

STUDI PROSES SINTESIS SERBUK NANO ZnO BESERTA KARAKTERISASI

CHOIRY GINA AFRILIA, DAVI PUTRI HANA VI, ANNISA APRILIA*, LUSI SAFRIANI,
AYI BAHTIAR

*Departemen Fisika Fakultas MIPA Universitas Padjadjaran,
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21, Jatinangor 45363*

**email : a.aprilia@phys.unpad.ac.id*

Abstrak. Studi pembuatan beserta karakterisasi serbuk ZnO berukuran sub-nano telah berhasil dilakukan. Untuk mengetahui sifat optik, morfologi serta struktur dari serbuk ZnO, dilakukan beberapa karakterisasi menggunakan spektroskopi UV-Vis, spektroskopi FTIR, spektroskopi fotoluminesensi (PL), *scanning electron microscopy* (SEM), *tunnelling electron microscopy* (TEM) dan difraksi sinar-X (XRD). Berdasarkan spektrum absorbansi dan fotoluminesensi, energi gap nanopartikel ZnO sekitar 3,25 eV. Puncak emisi yang teramati pada panjang gelombang daerah ultra-violet (381 nm) berkaitan dengan nilai energi gap. Sedangkan puncak emisi pada daerah hijau-kuning menunjukkan *defect* berupa *oxygen vacancy* dan *surface trap*. Hasil karakterisasi FTIR, ikatan Zn-O telah terbentuk dan mendominasi, meskipun masih adanya keberadaan gugus karbonil yakni ikatan C=O dan ikatan C-O. Hal tersebut kemungkinan besar berkaitan dengan proses pemanasan yang hanya mencapai 150°C. Sedangkan, kemurnian tinggi dimiliki film tipis yang ditandai dengan ketidakterdapatannya gugus karbonil pada spektrum FTIR dan hanya menyisakan gugus Zn-O saja. Berdasarkan karakterisasi SEM dalam bentuk film tipis, ukuran partikel yang dapat teramati berkisar 50 nm. Sedangkan berdasarkan hasil pengukuran menggunakan TEM pada serbuk ZnO, ukuran partikel terkecil berkisar 15 nm. Berdasarkan hasil karakterisasi XRD dapat diketahui serbuk nano dan lapisan tipis ZnO memiliki struktur kristal *hexagonal wurtzite*.

Kata kunci: serbuk nano ZnO, material semikonduktor, lapisan tipis, sol-gel

Abstract. Synthesis and characterizations of ZnO nano powder and ZnO thin film have been successfully done. In order to observe characteristics of ZnO nanopowder, the characterizations using UV-Vis spectroscopy, photoluminescence spectroscopy, and FTIR were carried out. The structural and morphology both of ZnO nanopowder and thin film were investigated using scanning electron microscopy (SEM), tunnelling electron microscopy (TEM) and X-ray diffraction (XRD). Based on absorbance and PL spectra, the resulted of ZnO nanopowder has an energy gap between 3.25 eV. The emission spectrum around UV wave length relates to energy gap and emission in visible wave length is relate to the native defect such as oxygen vacancy and surface trap. From FTIR measurement of ZnO nanopowder, the Zn-O bond is detected and dominated although the carbonil bond such as C=O and C-O were also identified. The identified of carbonil bonds was strongly related to the low temperature annealing treatment that assumed can't be eliminate rest reaction product completely. In the other hand, FTIR spectrum of ZnO thin film only shows Zn-O bond and carbonil. From SEM and TEM characterization, the particle size of ZnO thin film is around 50 nm, while the ZnO nanopowder shows 15 nm in size. The crystal structure of both samples is identified as hexagonal wurtzite.

Keywords: ZnO nanopowder, semiconducting material, thin film, sol-gel

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi semakin meningkat dengan penemuan-penemuan baru untuk mempermudah hidup manusia. Salah satu kemajuan teknologi yang masih terus berkembang pesat hingga saat ini adalah perkembangan bidang nanoelektronik dan material fisika berskala nano [1]. Nanoelektronik merupakan istilah yang digunakan untuk mendefinisikan nanoteknologi dalam komponen elektronik [2]. Istilah ini mencakup beragam perangkat dan beragam bahan dengan karakteristik umum berbeda. Karakteristik umum tersebut memiliki interaksi inter-atom serta sifat mekanika kuantum yang perlu dipelajari secara lebih luas dan diaplikasikan di berbagai aplikasi elektronik [2]. Selain itu, kemajuan teknologi nano juga telah menyebabkan perbedaan sifat yang cukup signifikan pada sistem bahan berskala nano [1]. Salah satu jenis material yang dapat dibuat menjadi berbagai morfologi dalam skala nano adalah *Zinc Oxide* (ZnO). Material ini dapat dibentuk menjadi *nanorods*, *nanowire*, *nanotube*, *nanodiscs*, *nanokristal* dan *nanosheet* [3]. ZnO merupakan jenis dari semikonduktor golongan II-VI yang memiliki *bandgap* sekitar 3,37 eV dan energi ikat eksiton yang cukup besar dibandingkan dengan material semikonduktor lainnya yaitu 60 meV [4]. ZnO banyak diminati karena memiliki sifat elektronik, optik, dan fotonik yang cukup baik [4]. Oleh sebab itu, material ini sering dipelajari sebagai material aktif pada perangkat *optoelectronic*, *transparent conduct*, dan *piezoelectric material* [5].

Struktur nano yang dimiliki ZnO satu dimensi (*nanorods*, *nanowires*, dan *nanotube*) dapat memfasilitasi transport pembawa muatan yang lebih efisien karena memiliki batas butir yang lebih rapat [6]. ZnO memiliki banyak keunggulan di berbagai bidang aplikasi. Salah satunya sebagai sensor gas, fotoanoda pada sel surya, laser UV, dioda pemancar cahaya, nanogenerator, *photodetector*, dan fotokatalis [7]. Struktur nano-ZnO dapat disintesis menggunakan berbagai metode seperti evaporasi termal, *molecular beam epitaxy* (MBE), deposisi elektrokimia, *spray pyrolysis*, dan *sol-gel*. Dari beberapa metode tersebut, metode *sol-gel* merupakan metode yang relatif sederhana dengan biaya yang relatif murah diantara metode lainnya [6].

Metode *sol-gel* merupakan metode kimia berbasis larutan yang digunakan untuk pembuatan keramik, hibrida organik-anorganik, dan lain-lain [8]. *Sol* sendiri adalah partikel koloid atau polimer yang terdispersi secara stabil dalam suatu pelarut, sedangkan gel merupakan bahan semipadat yang jernih, tembus cahaya, dan mengandung zat aktif [9]. Metode *sol-gel* dapat digambarkan dengan pembentukan jaringan oksida melalui reaksi polikondensasi dari prekursor molekuler dalam cairan [9]. Metode *sol-gel* memiliki berbagai keunggulan yaitu kemudahan modifikasi komposisi, kemudahan modifikasi ukuran partikel, dapat di sintesis pada suhu pemanasan yang relatif rendah, dan penggunaan peralatan yang relatif sederhana dan murah [10]. Berdasarkan latar belakang tersebut maka pada penelitian ini dilakukan studi pembuatan serbuk nano dan lapisan tipis ZnO yang disintesis menggunakan metode *sol-gel* dan proses pemanasan (*annealing*) suhu rendah (150°C) beserta karakterisasinya. Pemanasan suhu rendah tersebut berkaitan untuk meningkatkan sifat dispersitas ZnO pada pelarut organik, sehingga mudah digunakan di berbagai aplikasi, diantaranya adalah pada sel surya hybrid dan fotokatalis [11,12].

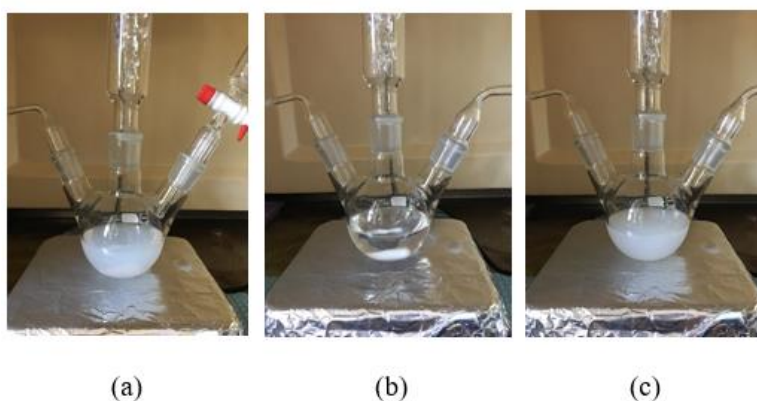
2. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan untuk pembuatan serbuk nano ZnO adalah 5 mmol *Zinc Acetate Dihydrate* ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), methanol sebagai pelarut, 7,2 mmol NaOH dan n-hexan (Merck). Sedangkan untuk membuat lapisan tipis, terlebih dahulu dibuat pasta ZnO yang berasal dari serbuk nano ZnO. Dalam pembuatan pasta ZnO, bahan yang digunakan adalah triton-X (sigma-aldrich) sebagai surfaktan, dan *acetylacetone* (Merck) sebagai pelarut.

