



PENGARUH DOPING $SbCl_3$ TERHADAP STRUKTUR DAN SIFAT OPTIK FILM TIPIS ZnO DENGAN METODE *SOL-GEL SPIN COATING*

Naomi Br. Sirait, Motlan dan Nurdin Siregar

Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan
naomisirait1199@gmail.com

Diterima: Desember 2020. Disetujui: Januari 2021. Dipublikasikan: Februari 2021.

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan bahan baku pembuatan film tipis ZnO yang didoping Antimoni (III) Klorida ($SbCl_3$) sebagai bahan terbaik untuk didoping dengan ZnO . Film tipis ZnO doping $SbCl_3$ telah berhasil disintesis dengan metode *sol-gel spin coating* dan proses pencampuran dengan teknik *refluks*. Bahan yang digunakan *zinc acetate dehydrate* $\{Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O\}$, Antimoni (III) Klorida sebagai pendoping dilarutkan oleh pelarut isopropanol dengan variasi konsentrasi doping yaitu 4%; 5% dan 6% lalu distabilkan dengan *diethanolamine* (DEA). Pembuatan film tipis $ZnO:SbCl_3$ ini dilakukan diatas substrat kaca dengan metode *spin coating*. Hasil karakterisasi film tipis $ZnO:SbCl_3$ dengan XRD menunjukkan ukuran kristal masing-masing adalah 26 nm, 26 nm, 24 nm. Dan hasil karakterisasi SEM menunjukkan permukaan morfologi film tipis $ZnO:SbCl_3$ adanya retakan pada saat pelapisan dan bulatan hitam pada konsentrasi 5%. Hasil karakterisasi UV-VIS memperlihatkan nilai transmitansi dengan semua doping pada cahaya yang diteruskan pada lapisan ZnO doping $SbCl_3$ lebih banyak daripada diserap pada rentang 350-800 nm. Dan nilai absorbansi menurun tajam pada rentang 350-800 nm. Nilai celah pita energi meningkat pada konsentrasi 5% dan menurun pada konsentrasi 6% dengan nilai E_g yaitu 3,03 eV.

Kata Kunci: *Film Tipis $ZnO:SbCl_3$, Antimoni, Sol-Gel Spin Coating*

ABSTRACT

This research was conducted to produce raw materials for the manufacture of ZnO thin films doped with Antimony (III) Chloride ($SbCl_3$) as the best material to be doped with ZnO . $SbCl_3$ doped ZnO thin films have been successfully synthesized using the sol-gel spin coating method and the mixing process using the reflux technique. The materials used are zinc acetate dehydrate $\{Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O\}$, Antimony (III) Chloride as doping dissolved by isopropanol solvent with variations in doping concentration of 4%; 5% and 6% were then stabilized with diethanolamine (DEA). The $ZnO:SbCl_3$ thin film was made on a glass substrate using the spin coating method. The results of the characterization of the $ZnO:SbCl_3$ thin film by XRD showed that the crystal sizes were 26 nm, 26 nm, and 24 nm, respectively. And the results of SEM characterization showed that the surface morphology of the $ZnO:SbCl_3$ thin film had cracks during coating and black circles at a concentration of 5%. The result of UV-VIS characterization gives the transmittance value with all the light doped on the ZnO doped $SbCl_3$ layer more than the absorption in the 350-800 nm range. And the absorbance value decreased sharply in the range of 350-800 nm. The value of the energy

band gap increases at a concentration of 5% and decreases at a concentration of 6% with a value of eg 3.03 eV.

Keywords: *ZnO:SbCl₃ -Thin Film, Antimony, Sol-Gel Spin Coating*

PENDAHULUAN

Pada perkembangan riset teknologi material membawa dampak positif terhadap globalisasi. Para penelitian berfokus pada bahan semikonduktor salah satunya penerapan pada penggunaan material semikonduktor antara lain dalam pembuatan divais sel surya. Divais sel surya memiliki transmitansi optik yang tinggi pada daerah cahaya tampak yang biasanya digunakan untuk divais sel surya sehingga sangat berpotensi baik pada ZnO. ZnO (Zinc Oxide) dalam beberapa tahun terakhir ini banyak digunakan baik dalam cara pembuatan, bahan dan aplikasi dalam kehidupan masyarakat seperti piranti elektronik, display panel datar, solar cell, dll.

ZnO merupakan suatu semikonduktor yang mempunyai sifat tipe-n golongan II-IV yang lebar celah pita energinya 3,37 eV dan energi ikat eksitasi sebesar 60 meV dalam suhu kamar. ZnO merupakan salah jenis metal oksida dan merupakan dasar pembuatan film tipis yang mempunyai sifat optik dan elektrik yang baik digunakan untuk proses deposisi dan doping yang baik digunakan (Pakabu et al., 2021). Selain itu, ZnO memiliki sifat ramah lingkungan yang baik, tidak beracun, biaya rendah dan stabilitas yang baik. ZnO juga dapat menyerap sebagian spektrum matahari dibandingkan dengan fotokatalis lain. (Syuhada et al., 2011).

ZnO juga memiliki kelemahan partikel dalam ukuran besar seperti area permukaan per volume yang kecil dan celah pita yang kurang sesuai apabila diaplikasikan pada cahaya tampak. Oleh karena itu, untuk mengoptimalkan sifat dari ZnO maka perlu dilakukan pendopingan (Sutanto et al., 2015). Doping merupakan salah satu cara untuk menambahkan sejumlah kecil atom pengotor kedalam struktur kristal semikonduktor. Material ZnO murni merupakan material tipe-n memiliki karakteristik berupa cacat kristal dimana terjadinya kelebihan atom O dan Zn,

dan memiliki lebar celah pita energi yang besar. Untuk mengatasinya maka perlu ditambahkan doping material tipe-p. Material doping untuk ZnO jenis tipe-p antara lain litium, arsen (Janotti dan Walle, 2009), antimon (Sinornate et al., 2021). Wuttchai, dkk. 2010 melaporkan antimon sebagai pendoping merupakan akseptor yang baik untuk ZnO dan dapat menurunkan celah pita energi sehingga semakin mudah eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Film tipis ZnO dapat disintesis dengan berbagai metode, antara lain pulsed laser deposition (Dakhel, 2013), molecular beam epitaxy (Changzheng, 2009), RF magnetron sputtering (Makoto dkk, 2004), physical vapor deposition (George, 210), spray pyrolysis (sufwan dkk, 2012) dan spin coating (Khan, 2011).

Metode spin-coating merupakan metode yang paling mudah cepat dalam penumbuhan lapisan tipis. Lapisan tipis yang dihasilkan akan memiliki kehomogenan yang tinggi. Dan metode ini juga dapat mengatur ketebalan lapisan yang diinginkan dengan mengontrol kecepatan putaran dan waktu putaran dari alat spin coater. Dengan menggunakan metode sol-gel spin coating, memiliki beberapa keuntungan antara lain biayanya yang murah, komposisinya homogeny, ketebalan lapisan bisa dikontrol dan struktur yang baik, sehingga metode ini banyak digunakan dalam pembuatan film tipis ZnO (N. Siregar et al., 2015).

Penelitian tentang film tipis ZnO doping antimon (Sb), antara lain oleh Ilican et al., (2008) dalam penelitiannya menyelidiki film tipis ZnO didoping dengan antimon (Sb) yang menggunakan metode spin-coating sol-gel dengan variasi konsentrasi doping 1%; 3% dan 5%. Hasil yang diperoleh bahwa kristal film tipis ZnO berbentuk wurtzite hexagonal, dengan ukuran kristal masing masing doping 24 nm, 21 nm, 18 nm dan lebar celah pita energi 3,285 eV; 3,279 eV dan 3,273 eV.

Menurut Sinornate et al., 2019 dalam penelitiannya film tipis ZnO doping antimon klorida (III) dengan menggunakan metode sol-gel spin-coating dengan konsentrasi doping 0%; 3%; 5% dan 10%. Hasil yang diperoleh bahwa kristal film tipis ZnO berbentuk wurtzite hexagonal dan menurunnya ukuran kristal ZnO dikarena doping Sb meningkat. Spektrum transmitasi tinggi diatas 90%.

Berdasarkan penelitian tersebut maka penelitian ini ingin membuat material nanopartikel ZnO doping SbCl₃ dengan metode sol-gel untuk melihat struktur dan sifat optik yang nantinya akan digunakan sebagai sel surya dll. Hal ini terjadi karena karakteristik lapisan film tipis ZnO dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu konsentrasi larutan, zat pelarut, prekursor, zat penstabil, lamanya pemanasan saat pre-heating dan post-heating bahkan kecepatan putaran saat spin coating. Untuk sintesis lapisan film tipis ZnO:SbCl₃, peneliti membuat dengan metode sol-gel spin coating dengan teknik refluks. Proses pencampuran dengan teknik refluks bertujuan untuk mengontrol laju reaksi serta mengisolasi proses sintesis kelembapan dari luar. Untuk mendapatkan karakteristik yang optimum dari pembuatan film tipis tipe ZnO:SbCl₃, peneliti melakukan variasi konsentrasi doping yaitu 4%,5%, dan 6%. Oleh karena itu, penulis akan melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Doping SbCl₃ Terhadap Struktur dan Sifat Optik Film Tipis ZnO Dengan Metode Sol Gel Spin-Coating”.

METODE PENELITIAN

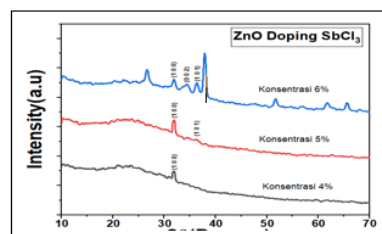
Sintesis lapisan tipis ZnO:SbCl₃ dilakukan dengan metode *spin coating sol-gel*. Bahan yang digunakan adalah *Zinc Acetat Dehydrate* sebagai prekursor, antimoni (III) klorida sebagai doping, isopropanol sebagai larutan dan diethanolamine (DEA) sebagai stabilizer. Rasio *Zinc Acetat Dehydrate* {Zn(CH₃COOH).2H₂O} dan antimoni (III) klorida (SbCl₃) yaitu 4%, 5% dan 6%. Larutan ini dicampurkan kedalam larutan isopropanol dan diaduk dengan pengaduk magnet selama 15 menit dan secara bertahap 1,72 ml

Diethanolamine (DEA) ditetaskan kedalam larytan. Rasio DEA dan Zn adalah 1:1. Kemudian larutan berbentuk gel ditetaskan pada permukaan substrat kaca FTO yang berputar dengan kecepatan 5000 rpm. Kemudian larutan berbentuk gel ditetaskan pada permukaan substrat kaca FTO yang berputar dengan kecepatan putaran 300 rpm. Kemudian sampel diannealing pada suhu 250°C (*pre-heating*) selama 5 jam dilanjutkan dengan annealing lanjutan dengan suhu 500°C (*pre-heating*) selama 5 jam. Film tipis ZnO:SbCl₃ dikarakterisasi menggunakan XRD, SEM dan UV-Vis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD)

X-Ray Diffraction atau pola difraksi sinar-X (XRD) digunakan untuk melihat ukuran kristal, struktur kristal dan orientasi bidang kristal pada film tipis. Kekristalan dari suatu material dapat diamati dari pola kristal difraksi sinar-X material tersebut. Spektrum difraksi *X-Ray Diffraction* (XRD) sample film tipis ZnO:SbCl₃ hasil sintesis dengan metode *sol-gel spin coating* dengan pencampuran tehnik *refulks* ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Spektrum XRD Film Tipis ZnO:SbCl₃

Pola kristal sampel diidentifikasi dengan menggunakan software OriginPro 2022. Untuk kristal ZnO:SbCl₃ 4% puncak pertumbuhan terorientasi pada bidang (1 0 0) berbentuk hexagonal pada $2\theta = 31,8821^\circ$. Untuk kristal ZnO:SbCl₃ 5% puncak pertumbuhan terorientasi pada bidang (1 0 0) berbentuk hexagonal pada $2\theta = 31,8829^\circ$, pada bidang (1 0 1) berbentuk hexagonal pada $2\theta = 36,5717^\circ$. Untuk kristal ZnO:SbCl₃ 6% puncak pertumbuhan terorientasi pada bidang (1 0 0) berbentuk hexagonal pada $2\theta = 31,9039^\circ$, pada bidang (0 0 2) berbentuk hexagonal pada $2\theta = 34,5330^\circ$, pada bidang (1 0 1)

berbentuk hexagonal pada $2\theta = 36,3881^\circ$. Pada gambar X-Ray Diffraction diatas dapat dilihat dari ketiga konsentrasi doping memiliki puncak yang berbeda. Konsentrasi doping 4% puncak yang dihasil pada bidang (1 0 0). Konsentrasi 5% puncak mulai meningkat pada bidang (1 0 0) dan bidang (1 0 1) dan puncak ini terlihat sangat lemah pada sampel yang didoping. Penelitian ini hampir sama dengan penelitian Benelmadjat et al., (2010), yang mengatakan bahwa puncak ini terlihat lemah karena puncak ini bergeser ke sudut yang lebih tinggi atau puncak yang terlihat dominan. Konsentrasi doping 6% puncak bertambah pada bidang (1 0 0) (0 0 2) dan (1 0 1). Puncak-puncak difraksi ini mulai munculkan bidang yang baru karena pengaruh doping yang semakin tinggi yang terikat dengan ZnO. Hasil penelitian ini hampir sama dengan penelitian Wuttichai et al, (2019), menyatakan bahwa posisi puncak yang sama, menyiratkan penggabungan yang baik dari penambahan doping Sb (III) klorida dalam ZnO. Munculnya puncak baru pada konsentrasi doping 6% menyimpulkan bahwa penggabungan doping Sb yang baik dalam ZnO. Penurunan klistalinitas matriks ZnO oleh doping Sb (III) Klorida disebabkan oleh regangan mikrokopis yang disebabkan oleh perbedaan jari-jari ionik Zn^{2+} (0,72) dan Sb^{3+} (0,76). Regangan secara signifikan akan menyebabkan distorsi kisi dan degradasi dalam pertumbuhan kristal ZnO. Menurut Nasser et al., (2017), penambahan doping 1%, 3%, dan 5% puncak puncak difraksi yang meningkat terjadi karena ada nya penambahan doping sb.

Ukuran Kristal Film Tipis ZnO:SbCl₃

Hasil pengukuran kristal film tipis ZnO:SbCl₃ dengan konsentrasi 6% ukuran kristal lebih kecil dari pada konsentrasi doping 4% dan 5%. Penelitian ini hampir sama dengan dengan penelitian Ilican et al., (2008), yang mengatakan kualitas kristal film tipis menurun dengan penambahan sb disebabkan karena intensitas puncak (FWHM) begeser kearah sudut yang lebih rendah, sehingga ukuran kristal berubah menjadi lebih rendah. Menurut penelitian Wuttichai sinornate, dkk (2019) penurunan intensitas puncak yang tidak signifikan, yang membuat penurunan kristalinitas ZnO dan meningkatnya konsentrasi doping sb yang tinggi. Karena perbedaan dalam jari jari ion Sb^{3+} ($r=0,76$) dan Zn^{2+}

($r=0,72$), doping sb^{3+} dapat menggantikan Zn^{2+} dikisi ZnO sehingga mencegah pertumbuhan kristal ZnO dan menumbuhkan kristal Sb. Beberapa faktor yang mempengaruhi ukuran kristal adalah permukaan film tipis yang tidak merata saat di *spin-coating*, lapisan yang tebal dan jumlah atom yang masuk kedalam kisi ZnO tidak merata. Faktor-faktor yang mempengaruhi antara lain alat-alat yang digunakan kurang steril, kecepatan putaran, pre-heating,-post-heating, waktu tahan, dan metode yang digunakan.

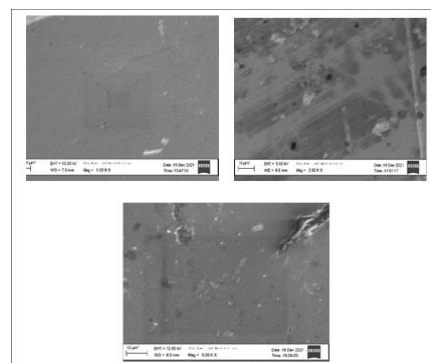
Perhitungan ukuran kristal yang terbentuk pada film tipis ZnO:SbCl₃ sesuai dengan tabel 1.

Tabel 1. Ukuran Kristal ZnO:SbCl₃

Sampel	Hkl	Fase	Peak		Ukuran Kristal (nm)
			2θ (degree)	FWHM (degree)	
ZnO:SbCl ₃ 4%	(1 0 0)	ZnO	31,8821	0,3070	26
ZnO:SbCl ₃ 5%	(1 0 0)	ZnO	31,8829	0,3070	26
	(1 0 1)	ZnO	36,5717	0,8187	10
ZnO:SbCl ₃ 6%	(1 0 0)	ZnO	31,9039	0,4605	18
	(0 0 2)	ZnO	34,3881	0,6140	14
	(1 0 1)	ZnO	36,3881	0,3582	24

Morfologi Film Tipis ZnO:SbCl₃

Uji morfologi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dan ketebalan lapisan tipis ZnO doping SbCl₃. Hasil pengujian SEM dengan perbesaran 3000x untuk lapisan yang dideposisikan diperlihatkan pada Gambar

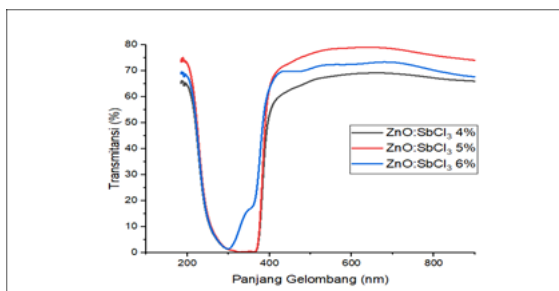


Gambar 2. Hasil SEM lapisan film tipis ZnO:SbCl₃ dengan konsentrasi doping (a) 4% (b) 5% dan (c) 6%.

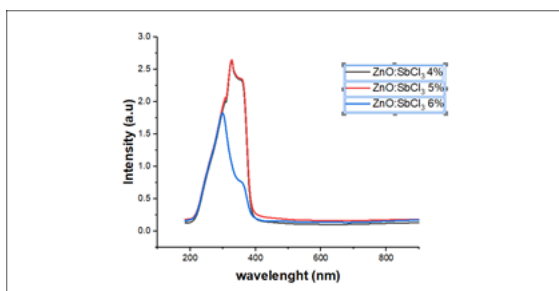
Gambar 2(a) memperlihatkan citra film ZnO doping SbCl₃ pada konsentrasi dopan 4% mempunyai permukaan halus pada film sedangkan untuk konsentrasi dopan 5% (gambar 2(b)) mempunyai permukaan yang kasar dengan retakan (crack) dan bulatan hitam Retakan dihasilkan pada pelapisan sebelumnya yang telah tertutupi oleh pelapisan lainnya. sedangkan bulatan hitam dihasilkan pada pelapisan terakhir. Retakan ini disebabkan oleh konsentrasi *sol-gel* yang cukup tinggi (Sakai Miller *et al*, 2006) dan tingginya laju pemanasan pada saat sintering oleh *furnance* elektrik (Sing & Tirimkudulu, 2007). Gambar 2(c) menunjukkan ketebalan gumpalan yang muncul dipermukaan film yang terjadi karena proses pelapisan yang kurang merata dipermukaan film. Menurut Carter dan Norton (2007), ketebalan ini dikategorikan sebagai film tebal.

Transmitansi Dan Absorbansi Film Tipis ZnO:SbCl₃

Pengujian sifat optik lapisan tipis ZnO dan ZnO:SbCl₃ dilakukan pengujian UV-Vis *Spectroscopy*. Setelah dilakukan pengujian UV-Vis diperoleh data transmitansi film tipis ZnO:SbCl₃ yang ditunjukkan pada grafik seperti gambar dibawah ini.



Gambar 3. Spektrum transmitansi lapisan film tipis ZnO:SbCl₃ terhadap panjang gelombang.

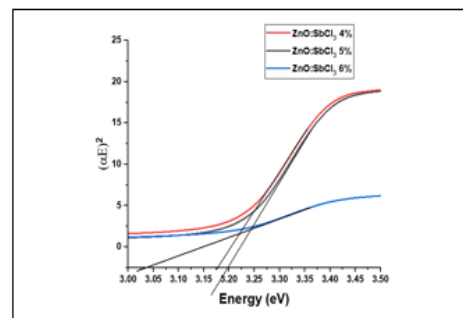


Gambar 4. Spektrum absorbansi lapisan film tipis ZnO:SbCl₃ terhadap panjang gelombang.

Nilai transmittansi yang meningkat pada film tipis ZnO:SbCl₃ menunjukkan penurunan nilai absorbansi yang tajam dalam kisaran panjang gelombang 300 nm – 700 nm yang merupakan panjang gelombang dari daerah ultraviolet, seperti yang terlihat pada gambar diatas. Hasil ini menunjukkan adanya kenaikan nilai transmittansi yang cukup tajam seiring dengan adanya penurunan nilai absorbansi yang cukup tajam pada sampel yang terjadi pada rentang panjang gelombang 350 nm sampai 400 nm dan stabil pada panjang gelombang <350 nm yang merupakan panjang ultraviolet. Puncak-puncak absorbansi muncul pada nilai 15% pada doping 6% dan diikuti dengan doping 5% dan 4% dan pada rentang 200-800 nm dapat dilihat bahwa cahaya yang diteruskan pada lapisan ZnO:SbCl₃ lebih banyak diserap. Penelitian ini sesuai dengan penelitian suffan, dkk (205) bahawa nilai absorbansi dengan cahaya tampak terdapat pada rentang panjang gelombang 200-800 nm. Penelitian ini sama dengan penelitian Diana, dkk (2018) menyatakan bahwa apabila absorbansi yang dihasilkan semakin besar, maka *bandgap* yang dihasilkan semakin kecil.

Energi Gap Film Tipis ZnO:SbCl₃

Energi band gap film tipis ZnO:SbCl₃ dapat dihitung menggunakan tauch plot dan diperoleh nilai E seperti terlihat gambar dibawah ini.



