

Penggunaan Metode *DC Magnetron Sputtering* dalam Pembuatan Lapisan Tipis Tipe N (AZO) Sebagai Modul Termoelektrik

Elysa Nensy Irawan¹, Melania S. Muntini¹, Aldo Mahenda Putra¹, Tosawat Seetawan², Kunchit Singsoog², Somphorn Thawankaew², Watchara Caho-Moo², and Athorn Vora-Ud²

¹Departemen Fisika, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

²Thin Film Research Laboratory, Center of Excellence on Alternative Energy, Research and Development Institution, Sakon Nakhon Rajabhat University, 680 Nittayo Rd, