EINSTEIN (e-Journal)
Jurnal Hasil Penelitian Bidang Fisika
Available online http://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/einsten
e-issn: 2407 – 747x, p-issn 2338 – 1981

PENGARUH SUHU *PRE-HEATING* TERHADAP MIKROSTRUKTUR DAN SIFAT OPTIK FILM TIPIS ZnO DENGAN METODE SOL-GEL *SPIN COATING*

Rotua Fetricia Silitonga dan Nurdin Siregar
Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan
fetrisilitonga@gmail.com
Diterima: Desember 2021. Disetujui: Januari 2022. Dipublikasikan: Februari 2022

ABSTRAK

Telah berhasil dilakukan pembuatan film tipis ZnO dengan variasi suhu *pre-heating* (150^{0}C, 175^{0}C, 200^{0}C, 225^{0}C dan 250^{0}C) dengan menggunakan metode sol-gel *spin coating.* Film tipis ZnO dikarakterisasi dengan XRD, SEM-EDS, UV-Vis, dan FTIR. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa struktur kristal semua sampel berbentuk *wurtzite hexagonal* dengan ukuran kristal berturut-turut 23,8; 19,4; 23,4; 25,1 dan 25,2 nm. Analisis SEM menunjukkan distribusi partikel yang menutupi substrat tanpa *crack* dan hasil EDS mengonfirmasi keberadaan unsur-unsur Zn dan O. Hasil karakterisasi spektrofotometri UV-Vis semua sampel menunjukkan nilai absorbansi yang menurun tajam dan nilai transmitansi yang meningkat tajam pada rentang panjang gelombang 350-400 nm. Nilai transmitansi tertinggi pada daerah cahaya tampak yaitu 82,3% pada suhu *pre-heating* 250^{0}C. Lebar celah pita energi berturut-turut 3,267; 3,259; 3,258; 3,257 dan 3,256 eV. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan terbentuknya ikatan Zn-O pada semua sampel berturut-turut pada bilangan gelombang 574,79 cm^{-1}; 570,92 cm^{-1}; 576,22 cm^{-1}; 574,79 cm^{-1} dan 574,79 cm^{-1}.

Kata Kunci: Film tipis ZnO, metode sol-gel spin coating, Pre-heating

ABSTRACT

The fabrication of ZnO thin films with various pre-heating temperatures (150^{0}C, 175^{0}C, 200^{0}C, 225^{0}C and 250^{0}C) had been done using the sol-gel spin coating method. ZnO thin films were characterized by XRD, SEM-EDS, UV-Vis, and FTIR. The results of XRD characterization showed that the crystal structure of all samples was in the form of hexagonal wurtzite with crystal sizes of 23,8; 19,4; 23.4; 25,1 and 25,2 nm, respectively. SEM analysis showed the distribution of particles covering the substrate without cracks and EDS results confirmed the presence of Zn and O elements. UV-Vis spectrophotometer characterization results for all samples showed a sharp decrease in absorbance value and a sharp increase in transmittance value in the wavelength range of 350-400 nm. The highest transmittance value in the visible light region was 82,3% at a pre-heating temperature of 250^{0}C. The energy band gap were respectively 3,267; 3,259; 3,258; 3,257 and 3,256 eV. FTIR showed the formation of Zn-O characters in all samples successively at a wavenumber of 574.79; 570,92 cm^{-1}; 576,32 cm^{-1}; 574.79 cm^{-1} and 574.79 cm^{-1}.

Keywords: *ZnO thin film, Spin speed, Sol-gel Spin Coating*

PENDAHULUAN

Material ZnO merupakan material semikonduktor dengan lebar celah pita energi 3,37 eV dan energi ikat eksitasi sebesar 60 meV dalam suhu kamar (Baskoutas, 2018), serta emisinya bersifat dekat dengan sinar UV, fotokatalis, sifat optik dan listrik (Guanglong, 2007). Film tipis ZnO akhir-akhir ini banyak diminati karena telah memberikan aplikasi yang menguntungkan bagi perkembangan teknologi saat ini. Bahan ZnO dipilih menjadi bahan dasar lapisan tipis karena keunggulan yang dimilikinya, terutama dalam bidang sensor gas, sel surya, *piezoelectric*, *light emitting diode* dan *surface acoustic wave* (Hunge dkk, 2018; Mahmud dkk, 2017; Huang dkk, 2016).

Teknologi film tipis ZnO akhir-akhir ini banyak dikaji dan mengalami perkembangan yang sangat pesat, seperti *molecular beam epitaxy, RF magnetron sputtering, pulsed laser deposition, spray pyrolysis, chemical bath deposition, physical vapor deposition* (Xiaoyan dkk, 2015; Liu dkk 2015; Bedia dkk, 2015; Shaikh dkk, 2016; Son dkk, 2016 Wisz dkk 2017). Namun, metode ini melibatkan proses yang agak rumit serta dilakukan dalam peralatan canggih dan mungkin memerlukan suhu proses tinggi. Sebaliknya, teknik sol-gel *spin coating* memanfaatkan suhu sintesis rendah dan peralatan sederhana dan murah, tidak menggunakan ruang dengan kevakuman yang tinggi, komposisinya homogen, ketebalan lapisan bisa dikontrol dan struktur mikronya cukup baik (Poongodi *et al*, 2015).