Gambar 5. Kurva $(\alpha h\nu)^2$ sebagai fungsi energi gap dengan variasi doping antimon

Berdasarkan gambar 5 diperoleh lebar energi band gap dari lapisan film tipis ZnO:SbCl₃ yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Energi gap lapisan film tipis ZnO:SbCl₃

Sample	Energi gap (eV)
ZnO:SbCl ₃ 4%	3,17
ZnO:SbCl ₃ 5%	3,20
ZnO:SbCl ₃ 6%	3,03

Gambar 5. merupakan grafik tauch plot antara $(\alpha h\nu)^2$ terhadap $h\nu$ dari 3 konsentrasi doping 4%,5% dan 6%. Nilai energi gap (E_g) ditentukan dari perpotongan bagian linier kurva dengan sumbu energi ($h\nu$). Nilai energi gap (E_g) masing masing sampel berturut adalah 3,17 eV, 3,20 eV dan 3,03 eV. Nilai E_g terkecil diperoleh pada konsentrasi doping 6%. Penelitian ini sesuai dengan penelitian Ramzi, dkk. (2018) yang melakukan penelitian tentang ZnO:SbCl₃ dengan presentasi doping 3% dan 5%. Nilai energi gap meningkat karena konsentrasi doping yaitu dari 3,23 eV dan 3,27 eV. Arti fisis dari nilai tersebut adalah energi yang diperlukan untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Secara keseluruhan, doping SbCl₃ berpengaruh terhadap energi *bandgap*. Hal ini diduga karena adanya energi termal yang menyebabkan perubahan energi eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Namun dalam penelitian ini, pada konsentrasi doping 5% dan 6% mengalami penurunan nilai energi gap yaitu dari 3,202 eV menjadi 3,121 eV. Penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian Wuttichai, dkk (2019) dengan konsentrasi doping 5% dan 10% memperoleh nilai energi band gap 3,28 eV menjadi 3,17. Menurut penelitian Diana, dkk (2018) yang menghasilkan nilai energi band gap yang rendah yang sama dengan penelitian ini menyatakan bahwa rendahnya *bandgap* ini menunjukkan energi yang diperlukan untuk mengeksitasi elektron dari ke pita valensi ke pita konduksi semakin rendah juga. Hal ini diakibatkan beberapa faktor, seperti permukaan yang tidak merata saat pelapisan ZnO:SbCl₃ yang menimbulkan refleksi cahaya dengan sudut yang tak sama sehingga terjadi penyerapan panjang gelombang sinar tampak atau bisa juga disebabkan oleh peristiwa *Blue-shift*. Peristiwa *Blue-shift* pada doping SbCl₃ sebagian besar dianggap berasal dari Efek Burstein-Moss, yaitu meningkatnya nilai energi celah pita optik (energi gap) ke tepi penyerapan dan didorong ke energi yang lebih tinggi konsentrasi doping antimoni klorida (Kim dkk, 2013).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan film tipis ZnO:SbCl₃ pada substrat kaca yang disintesis dengan metode *sol-gel spin coating* dengan pencampuran teknik *refluks*, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Kristal film tipis ZnO berbentuk *wurtzite hexagonal*.
2. Pengaruh doping SbCl₃ pada lapisan film tipis ZnO terhadap ukuran kristal dalam penelitian ini adalah semakin tinggi nilai konsentrasi doping maka semakin kecil ukuran kristal.
3. Pengaruh doping SbCl₃ pada lapisan film tipis ZnO terhadap sifat optik dalam penelitian ini adalah semakin tinggi konsentrasi doping maka semakin kecil nilai energi gap yang dimiliki.
4. Pengaruh doping SbCl₃ pada lapisan film tipis ZnO terhadap strukturnya dalam penelitian ini adalah pada konsentrasi 4% terlihat permukaan kasar, pada konsentrasi 5% permukaan mengalami retakkan saat proses pelapisan sedangkan pada konsentrasi 6% terlihat munculnya gumpalan disekitar permukaan. Ini dapat disimpulkan terjadi karena penambahan konsentrasi doping yang meningkat dan saat proses pelapisan film tipis yang tidak merata.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, ada beberapa saran yang dapat diperhatikan untuk penelitian selanjutnya, yaitu :

1. Mengganti doping ZnO dengan unsur lain yang lebih efisien dan banyak terdapat di alam.
2. Perlu adanya ruang vakum saat pelapisan agar zat pelarut tidak terampur dengan zat yang ada diluar.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk mengetahui struktur dan sifat optik film tipis dengan variasi pemanasan saat *pre-heating* dan *post-heating*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. 2010. Karakterisasi Nanomaterial. CV. Rezeki Putera, Bandung
- Benelmadjat, H., Touka, N., Harieche, B., Boudine, B., Halimi, O., & Sebais, M. (2010). Study of structural and optical properties of Sb doped ZnO thin films deposited by spin coating method. *Optical Materials*, 32(7), 764–767. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2010.02.011>
- Cao, M. M., Zhao, X. R., Duan, L. B., Liu, J. R., Guan, M. M., & Guo, W. R. (2014). Electrical and optical properties of Sb-doped ZnO thin films synthesized by sol-gel method. *Chinese Physics B*, 23(4). <https://doi.org/10.1088/1674-1056/23/4/047805>
- Durri, S., & Sutanto, H. (2015). *Karakterisasi Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO doping Al yang di Deposisi diatas Kaca dengan Metode Sol-Gel Teknik Spray-Coating*. XIX, 38–40.
- Handani, S. (2017). *Pengaruh Temperatur dan Waktu Putar Terhadap Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO yang Dibuat dengan Metode Sol-Gel Spin Coating*. 6(2), 156–161.
- Hidayanto, E., Sutanto, H., & Firdausi, K. S. (2013). Pembuatan Lapisan Fotokatalis Zinc Oxide (Zno) Dengan Teknik Spray Coating Dan Aplikasinya Pada Pengereng Jagung. *Berkala Fisika*, 16(4), 119–124.
- Ilcan, S., Caglar, Y., Caglar, M., Yakuphanoglu, F., & Cui, J. (2008). Preparation of Sb-doped ZnO nanostructures and studies on some of their properties. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 41(1), 96–100. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2008.06.018>
- Irawana, N. (2019). Sintesis Dan Karakteristik Anorganik Perovskite Halida Berbasis Metylamonium Dan Antimoni (III) Chlorida Dengan Metode Invers Temperature Chrystallization. *Fisika USU*, 6, 11–12.
- Liang, J. K., Su, H. L., Kuo, C. L., Kao, S. P., Cui, J. W., Wu, Y. C., & Huang, J. C. A. (2014). Structural, optical and electrical properties of electrodeposited Sb-Doped ZnO nanorod arrays. *Electrochimica Acta*, 125, 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.01.029>
- Nasser, R., Othmen, W. B. H., Elhouichet, H., & Férid, M. (2017). Preparation, characterization of Sb-doped ZnO nanocrystals and their excellent solar light driven photocatalytic activity. *Applied Surface Science*, 393, 486–495. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.09.158>
- Siregar, N., Marlianto, E., & Motlan. (2015). The Effect of Concentration of Structure and Optical Properties of Thin Films Synthesized by Sol-Gel Methods Spin Coating. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, 22(1), 428–434.
- Siregar, N. (2015). *Studi Sintesis Dan Karakteristik Film Tipis ZnO Dengan Sol-Gel SPin Coating*.
- Siregar, Nurdin, Marlianto, E., Gea, S., & Motlan. (2015). Pengaruh Konsentrasi Struktur dan Sifat Optik Film Tipis Hasil Sintesis Metode Sol-Gel Spin Coating. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, 22(1), 428–434.
- Siregar, Nurdin, Motlan, & Panggabean, J. (2020). The effect magnesium (Mg) on structural and optical properties of ZnO:Mg thin film by sol-gel spin coating method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1428(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1428/1/012026>

Sugianto, Zannah, R., Mahmudah, S., Astuti, B., & Wibowo, R. (2017). Pengaruh Temperatur Annealing Pada Sifat Listrik Film Tipis Zinc Oksida Doping Aluminium Oksida. *Jurnal Mipa*, 39(2), 115-122.