Proses sintesis serbuk nano ZnO menggunakan perangkat alat refluks untuk memfasilitasi proses hidrolisis dan kondensasi. Proses pencucian dilakukan dengan mencampurkan pelarut methanol dan n-hexane serta dilakukan secara berulang. Proses pendispersian gel ZnO dilakukan dengan bantuan alat *ultrasonic bath* sedangkan proses pemisahan pelarut dengan endapan gel ZnO menggunakan sentrifugator. Serbuk ZnO yang dihasilkan kemudian dipanaskan di dalam oven vakum. Sedangkan untuk preparasi lapisan tipis, pemanasan yang dilakukan menggunakan *furnace*.

Karakterisasi yang dilakukan meliputi karakterisasi optik, struktur Kristal dan morfologi. Alat pengukuran yang digunakan adalah Spektroskopi UV-Vis, Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infra Red*), Spektroskopi PL (*Photo Luminescence*), XRD (*X-Ray Diffraction Spectroscopy*), SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan TEM (*Tunnelling Electron Microscopy*).

Proses sintesis ZnO serbuk nano dengan proses pemanasan suhu rendah merupakan pengembangan dari penelitian kami sebelumnya [12]. Senyawa Zn acetat dihidrat dilarutkan dengan methanol menggunakan pengaduk magnetik pada suhu 64°C . NaOH yang sebelumnya telah dilarutkan oleh metanol di tambahkan secara perlahan-lahan menggunakan buret. Pengadukan dilakukan selama 1 jam hingga didapatkan larutan yang bening sempurna (Gambar 1). Selanjutnya adalah tahap pengendapan, larutan dibiarkan selama kurang lebih 2-3 hari agar didapatkan endapan putih. Selanjutnya endapan tersebut didispersikan dengan metanol dan n-hexane dengan perbandingan volume 1:1. Selanjutnya adalah pembilasan dan pemisahan gel ZnO dari pelarut (metanol dan n-hexane) menggunakan sentrifugator dengan kecepatan 3500 rpm selama 10 menit. Pencucian dilakukan secara berulang yang dilanjutkan pada pemanasan menggunakan oven vakum selama 8 jam pada suhu 150°C .

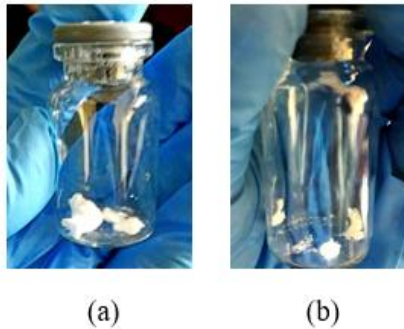


Gambar 1. Proses sintesis larutan yang bereaksi pada sistem refluks menggunakan metode sol-gel
(a) Proses hidrolisis (b) Proses kondensasi (c) Proses kondensasi lanjutan

Preparasi ZnO dalam bentuk lapisan tipis yaitu dengan mencampurkan serbuk nano ZnO (0,2 g) yang telah kering dengan surfaktan triton-x (0,063 ml), acetylacetone (0,019 ml) dan air terdeionisasi (0,16 ml). Setelah didapatkan ZnO dalam bentuk pasta, dilakukan pelapisan dengan menggunakan teknik *screen printing*. Lapisan tipis ZnO kemudian di kalsinasi menggunakan furnace pada suhu 500°C selama 30 menit.

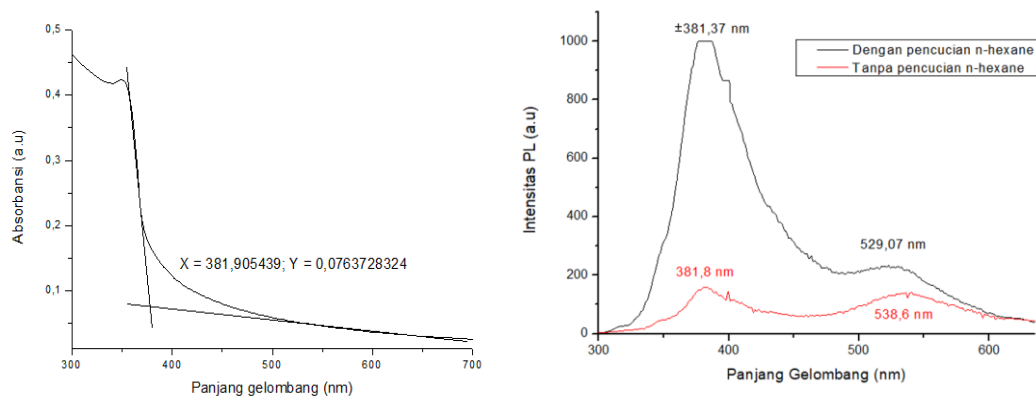
3. Hasil dan Pembahasan

Secara sederhana, proses pembentukan partikel ZnO yaitu dengan menggunakan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sebagai sumber ion Zn^{2+} yang akan melepaskan ion-ion OH^- melalui dekomposisi termal. Inti ZnO terbentuk dari endapan yang terdeposisi pada substrat dan kemudian tumbuh menjadi kristal sebagai hasil akhir yang diinginkan pada proses sintesis. Serbuk nano ZnO yang dihasilkan berwarna putih dengan yield sebesar 5 %. Setelah proses pemanasan selesai dilakukan, endapan gel akan berubah menjadi lebih padat dan kering (Gambar 2).



Gambar 2. Hasil endapan nanopartikel ZnO (a) Sebelum dipanaskan (b) Setelah dipanaskan.

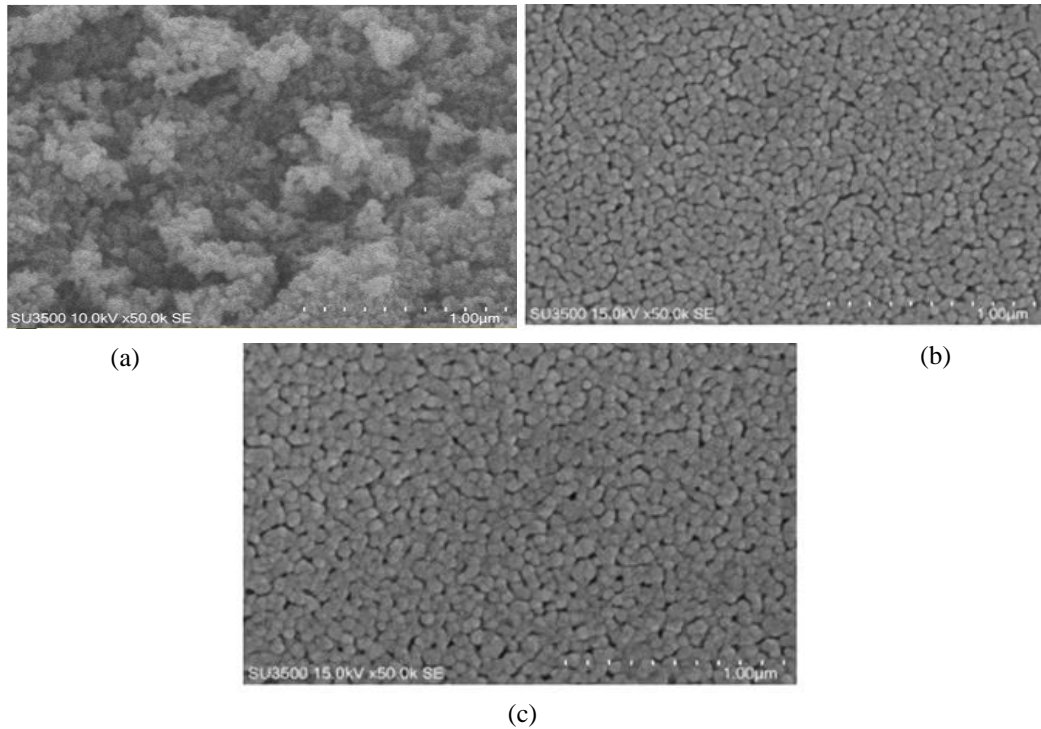
Gambar 3 (a) menunjukkan hasil spektrum absorbansi larutan dispersi serbuk nano ZnO dalam pelarut ethanol. Spektrum absorbansi terjadi pada rentang panjang gelombang sinar UV yaitu 300 nm-400 nm. Puncak absorbansi terbentuk pada panjang gelombang 350 nm untuk serbuk ZnO dengan tahap pencucian menggunakan n-hexane dan 358 nm untuk serbuk nanopartikel ZnO tanpa melalui tahap pencucian. Selain itu, didapat juga panjang gelombang *cut-off* dengan menarik garis antara sumbu-x (panjang gelombang) dan sumbu-y (serapan) pada kemiringan spektrum, didapat panjang gelombang *cut-off* pada 381,62 nm untuk serbuk ZnO dengan pencucian menggunakan n-hexane dan 381,80 nm untuk serbuk nanopartikel ZnO tanpa pencucian. Berdasarkan spektrum absorbansi, energi gap untuk serbuk ZnO dengan dan tanpa pencucian memiliki nilai yang sama yaitu sekitar 3,25 eV.



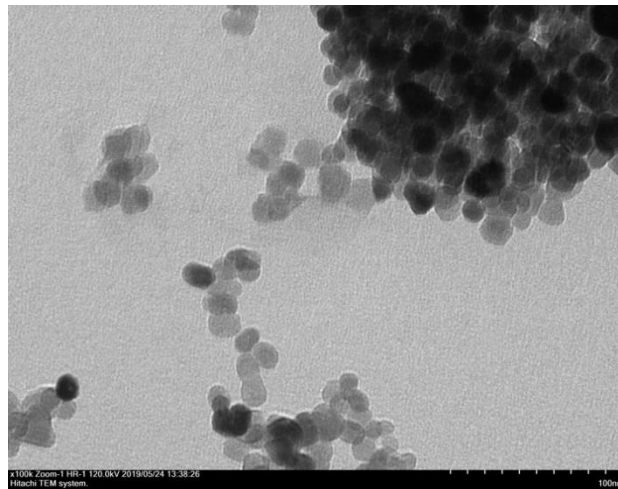
Gambar 3. (a) Spektrum absorbansi dan (b) Spektrum emisi (fotoluminesensi) untuk serbuk ZnO terdispersi dalam methanol.

Spektrum emisi dari serbuk ZnO dilakukan pada suhu kamar dengan daerah panjang gelombang 300nm - 650nm menggunakan panjang gelombang eksitasi sebesar 325 nm. Spektrum emisi dari serbuk ZnO dan membandingkan antara yang dengan dan tanpa proses pencucian diperlihatkan pada gambar 3 (b). Grafik spektrum emisi serbuk ZnO dengan pencucian n-hexane memperlihatkan adanya puncak emisi dengan intensitas cukup besar pada daerah sinar UV (200 nm-400 nm), sedangkan puncak lainnya teramati pada daerah emisi hijau-kuning (495 nm - 590 nm). Intensitas pada panjang gelombang daerah UV berkaitan langsung dengan nilai energi gap. Serbuk ZnO dengan proses pencucian n-hexane diasumsikan memiliki kualitas kristal yang lebih baik berkaitan dengan lebih tingginya intensitas emisi pada panjang gelombang UV. Puncak lain yang muncul pada rentang cahaya tampak, berkaitan dengan cacat alami (native defect) yaitu berupa kekosongan oksigen (*oxygen vacancy*). Cacat lain berupa surface trap muncul pada sampel serbuk ZnO yang tidak melalui proses pencucian. Selain itu, nilai energi gap dapat pula ditentukan dari spectrum emisi, yaitu sebesar 3,25 eV. Nilai energi gap tersebut dapat dikonfirmasi dengan hasil energi gap yang didapat pada pengukuran menggunakan spektroskopi UV-Vis, dimana terdapat kesamaan nilai energi gap pada dua sampel berdasarkan dua pengukuran yang berbeda.

Serbuk ZnO kemudian dikarakterisasi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dengan hasil diperlihatkan pada Gambar 4. Morfologi ZnO serbuk dan lapisan tipis membentuk *spheris*. Ukuran yang dapat teridentifikasi pada hasil SEM untuk sampel serbuk tidak dapat diamati secara jelas. Sedangkan dalam bentuk lapisan tipis yang dibuat dari fasa pasta adalah sekitar 50 nm. Sedangkan lapisan tipis yang dibuat dari fasa gel, yaitu endapan setelah proses pencucian memperlihatkan ukuran partikel sekitar 70 nm. Kedua sampel memperlihatkan lapisan yang baik dan homogen. Perbedaan ukuran bulir yang teramati melalui pemindaian SEM pada sampel lapisan tipis disebabkan oleh penggunaan surfaktan dan pelarut, ketika proses pembuatan pasta. Fungsi dari triton-X sebagai surfaktan adalah mencegah partikel ZnO untuk saling menyatu dan teraglomerasi. Hasil pemindaian menggunakan TEM untuk sampel serbuk dapat dilihat pada Gambar 5. Terlihat bahwa ukuran partikel ZnO yang terbentuk sekitar 15 – 20 nm.



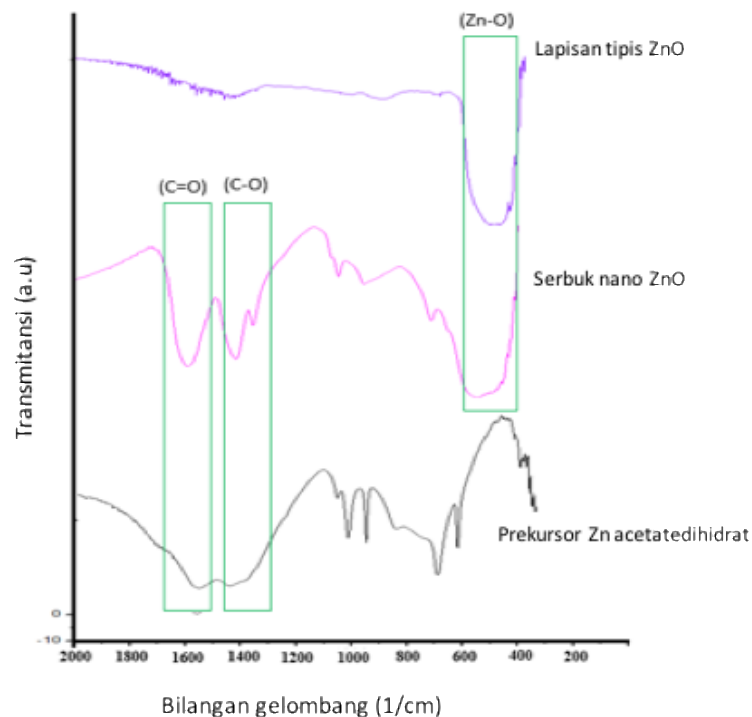
Gambar 4. Hasil pemindaian SEM (scanning electron microscopy), (a) Serbuk ZnO, (b) Lapisan tipis ZnO yang terbuat dari pasta ZnO dan (c) gel endapan setelah proses pencucian.



Gambar 5. Hasil pemindaian TEM (tunneling electron microscopy) untuk sampel serbuk ZnO dengan tahap pencucian lengkap.

Pengukuran menggunakan FTIR (Gambar 6) dilakukan untuk mengetahui impuritas dari senyawa yang telah disintesis, dimana terdapat tiga buah puncak dominan diamati untuk dianalisa. Tiga buah puncak tersebut terdiri dari 2 puncak karbonil dan 1 ikatan ZnO. Ikatan karbonil yang didapat dari grafik yaitu ikatan C=O pada bilangan gelombang 1562 cm^{-1} - 1577 cm^{-1} dan ikatan C-O pada bilangan gelombang 1425 cm^{-1} - 1446 cm^{-1} . Ikatan Zn-O didapat pada bilangan gelombang 470 cm^{-1} . Spektrum FTIR *Zinc Acetate Dihydrate* didominasi oleh puncak karbonil dan ketidakberadaan puncak Zn-O. Pada sampel serbuk, terdapat spektrum yang