Pada film tipis ZnO yang dipreparasi dengan metode sol-gel, struktur dan sifat optik dapat dikontrol oleh temperatur *preheating* dan temperatur *anealling* (Peng dkk, 2009; Yoon dkk, 2015). Banyak penelitian untuk mengontrol struktural dan sifat optik terkonsentrasi pada perlakuan *annealing*. Namun, pengaruh dari temperatur *pre-heating* jarang dilakukan (Wang *et al*, 2006). Penelitian oleh Siregar (2018) film tipis ZnO yang ditumbuhkan menggunakan bahan seng asetat, 2-metoksietanol dan DEA dengan variasi suhu pemanasan awal (250^{0}C, 300^{0}C dan 350^{0}C) menghasilkan wurtzite heksagonal dan ukuran kristal terkecil 26 nm pada suhu 250^{0}C.

Berdasarkan latar belakang tersebut dilakukan penelitian lanjut dengan harapan memperoleh hasil yang lebih baik dengan cara mengganti variasi temperatur pemanasan awal (*pre-heating)* yang dapat mempengaruhi struktur dan sifat optik film tipis ZnO.

METODE PENELITIAN

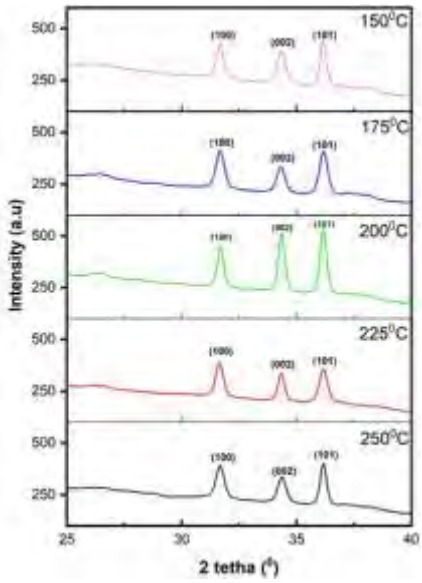
Sintesis sol dilakukan dengan melarutkan *zinc acetate dehydrate* ke dalam isopropanol hingga proses pengadukan dilakukan dengan magnetic stirrer pada suhu 60 – 85^{0}C dengan kecepatan 60 – 70 rpm. Dietanolamin (DEA) sebagai penstabil dimasukkan ke dalam larutan. Perbandingan mol antara DEA dan ZnAc adalah 1:1. Setelah gel cair terbentuk, kemudian larutan dibiarkan membentuk larutan yang lebih kental menyerupai "gel". Larutan seperti gel kemudian diteteskan pada substrat kaca FTO dengan kecepatan putar 5000 rpm dan pelapisan hingga 5 kali. Pre-heating dilakukan dengan variasi suhu 150, 175, 200, 225 dan 250^{0}C selama 5 jam dengan waktu tahan 15 menit. Selanjutnya post-heating dilakukan pada suhu 500^{0}C selama 5 jam dengan waktu tahan 15 menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Mikrostruktur Kristal Film Tipis ZnO

Pola difraksi sampel difraksi sinar-X (XRD) film tipis ZnO untuk temperatur *pre-heating* 150, 175, 200, 225 dan 250^{0}C ditunjukkan pada Gambar 1. Pada gambar 1 tampak bahwa semua sampel memiliki 3 (tiga) bidang kristal yang sama, yaitu bidang (100), (002) dan (101). Tiga puncak difraksi dengan intensitas yang berbeda pada rentang 2 θ= 30-40^0 mengindikasikan kristal ZnO yang terbentuk pada film tipis merupakan polikristalin. Pada sampel film tipis ZnO dengan suhu *pre-heating* 150^{0}C, puncak pertumbuhan kristal terorientasi pada bidang (100), (002) dan (101) masing-masing pada sudut 2θ = 31,6382^0; 34,3093^0 dan 36,1387^0. Pada sampel film tipis ZnO dengan suhu *pre-heating* 175^{0}C, puncak pertumbuhan

kristal terorientasi pada bidang (100), (002) dan (101) masing-masing pada sudut 2θ = 31,6476^0; 34,2882^0 dan 36,1492^0. Pada film tipis ZnO dengan suhu *pre-heating* 200^{0}C, puncak pertumbuhan kristal terorientasi pada bidang (100), (002) dan (101) masing-masing pada sudut 2θ = 31,6476^0; 34,2882^0 dan 36,1354^0. Pada sampel film tipis ZnO dengan suhu *pre-heating* 225^{0}C, puncak pertumbuhan kristal terorientasi pada bidang (100), (002) dan (101) masing-masing pada sudut 2θ = 31,6157^0; 34,3102^0 dan 36,1408^0. Pada sampel film tipis ZnO dengan suhu *pre-heating* 250^{0}C, puncak pertumbuhan kristal terorientasi pada bidang (100), (002) dan (101) masing-masing pada sudut 2θ = 31,6426^0; 34,3357^0 dan 36,1374^0.



Gambar 1. Spektrum XRD Film Tipis ZnO dengan Variasi Suhu *Pre-heating*

Parameter kisi kristal untuk variasi suhu pre-heating ditunjukkan pada Tabel 1. Rasio c/a untuk semua sampel memiliki nilai yang sama dengan nilai ideal untuk suatu sel/kisi heksagonal c/a = 1,60.

Tabel 1. Parameter Kisi Film Tipis ZnO dengan Variasi Suhu *Pre-heating*

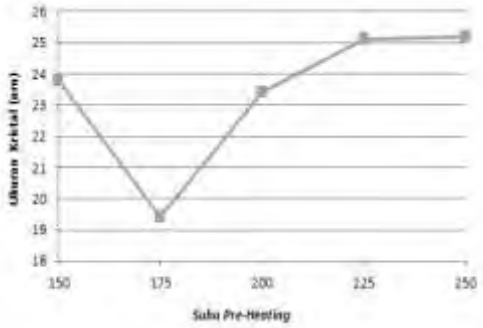
Suhu (^{0}C)	Parameter Kisi a (Å)	Parameter Kisi c (Å)	Rasio c/a
150	3,262885	5,223225	1,60
175	3,261941	5,226343	1,60
200	3,260536	5,221439	1,60
225	3,265148	5,223093	1,60
250	3,262443	5,219330	1,60

Hasil perhitungan ukuran kristal film tipis ZnO dengan variasi suhu *pre-heating* disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ukuran Kristal Film Tipis ZnO Variasi dengan Suhu *Pre-heating*

Suhu (^{0}C)	Posisi Puncak 2θ (^{0}/degree)	Posisi Puncak FWHM (^{0})	D (nm)
150	36,1387	0,3505	23,8
175	36,1492	0,4290	19,4
200	36,1354	0,3564	23,4
225	36,1408	0,3324	25,1
250	36,1374	0,3314	25,2

Berdasarkan Tabel 2 di atas maka diperoleh hubungan antara kenaikan suhu *pre-heating* terhadap ukuran kristal, seperti pada Gambar 2.



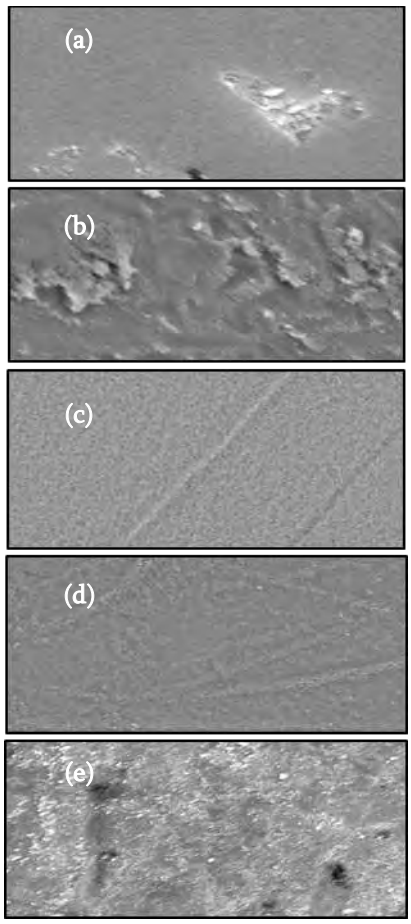
Gambar 2. Pengaruh Kenaikan Suhu *Pre-heating* terhadap Ukuran Kristal

Dari Gambar 2 terlihat bahwa terjadi penurunan dan kenaikan ukuran kristal seiring kenaikan suhu *pre*-heating. Terlihat bahwa ukuran kristal menurun dari 23,8 nm ke 19,4 nm dari suhu 150^{0}C - 175^{0}C, kemudian ukuran kristal meningkat dari 19,4 nm ke 25,2 nm pada suhu di atas 175^{0}C. Dalam penelitian ini diperoleh bahwa ukuran kristal cenderung meningkat dengan meningkatnya suhu *pre-heating* dari suhu 175^{0}C hingga 250^{0}C. Peningkatan suhu pre-heating (pemanasan awal) pada pertumbuhan film tipis ZnO akan mempercepat proses penguapan dalam menghilangkan kelompok pelarut, air dan asam, dan mempercepat proses mengubah ZnOH menjadi ZnO (morfologi kristal yang terbentuk) pada tahap *post-heating*. Menurut hasil penelitian

Shariffudin dkk (2012) dan Chia dkk (2014) dengan variasi suhu *pre-heating* memperlihatkan bertambahnya ukuran kristal seiring dengan peningkatan suhu *pre-heating*.

2. Morfologi Permukaan Film Tipis ZnO

Analisis morfologi permukaan sampel film tipis ZnO pada substrat kaca menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM). dengan perbesaran 5000 kali seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

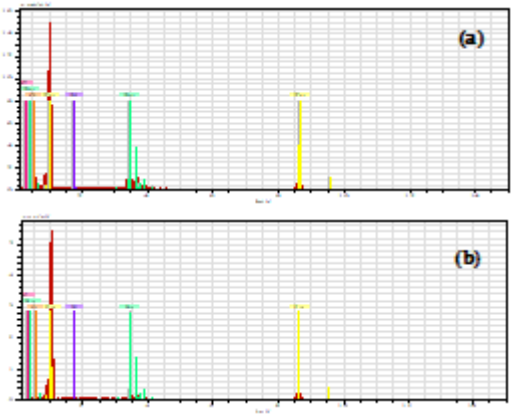


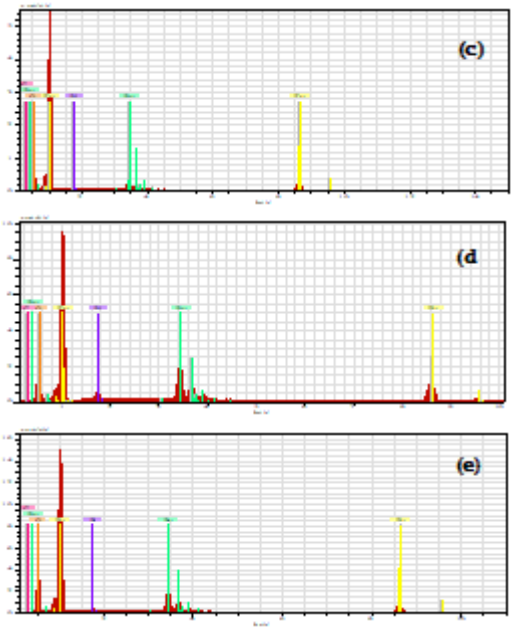
Gambar 3. Morfologi Permukaan Film Tipis ZnO a) 150^{0}C b) 175^{0}C c) 200^{0}C d) 225^{0}C dan e) 250^{0}C

Berdasarkan Gambar 3 tampak bahwa kenaikan suhu *pre-heating* mempengaruhi morfologi permukaan film tipis ZnO. Pada semua film tipis tidak terjadi retakan (*crack*) dan nanopartikel ZnO terdistribusi melapisi seluruh permukaan substrat. Pada Gambar 3 (a) terlihat bahwa permukaan film belum merata dan terdapat partikel berukuran besar akibat aglomerasi, yakni partikel-partikel yang saling tergabung dan terikat satu sama lain sehingga menghasilkan bulir yang lebih besar. Pada Gambar 3 (b) tampak bahwa permukaan film tipis kasar, ukuran dan bentuk partikel tidak seragam. Bentuk partikel yang seragam dan kompak serta permukaan yang lebih halus diamati untuk sampel dengan suhu *pre-heating* 200^{0}C yang ditampilkan pada Gambar 3 (c). Morfologi permukaan sampel 225^{0}C pada Gambar 3 (d) terlihat cukup merata dan sebaran partikel yang seragam. Pada Gambar 3 (e) memperlihatkan permukaan film yang kasar dan distribusi partikel yang tidak seragam. Sulit menentukan ukuran kristalit berdasarkan foto SEM karena batas-batas kristalit tidak terlihat dengan jelas dan bentuk butirannya tidak seragam.

3. Sebaran Unsur pada Film Tipis ZnO

Spektrum EDS film tipis ZnO dengan variasi suhu *pre-heating* disajikan pada Gambar 4. Hasil identifikasi EDS film tipis ZnO untuk semua sampel mengungkapkan bahwa sampel mengandung seng (Zn), oksigen (O), timah (Sn), silika (Si), dan karbon (C) sebagai komponen penyusunnya. Puncak yang terkait dengan atom Zn dan O yang teramati pada semua spektrum EDS dapat membuktikan terbentuknya fasa ZnO pada substrat. Kemunculan puncak Sn dan Si pada merupakan sinyal yang datang dari substrat kaca FTO (*Flourine-Tin Oxide*) *coated glass*. Puncak atom C merupakan sinyal yang berasal dari molekul organik yang mengontaminasi sampel saat preparasi.





Gambar 4. Hasil EDS Film Tipis ZnO dengan Variasi Suhu *Pre-heating* a) 150°C b) 175°C c) 200°C d) 225°C dan e) 250°C

Berdasarkan Gambar 4 diperoleh persentase atomik (at.%) Zn (seng) dan O (oksigen) yang dikandung dalam tiap sampel film tipis ZnO dengan variasi suhu *pre-heating* yang diperlihatkan pada Tabel 3.

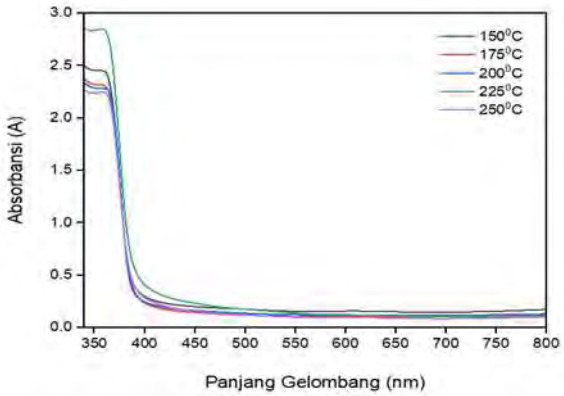
Tabel 3. Persentase Atom Zn dan O pada Film Tipis dengan Variasi Suhu *Pre-heating*

Suhu (°C)	Zn (at. %)	O (at. %)
150	32,66	58,70
175	40,14	56,00
200	36,63	58,13
225	25,21	64,45
250	33,81	57,85

Berdasarkan Tabel 3 pengujian EDS menginformasikan pada suhu 150°C, 175°C, 200°C, 225°C, dan 250°C adanya elemen seng (Zn) dan oksigen (O) dalam film tipis yang masing-masing dengan persentase atom (32,66% dan 58,70%; 40,14% dan 56,00%; 36,63% dan 58,13% ; 25,21% dan 64,5%; 33,81% dan 57,85%). Terlihat bahwa persentase atom O relatif lebih tinggi dibandingkan persentase atom Zn. Hal tersebut dapat disebabkan oleh adsorpsi oksigen oleh permukaan sampel yang berasal dari paparan udara selama persiapan sampel (sifat higroskopis ZnO).

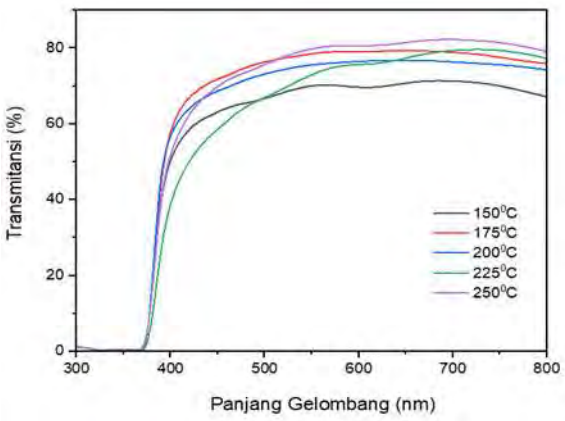
4. Sifat Optik Film Tipis ZnO

Spektrum absorbansi dan transmitansi sampel film tipis ZnO dengan variasi suhu *pre-heating* dari uji UV-Vis ditunjukkan berturut-turut pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 8. Spektrum Transmitansi Film Tipis ZnO dengan Variasi Suhu *Pre-heating*

Berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa pada semua sampel film tipis terjadi penurunan nilai absorbansi yang cukup tajam pada rentang panjang gelombang 350 – 400 nm (wilayah panjang gelombang ultraviolet). Panjang gelombang < 400 nm diketahui sebagai daerah penyerapan cahaya. Pada panjang gelombang tersebut sinar UV yang mengenai film tipis akan banyak diserap. Spektrum absorbansi untuk film tipis ZnO dengan variasi suhu *pre-heating* 150°C, 175°C, 200°C, 225°C, dan 250°C berturut-turut menunjukkan puncak serapan pada 354 nm, 354 nm, 359 nm, 358 nm dan 359 nm. Pita serapan pada 358 nm sesuai dengan penyerapan eksiton ZnO seperti yang dilaporkan oleh Xiang (2006). Transmitansi film tipis ZnO seperti yang disajikan pada Gambar 6.



Gambar 1. Spektrum Transmitansi Film Tipis ZnO dengan Variasi Suhu *Pre-heating*

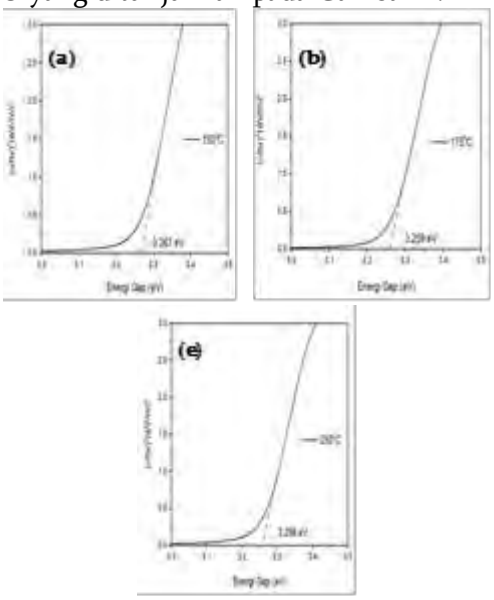
Spektrum transmitansi semua sampel pada Gambar 6 terlihat bahwa pada terjadi kenaikan nilai transmitansi yang cukup tajam pada panjang gelombang 350 - < 400 nm yang merupakan wilayah spektrum UV. Tepi serapan spektrum UV terjadi pada panjang gelombang ~368 nm. Hal ini dianggap sebagai energi celah pita intrinsik ZnO seperti yang juga dilaporkan oleh Kim (2005). Nilai transmitansi terendah terjadi pada panjang gelombang spektrum UV, sedangkan nilai transmitansi yang tinggi terjadi pada rentang daerah cahaya tampak. Hasil nilai transmitansi untuk semua film tipis ZnO pada panjang gelombang cahaya tampak disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Transmitansi Film Tipis ZnO dengan Variasi Suhu *Pre-heating*

Suhu (°C)	Transmitansi Tertinggi (%)
150	71,2
175	79,5
200	76,8
225	79,7
250	82,3

Berdasarkan Tabel 4 terlihat bahwa nilai transmitansi pada kisaran panjang gelombang cahaya tampak adalah sekitar 71,2-82,3%. Nilai transmitansi terendah diperoleh pada suhu *pre-heating* 150°C yaitu 71.2%, sedangkan nilai transmitansi tertinggi diperoleh pada suhu *pre-heating* 250°C yaitu 82.3%. Menurut Lee, (2000) dan Parthiban, (2009) film tipis dengan transmitansi yang cukup tinggi pada daerah cahaya tampak dapat diaplikasikan sebagai *window layers* pada divais optoeleptronik.

Berdasarkan metode Tauc Plot diperoleh lebar celah pita energi film tipis ZnO yang ditunjukkan pada Gambar 7.



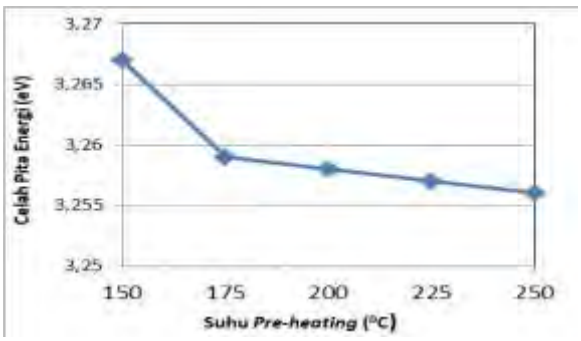
Gambar 7. Lebar Celah Pita Energi Film Tipis ZnO a) 150°C b) 175°C c) 200°C d) 225°C dan e) 250°C.

Berdasarkan Gambar 7 diperoleh lebar celah pita energi dari film tipis ZnO yang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Celah Pita Energi Film Tipis ZnO dengan Variasi Suhu *Pre-Heating*

Suhu (°C)	Celah Pita Energi (eV)
150	3,267
175	3,259
200	3,258
225	3,257
250	3,256

Berdasarkan Tabel 5 diperoleh hubungan lebar celah pita energi terhadap suhu *pre-heating* yang disajikan pada Gambar 8.

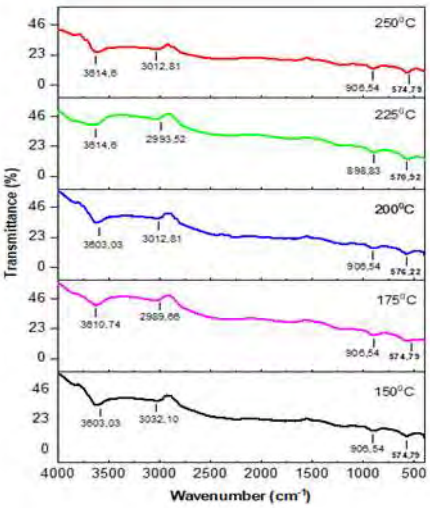


Gambar 2. Grafik Pengaruh Suhu *Pre-heating* terhadap Celah Pita Energi

Berdasarkan Gambar 8 terlihat bahwa terjadi penurunan lebar celah pita energi seiring dengan peningkatan suhu *pre-heating*. Celah pita energi film tipis yang diperoleh berkisar 3,256 eV hingga 3,267 eV. Lebar celah pita energi terbesar terjadi pada film tipis dengan suhu *pre-heating* 150^{0}C yaitu 3,267 eV dan celah pita energi terkecil terjadi pada sampel film tipis dengan suhu 250^{0}C yaitu 3,256 eV. Perbedaan celah pita dari film tipis disebabkan oleh adanya batas butir dan ketidaksempurnaan dalam film tipis polikristalin. Menurut hasil penelitian oleh Shariffudin dkk (2012) dengan variasi suhu *pre-heating* yang melaporkan bahwa peningkatan suhu *pre-heating* seiring dengan menurunnya lebar celah pita energi.

