahan terhadap struktur, bentuk dan ukuran kristal yang diperoleh (Kolodziejczak-Radzimska & Jesionowski, 2014).

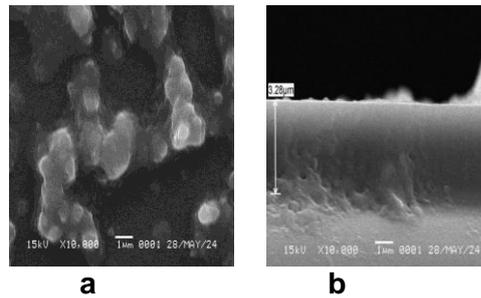
Selanjutnya uji Scanning Electron Microscope (SEM) dilakukan dengan perbesaran 10000x dengan tujuan untuk mengetahui struktur atau bentuk morfologi ketebalan lapisan tipis serta ukuran partikel. Untuk hasil dari uji SEM, lebih detailnya dapat dilihat pada tabel 2.

Table 2. Pengaruh ukuran partikel ZnO pada ukuran dan ketebalan pada lapisan tipis ZnO-GO

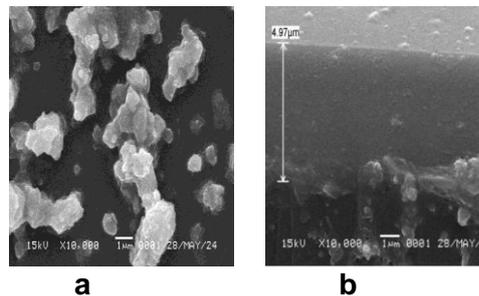
Ukuran ZnO (nm)	Ukuran partikel lapisan tipis (nm)	Ketebalan lapisan tipis (nm)
28.739 nm	52.689 nm	3.28 μ m
58.161 nm	63.339 nm	4.97 μ m
62.718 nm	71.818 nm	3.73 μ m

Hasil karakterisasi morfologi partikel ZnO menggunakan alat Scanning Electron Microscope (SEM). Variasi Ukuran Partikel ZnO Terhadap Ukuran partikel dan Morfologi permukaan Berdasarkan hasil karakterisasi diperoleh bentuk morfologi partikel lapisan tipis ZnO-GO seperti bulatan-bulatan lonjong akibat proses milling dengan permukaan yang tidak begitu rata.

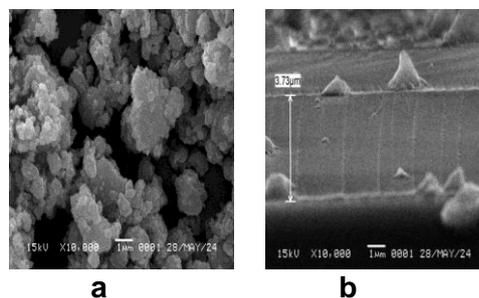
Perbedaan bentuk, ukuran dan morfologi partikel disebabkan oleh proses ball milling (Kolodziejczak-Radzimska & Jesionowski, 2014).



Gambar 3. a Morfologi dan 3 b ketebalan lapisan lapisan tipis ZnO-GO dengan variasi ukuran partikel ZnO 28.739 nm



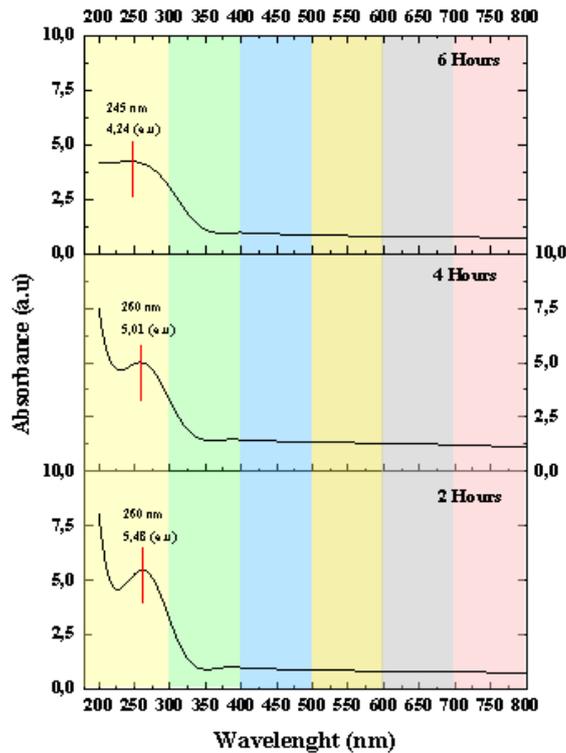
Gambar 4. a Morfologi dan 4 b ketebalan lapisan lapisan tipis ZnO-GO dengan variasi ukuran partikel ZnO 58.161 nm



Gambar 5. a Morfologi dan 5 b ketebalan lapisan lapisan tipis ZnO-GO dengan variasi ukuran partikel ZnO 62.718 nm

Berdasarkan gambar yang diperoleh. Pada morfologi partikel terdapat beberapa rongga dan permukaan yang tidak rata serta ada penggumpalan partikel. Pada setiap variasi ukuran terdapat penggumpalan tidak merata karena adanya penumpukan partikel disebut aglomerasi. Pada penelitian yang dilakukan oleh Storion & Giraldi, 2021 yang menyatakan struktur morfologi dari ZnO yang telah dimilling awalnya berbentuk acak menjadi berbentuk bulat lonjong tidak beraturan. Penelitian sebelumnya menunjukkan gumpalan yang terjadi pada partikel disebabkan karena proses sintesisnya. Gumpalan partikel ini terbentuk karena partikel yang belum homogen sehingga membentuk tumpukan yang tidak teratur (Faure et al., 2013). Penyebaran ZnO dan GO yang pada morfologi permukaan terlihat berbeda pada masing masing variasi, Sehingga juga mempengaruhi pada ketebalan lapisan tipis yang terbentuk.

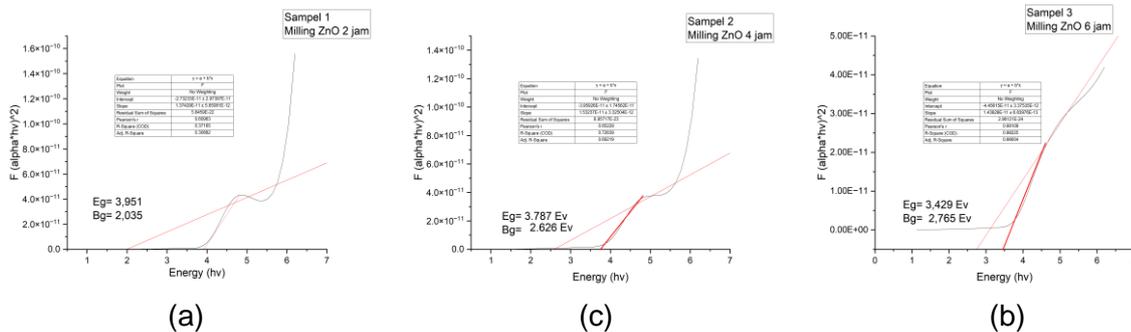
Hasil analisis pengujian spektrofotometri UV-Vis berbentuk spektrum absorbansi cahaya terhadap 3 variasi ukuran partikel ZnO. Spektrum absorbansi yang diukur pada rentang panjang gelombang 200-1100 nm untuk tiap sampel, Hubungan panjang gelombang dengan absorbansi dapat dilihat pada dibawah ini.