menunjukkan ikatan Zn-O yang mendominasi gugus ikatan lainnya. Ikatan gugus karbonil teridentifikasi pada bilangan gelombang 1562 cm^{-1} - 1577 cm^{-1} dan 1425 cm^{-1} - 1446 cm^{-1} . Proses pemanasan rendah menyebabkan gugus karbonil pada sampel serbuk ZnO masih teramati. Walaupun demikian, adanya pengurangan kedalaman puncak karbonil dimiliki oleh serbuk ZnO jika dibandingkan dengan prekursor *Zinc Acetate Dihydrate*. Hal tersebut menyatakan bahwa proses sintesis suhu rendah dapat mengurangi puncak karbonil dan membentuk puncak ikatan Zn-O. Sedangkan sampel ZnO dalam bentuk lapisan tipis memiliki kemurnian yang sangat baik, terlihat dari spektrum FTIR seluruh gugus karbonil yang ada telah hilang dan menyisakan Zn-O. Hal tersebut berkaitan dengan proses pemanasan sampai dengan temperatur 500°C ketika proses pembentukan lapisan tipis.

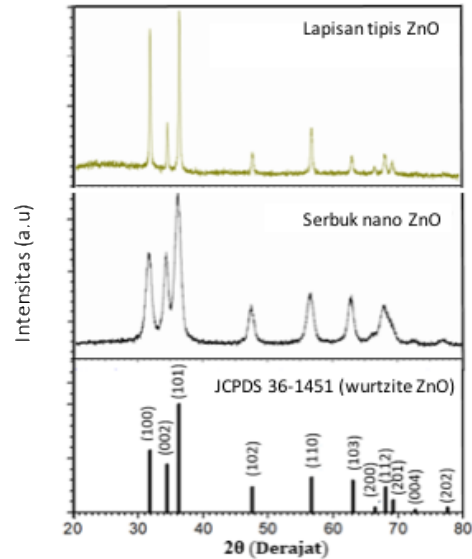


Gambar 6. Spektrum FTIR dari senyawa prekursor, serbuk nano dan lapisan tipis ZnO.

Hasil karakterisasi struktur Kristal dapat dilihat pada Gambar 7, terlihat bahwa ketiga sampel telah menunjukkan pola difraksi sama. Pola difraksi yang menunjukkan puncak refleksi pada bidang hkl berturut-turut adalah (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201), (004), (202). Pola tersebut menunjukkan bahwa senyawa yang dikarakterisasi merupakan ZnO dengan struktur *hexagonal wurtzite*, walaupun pada serbuk nanopartikel ZnO tidak terdapat dua puncak pada bidang hkl (201) dan (200) melainkan satu puncak melebar pada bidang hkl (112). Ketajaman grafik spektrum XRD berkaitan dengan kualitas kristalinitasnya. Ketajaman puncak juga berkaitan dengan lebar kurva atau yang sering disebut sebagai lebar penuh pada setengah maksimum FWHM (*full width half maximum*). Nilai FWHM berkaitan dengan ukuran diameter kristal, semakin besar FWHM maka ukuran diameter kristal yang didapat akan semakin kecil, hasil pengukuran diameter Kristal dapat diperlihatkan pada Tabel 1. Diketahui bahwa berdasarkan hasil perhitungan menggunakan formula *debye-scherrer* (persamaan 1), ukuran kristalin serbuk ZnO

lebih kecil dari ukuran kristalin film tipis ZnO. Hal tersebut dikarenakan pada proses pembuatan film tipis, diperkirakan terjadi aglomerasi pada saat proses pemanasan berlangsung.

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



Gambar 7. Spektrum difraksi sinar-X untuk lapisan tipis dan serbuk nano ZnO, keduanya memiliki struktur kristal heksagonal wurtzite sesuai dengan JCPDS 36-1451.

Tabel 1. Perhitungan Ukuran Kristalin pada Orientasi Kristal (100) dan (101)

Jenis Sampel	Orientasi Kristal	2 θ (°)	FWHM (°)	B (Rad)	Ukuran Kristalin (nm)
Serbuk ZnO	(100)	31,625	0,92	0,008915	17,90
	(101)	36,2083	0,97	0,00889	17,19
Film Tipis Pasta ZnO	(100)	31,877	0,2757	0,002412	59,775
	(101)	36,377	0,38553	0,00337	43,276

4. Kesimpulan

Serbuk nano ZnO dan lapisan tipisnya telah berhasil disintesis dan dipreparasi menggunakan metode *sol-gel* dengan pemanasan suhu rendah beserta karakterisasinya. Berdasarkan dari studi pada hasil karakterisasi ketika tahap sintesis berlangsung, diketahui bahwa nilai energi gap ZnO serbuk baik yang melewati tahap pencucian atau tidak, bernilai 3,25 eV. Emisi pada panjang gelombang hijau-kuning menunjukkan kecacatan (*native defect*) berupa *oxygen vacancy*, dimana pada sampel tanpa pencucian, terdapat defect lain yaitu berupa *surface trap*. Berdasarkan hasil pengukuran FTIR, ikatan Zn-O mendominasi pada

serbuk ZnO dan film tipis. Kemurnian tinggi dimiliki sampel film tipis, sedangkan pada sampel serbuk masih terdapat gugus karbonil yakni ikatan C=O dan ikatan C-O yang merupakan hasil sisa sintesis yang belum sepenuhnya hilang. Hasil karakterisasi TEM untuk sampel berbentuk serbuk, memperlihatkan ukuran partikel sekitar 15 – 20 nm dengan distribusi ukuran yang tidak homogen. Sedangkan untuk sampel lapisan tipis, hasil pemindaian dengan SEM memperlihatkan ukuran partikel yang dimiliki sekitar 50 nm. Struktur Kristal serbuk ZnO dan lapisan tipisnya memiliki struktur kristal *hexagonal wurtzite* dan sesuai dengan puncak-puncak difraksi standar ZnO (JCPDS no 361451).

Ucapan Terima kasih

Penelitian ini terlaksana dengan sumber dana yang berasal dari penelitian dasar unggulan perguruan tinggi (PDUPT) tahun anggaran 2018 dan 2019, sesuai no. Kontrak 1077/UN6.D/LT/2018 dan 2783/UN6.D/LT/2019.

DaftarPustaka

1. S. G. Tan, M.B.A. Jali, Introduction to the Physics of Nanoelectronics, Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, volume A, Book, 2012.
2. M. Nicholas, B. Akram, D. Frederic, G. Brian, B.A. Antonio, P. Pierre, Ultrahigh-Density Nanowire Lattices and Circuits, Science, Vol. 300, Issue 5616 (2003) pp. 112-115.
3. W.P, Primawati, Fabrikasi sel surya semi padat tersensitisasi dye menggunakan bahan spiro sebagai hole transport material. Skripsi Fisika Unpad, 2016.
4. R. N. Syafinaz, R. Khairunisak, L. Zainovia, A.A. Abdul, Structural and morphology of ZnO nanorods synthesized using ZnO seeded growth method and its properties as UV sensing, Research Articles PLOS ONE 7 (2012) pp.11.
5. Y. Zhang, T. R. Nayak, H. Hong, W. Cai, Biomedical Applications of Zinc Oxide Nanomaterials, Curr Mol Med, (2013) pp.1633–1645,.
6. R. N. Syafinaz, Y.P. Fong, L. Zainovia, K.A. Razak, Formation of ZnO nanorods via seeded growth hydrothermal reaction. In Applied Mechanics and Materials, Applied Mechanics and Materials, Vol. 83 (2011) pp.116-122.
7. Y. Zhang, M. K. Ram, E. K. Stefanakos, D. Y. Goswami, Synthesis, Characterization, and Applications of ZnO Nanowires, Journal of Nanomaterials, Volume 2012, Article ID 624520 (2012) 22 pages.
8. F. Peikani, S. F. Rezaie. HR, G. Fard, The Synthesis of Mesoporous SiO₂/TiO₂ Composite Particles by Sol-Gel Method and Effect of Hexane on its Structural Properties, J Bioengineer & Biomedical Sci. (2016) 6:179.
9. S. S. Pooyan, Sol-gel process and its application in Nanotechnology, Journal of Polymer Engineering and Technology (2005) pp.38-41
10. K.P. Jong, Synthesis of solid catalyst, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Book, 2009.
11. I. Riza, E. Saepuloh, L. Safriani, A. Bahtiar, Optical and structural properties of zinc oxide nanodod synthesized by sol-gel method, AIP Conference Proceedings 1554 (2013) pp.143
12. A. Aprilia, T. Apriani, T. Susilawati, L. Safriani, Sintesis ZnO nanopartikel yang dapa terdispersi pada pelarut organic, Prosiding Seminar Kontribusi Fisika, ISBN 978-602-19655-5-9 (2013) 18-23