5. Pengujian FTIR Film Tipis ZnO

Spektrum hasil pengujian FTIR film tipis ZnO dengan variasi suhu *pre-heating* disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Spektrum FTIR Film Tipis ZnO dengan Variasi Suhu *Pre-heating*.

Pada Gambar 9 hasil uji FTIR film tipis ZnO dengan variasi suhu *pre-heating* 150^{0}C, 175^{0}C, 200^{0}C, 225^{0}C, dan 250^{0}C berturut-turut menunjukkan terbentuknya peak pada 574,79 cm^{-1}; 570,92 cm^{-1}; 576,32 cm^{-1}; 574,79 cm^{-1}; dan 574,79 cm^{-1}; dimana peak ini merupakan bidang vibrasi dari *stretching* ikatan Zn-O. Hal ini didukung oleh penelitian Deepa, (2019) yang mendapatkan peak pada bilangan gelombang 576 cm^{-1}. Pada variasi suhu *pre-heating* 150^{0}C, 175^{0}C, 200^{0}C, 225^{0}C, dan 250^{0}C terbentuk peak berturut-turut pada 906,54 cm^{-1}; 898.83 cm^{-1}; 906,54 cm^{-1}; 906,54 cm^{-1}; dan 906,54 cm^{-1} yang mengindikasikan regangan gugus fungsi Zn-OH. Pada variasi suhu *pre-heating* 150^{0}C, 175^{0}C, 200^{0}C, 225^{0}C, dan 250^{0}C terbentuk peak berturut-turut pada 2252,86 cm^{-1}; 2175,7 cm^{-1}; 2306,86 cm^{-1}; 2341,58 cm^{-1}; dan 2349,30 cm^{-1} menunjukkan bahwa adanya gugus fungsi CO_2 yang terserap pada sampel ketika kontak dengan udara. Pada variasi suhu *pre-heating* 150^{0}C, 175^{0}C, 200^{0}C, 225^{0}C, dan 250^{0}C terbentuk peak berturut-turut pada 3012,81 cm^{-1}; 2993,52 cm^{-1} ; 3012,81 cm^{-1}; 2989,66 cm^{-1}; dan 3032,1 cm^{-1} mengindikasikan regangan gugus fungsi C-H yang memberi informasi keberadaan kelompok monoasetat. Pada variasi suhu *pre-heating* 150^{0}C, 175^{0}C, 200^{0}C, 225^{0}C, dan 250^{0}C terbentuk peak berturut-turut 3614,6 cm^{-1}; 3614,6 cm^{-1}; 3603,03 cm^{-1}; 3610,74 cm^{-1}; dan 3603,03 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus –OH dari molekul H_2O yang terserap pada permukaan sampel ZnO (sifat higroskopis) karena kelembaban udara.

KESIMPULAN DAN SARAN

Film tipis ZnO dengan variasi suhu *pre-heating* berhasil disintesis dengan menggunakan metode sol-gel *spin coating*. Struktur kristal ZnO pada semua sampel film tipis berbentuk *wurtzite hexagonal* dengan puncak dominan pada bidang orientasi (100), (002), dan (101). Parameter kisi semua sampel relatif sama yaitu a = 5,22 Å, c = 3,26, dan rasio c/a = 1,6. Suhu *pre-heating* mempengaruhi ukuran kristal ZnO. Suhu *pre-heating* mempengaruhi ukuran kristal film tipis ZnO. Ukuran kristal terkecil diperoleh

pada suhu 175^{0}C yaitu 19,4 dan terbesar pada suhu 250^{0}C yaitu 250^{0}C. Nilai transmitansi berkisar 71,2–82,3% pada daerah cahaya tampak. Lebar celah pita terbesar diperoleh pada suhu *pre-heating* 150^{0}C sebesar 3,267 eV dan terkecil pada suhu *pre-heating* 250^{0}C sebesar 3,256 eV. Kenaikan suhu pre-heating seiring dengan penurunan lebar celah pita energi.

Saran untuk penelitian selanjutnya yakni: Pengujian SEM dilakukan dengan perbesaran dengan resolusi 20.000-50.000 kali agar ukuran kristalit dapat dihitung dalam skala nanometer dan batas-batas butir terlihat dengan jelas.

DAFTAR PUSTAKA

Baskoutas, S. (2018). Zinc oxide nanostructures: synthesis and characterization. Materials, 11(6): 873.

Bedia, Asma, Fatima, Z.B., Michel, A, Nabila, M., & Benyoucef, B. (2015). Morphological and optical properties of ZnO thin films prepared by spray pyrolysis on glass substrates at various temperatures for integration in solar cell. Energy Procedia, 74: 529-538.

Deepa, R., Muthuraj, D., Kumar, E., & Veeraputhiran, V. (2019). Microwave assisted synthesis of zinc oxide nanoparticles and its antimicrobial efficiency. Journal of Nanoscience and Technology, 640-641.

Guanglong, Z. (2007). Orientation enhancement of polycrystalline ZnO thin films through thermal. Elsevier Materials Letters. 61: 4305–4308.

Huang, X., Zhang, L., Wang, S., Chi, D., & Chua, S.J. (2016). Solution-grown ZnO films toward transparent and smart dual-color light-emitting diode. ACS Applied Materials & Interfaces. ACS Applied Materials and Interfaces, 8(24): 15482-15488.

Hunge, Y.M., Yadav A.A., Kulkarni, S.B., & Mathe, V.L. (2018). A multifunctional ZnO thin film based devices for photoelectrocatalytic degradation of terephthalic acid and CO2 gas sensing applications. Sensors and Actuators B: Chemical, 274: 1-9.

Kim, Y. S., Tai, W. P., & Shu, S. J. (2005). Effect of preheating temperature on structural and optical properties of ZnO thin films by sol–gel process. Thin Solid Films, 491(1-2), 153-160.

Lee, J. C. et al. (2000). RF sputter deposition of the high-quality intrinsic and n-type ZnO window layers for Cu(In,Ga)Se2-based solar cell applications. Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 64(2), 185–195.

Liu, Tingzhi, Xiaoyan, F., Liang, H., Hao, Z., Yangyang, L., & Shuwang, D. (2015). Effect of substrate surface pretreatment and annealing treatment on morphology, structure, optical and electrical properties of sputtered ZnO films. Superlattice and Microstructures, 83: 604-617.

Mahmud, M.A., Elumalai, N.K., Upama, M.B., Wang, D., Chan, K.H., Wright, M., Xu C., Haque, F., & Uddin, A. (2017). Low temperature processed ZnO thin film as electron transport layer for efficient perovskite solar cells. Solar Energy Materials and Solar Cells, 159: 251-64.

Parthiban, S., Gokulakrishnan, V., Ramamurthi, K., Elangovan, E., Martins, R., Fortunato, E., & Ganesan, R. (2009). High near-infrared transparent molybdenum-doped indium oxide thin films for nanocrystalline silicon solar cell applications. Solar Energy Materials and Solar Cells, 93(1), 92-97.

Peng, L.P, Fang, L., Yang, X.F., Li. Y.J., Huang, Q.L., Wu, F., & Kong, C.Y. (2009). Effect of annealing temperature on the structure and optical properties of In-doped ZnO thin films. Journal of Alloys and Compounds, 484(1-2) : 575-579.

Poongodi, G., Anandan, P., Kumar, R.M., & Jayavel, R. (2015). Studies on visible light photocatalytic and antibacterial

activities of nanostructured cobalt doped ZnO thin films prepared by sol–gel spin coating method. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 148: 237-243.

Shaikh, S.K., Inamdar, S.I., Ganbavle, V.V., & Rajpure, K.Y. (2016). Chemical bath deposited ZnO thin film based UV photoconductive detector. Journal of Alloys and Compounds, 664: 242-249.

Shariffudin, S. S., Mamat, M. H., Herman, S. H., & Rusop, M. (2012). Influence of drying temperature on the structural, optical, and electrical properties of layer-by-layer ZnO nanoparticles seeded catalyst. Journal of Nanomaterials, 2012.

Siregar, N., & Motlan. (2018). The effect of pre-heating temperature on structural and optical properties ZnO thin film synthesized using sol-gel spin coating method. Journal of Physics: Conference Series, 1120 (1).

Son, N.T., Noh, J.S., & Park, S. (2016). Role of ZnO thin film in the vertically aligned growth of ZnO nanorods by chemical bath deposition. Applied Surface Science. 379: 440-445.

Wang, Z. L., Kong, X. Y., Ding, Y., Gao, P., Hughes, W. L., Yang, R., & Zhang, Y. (2004). Semiconducting and piezoelectric oxide nanostructures induced by polar surfaces. Advanced Functional Materials, 14(10), 943-956.

Wisz, G., Virt, I., Sagan, P., Potera, P., & Yavorskyi, R. (2017). Structural, optical and electrical properties of zinc oxide layers produced by pulsed laser deposition method. Nanoscale Research Letters, 12(1): 253.

Xiang, X., Zu, X. T., Zhu, S., Wei, Q. M., Zhang, C. F., Sun, K. ve Wang, L. M. (2006). ZnO nanoparticles embedded in sapphire fabricated by ion implantation and annealing. Nanotechnology, 17, 2636- 2640.

Xiaoyan, Wang, Zhou, H., Wang, H., Ren, F., Chen, X., Zhan, H., Zhou, Y., & Kang, J. (2015). Cubic ZnO films obtained at low pressure by molecular beam epitaxy. Chinese Physics B, 24(9): 097106.

Yoon, Y.C., Park, K.S., & Kim, S.D. (2015). Effects of low preheating temperature for ZnO seed layer deposited by sol–gel spin coating on the structural properties of hydrothermal ZnO nanorods. Thin Solid Films, 597: 125-130.