Gambar 6. Data Absorbansi lapisan tipis ZnO-GO dengan variasi ukuran partikel ZnO 28.739 nm milling 2 jam ; 58.161 nm milling 4 jam ; 62.718 nm milling 6 jam

Dari gambar 6 dapat dilihat hasil grafik UV-Vis untuk nilai absorbansi didapatkan puncak tertinggi pada panjang gelombang. Pada variasi waktu *milling* 2 jam dengan ukuran 28.739 nm. Didapat puncak absorbansi tertinggi yaitu 5.48% pada panjang gelombang 260 nm. Nilai absorbansi lapisan tipis ZnO-GO yang divariasikan ukuran partikelnya dengan metoda *milling*. variasi waktu *milling* 4 jam dengan ukuran 58.161 nm. didapat puncak absorbansi tertinggi yaitu 5.01% pada panjang gelombang 260 nm. Nilai absorbansi lapisan tipis ZnO-GO yang divariasikan ukuran partikelnya dengan metoda *milling*. variasi waktu *milling* 6 jam dengan ukuran 62.718 nm. didapat puncak absorbans tertinggi yaitu 4.24 % pada panjang gelombang 245 nm. Ini menunjukkan bahwa semakin berkurangnya ukuran partikel ZnO didapatkan nilai absorbansi yang semakin meningkat dan sebaliknya, hal ini diarenakan karena semakin kecilnya ukuran partikel ZnO maka luas permukaannya akan semakin besar sehingga cahaya yang serap akan semakin banyak sehingga energi yang banayak diserap. Ini sesuai dengan penelitian (Hanavi et al., 2019) Partikel ZnO dalam ukuran besar memiliki beberapa kelemahan seperti area permukaan per volume yang kecil. ZnO harus memiliki luas permukaan yang lebar agar cahaya yang terabsorpsi lebih banyak dan akan meningkatkan daya serap terhadap foton .Pada tiap variasi ukuran partikel nilai absorbansi tertinggi terdapat pada spektrum cahaya UV dengan rentang panjang gelombang pada 200 – 400 nm .

Kemudian dari data absorbansi dapat diketahui besar energi gap dengan menggunakan persamaan perhitungan metode Tauc Plot yang dilakukan pada aplikasi Origin. Penentuan nilai energi band gap ditentukan dengan melihat grafik linear hubungan E (eV) pada sumbu x dan $(\alpha h\nu)^{1/2}$ pada sumbu y (Daniyati et al., 2013). Berikut gambar grafik kurva tauc plot yang terbentuk .



Gambar 7. Kurva analisis UV-Vis (a) ZnO 28.739 nm milling 2 jam ; (b) 58.161 nm milling 4 jam; (c) 62.718 nm milling 6 jam

Nilai band gap yang didapatkan dengan variasi waktu ukuran partikel (28.739 nm, 58.161 nm, 62.718 nm) berturut yaitu 2,035 Ev, 2.626 Ev, 2,765 Ev. Berdasarkan gambar grafik kurva tauc plot, terlihat nilai band gap pada lapisan tipis ZnO-GO menurun dengan berkurangnya ukuran partikel pada ZnO. Berdasarkan grafik yang ditampilkan bahwa band gap tertinggi dimiliki oleh sampel 3 yakni sebesar 2,765 Ev. Sedangkan band gap terkecil dimiliki oleh sampel 1, yakni sebesar 2,035 Ev. Band gap yang rendah ini akan membuat lapisan tipis ZnO-GO lebih rentan menyerap foton Ketika hal itu terjadi sehingga lapisan tipis yang dihasilkan akan lebih tinggi dalam menyerap foton (Hanavi et al., 2019). Berdasarkan pengukuran band gap pada sampel, maka sampel 1 yang terbaik, Band gap yang kecil menyebabkan semakin mudahnya eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi (Virrisya & Astuti, 2019).

SIMPULAN

Penelitian ini mengeksplorasi karakteristik lapisan tipis ZnO-GO dengan variasi ukuran partikel ZnO, yakni (28.739 nm, 58.161 nm, 62.718 nm), melalui analisis pola difraksi sinar-X (X-RD), Scanning Electron Microscope (SEM), dan Spektrofotometri UV-Vis (Ultra Violet-Visible). Hasil analisis X-RD menunjukkan bahwa ukuran partikel ZnO mempengaruhi ukuran kristal yang seiring bertambahnya ukuran partikel ZnO, kristal Graphene Oxide memiliki puncak tertinggi ketiga variasi ukuran partikel, dengan struktur kristal berupa *hexagonal dan Cubic*. Dari gambar terlihat bahwa semakin berkurangnya ukuran partikel ZnO maka pada ukuran partikel pada lapisan tipis ZnO-GO juga berkurang, Serta morfologi dari lapisan tipis dengan penyebaran ZnO dan GO yang bervariasi dari setiap variasi sampel, sehingga ketebalan lapisan tipis ZnO-GO juga bervariasi, Ini. Selanjutnya, analisis UV-Vis menunjukkan variasi ukuran partikel mempengaruhi bahwa semakin berkurangnya ukuran partikel ZnO didapatkan nilai absorbansi yang semakin meningkat, Akan tetapi pada penelitian ini tiap variasi ukuran partikel nilai absorbansi tertinggi terdapat pada spektrum cahaya masih pada daerah UV dengan rentang panjang gelombang pada 200 – 400 nm, Daerah penyerapan belum pada daerah cahaya tampak. Serta nilai energi band gap lapisan tipis ZnO-GO dengan nilai yang semakin menurun dengan berkurangnya ukuran partikel yaitu dari 2,765 eV menjadi 2,035 eV, Band gap yang rendah ini akan membuat lapisan tipis ZnO-GO lebih rentan menyerap foton sehingga lapisan tipis yang dihasilkan akan lebih tinggi dalam menyerap foton. mengindikasikan peluang untuk dijadikan sebagai semikonduktor pada sel surya. Ukuran partikel yang divariasikan menggunakan metode milling mengalami kenaikan seiring bertambahnya waktu milling. Pada preparasi sampel dalam memperkecil ukuran partikel ZnO dengan metode milling, ukuran partikel membesar pada proses milling 4 jam dan 6 jam. Ukuran partikel yang membesar disini terjadi karena lama waktu untuk proses milling sudah mencapai maksimum penggilingan. Sampel yang masih dimilling melewati batas waktu maksimum tersebut akan membuat terjadinya aglomerasi material, menyebabkan akumulasi cacat pada kristal, gangguan struktur pada material yang di milling (Siswanto & Hariyanto, 2020), dan tumbukan antar partikel nano yang pada akhirnya membuatnya menjadi menggumpal (Hui et al., 2015).

DAFTAR PUSTAKA

- Dafri, Z. (2021). Pengaruh Variasi Komposisi Lapisan Nanokomposit MnOFe₂O₃/Ps Terhadap Sifat Fotokatalis Sebagai Self Cleaning. Univeristas Negeri Padang.
- Daniyati, R., Zharvan, V., Ichsan, N., Hadi Pramono, Y., & Yudoyono, G. (2013). Penentuan Energi Celah Pita Optik Film TiO₂ Menggunakan Metode Tauc Plot. *Prosiding Seminar Sains Dan Teknologi*, 1–5.
- Darvina, Y., Ramli., Rahmi. (2018). Analisis Sifat Listrik Nanokomposit Fe₃O₄/PVDF Yang Disintesis Dengan Metode Sol Gel Untuk Aplikasi Elektroda Baterai Lithium ION Rahmi *), Ramli dan Yenni Darvina. *Pillar of Physics*, 11(2), 73–80.
- Listiorini, Dwi Fahyuan, H., & Ngatijo, . (2018). Pengaruh Doping Al Terhadap Band Gap Energy Lapisan Tipis ZnO. *JoP*, 4(1), 24–29.
- Faure, B., Salazar-alvarez, G., & Ahniyaz, A. (2013). Dispersion and surface functionalization of oxide nanoparticles for transparent photocatalytic and UV-protecting coatings and sunscreens. *Sci. Technol. Adv. Mater.*, 14(023001). <https://doi.org/10.1088/1468-6996/14/2/023001>
- Hanavi, D. P., Afrilia, C. G., Safriani, L., & Aprilia, A. (2019). Sintesis Zno Serbuk Dan Penggunaannya Sebagai Fotoanoda Pada Sel Surya TersensitisasiWarna. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 9(01), 44. <https://doi.org/10.24198/jmei.v9i01.24323>
- Hernowo, A., & Nurhasanah, I. (2019). Kristalinitas Dan Nanopartikel ZnO Yang Dikalsinasi Pada Temperatur 100°C dan 200° C. *Berkala Fisika*, 22(4), 125–131.
- Hui, Z., Kumar, A., Wan, P., & Heng, S. (2015). ScienceDirect Overview of milling techniques for improving the solubility of poorly water-soluble drugs. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 10(4), 255–274. <https://doi.org/10.1016/j.ajps.2014.12.006>.
- Jaslia, N. Z., & Astuti, A. (2017). Pengaruh Lapisan Penyangga SnO₂ dan ZnO Terhadap Sifat Optik Lapisan Tipis TiO₂. *Jurnal Fisika Unand*, 6(1), 33–38. <https://doi.org/10.25077/jfu.6.1.33-38.2017>.
- Kolodziejczak-Radzimska, A., & Jesionowski, T. (2014). Zinc oxide-from to application: A review. *Materials*, 7(4), 2833–2881. <https://doi.org/10.3390/ma7042833>.
- Marcelina, V., Yuliasari, F., Hartati, Y. W., Fitrilawati, F., & Syakir, N. (2017). Pembuatan Lapisan Tipis Oksida Grafena Tereuksi sebagai Material Elektroda Sistem Kapasitor dan Karakterisasinya. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 13(3), 112. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v13i3.2841>
- Paul, R., Gayen, R. N., Biswas, S., Bhat, S. V., & Bhunia, R. (2016). Enhanced UV detection by transparent graphene oxide/ZnO composite thin films. *RSC Advances*, 6(66), 61661–61672. <https://doi.org/10.1039/c6ra05039e>.
- Rizaldi, D. R., Doyan, A., & Susilawati, S. (2021). Sintesis Lapisan Tipis TiO₂:(F+In) Pada Substat Kaca Dengan Metode Spin-Coating Sebagai Bahan Sel Surya. *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi Dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 7(1), 219. <https://doi.org/10.31764/orbita.v7i1.4655>.
- Sinaga, P. (2009). Pengaruh Temperatur Annaeling Terhadap Struktur Mikro, Sifat Listrik Dan Sifat Optik Dari Film Tipis Oksida Konduktif Transparan ZnO:Al Yang Dibuat Dengan Teknik Screen Printing 14(2), 51–59.
- Sinaga, Z., & Joniwarta, J. (2020). Analisis Ukuran Kristal Dan Sifat Magnetik Melalui Proses Pemesinan Milling Menggunakan Metode Karakterisasi Xrd, Mechanical Alloying, Dan Ultrasonik Tekanan Tinggi Pada Material Barium Hexaferrite (Bafe₁₂o₁₉). *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 5(1), 9–14. <https://doi.org/10.52447/jktm.v5i1.2372>.
- Siswanto, & Hariyanto, M. (2020). Synthesis of ZnO Nanoparticles Using Mechano- Chemical Method by Utilizing 3D HEM (High Energy Milling). *Journal of Physics: Conference Series*, 1445(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1445/1/012014>.
- Storion, A. G., Pallone, E. M. de J. A., Giraldi, T. R., & Maestrelli, S. C. (2021). Influence of the shaker mill in the properties of ZnO processed by high energy milling. *Research, Society and Development*, 10(12), e476101220855. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.208>.
- T. Haryono, A. F. J. , S. P. . (2015). Optimalisasi Energi Terbarukan pada Pembangkit Tenaga Listrik dalam Menghadapi Desa Mandiri Energi di Margajaya. *Semesta Teknika*, 15(1), 22–34. <https://doi.org/10.18196/st.v15i1.440>

Virrisya, V., & Astuti, A. (2019). Karakterisasi Sifat Optik Nanopartikel ZnO didoping Mn Menggunakan Metode Sol-Gel. *Jurnal Fisika Unand*, 8(4), 308–314.
<https://doi.org/10.25077/jfu.8.4.308-314.2019>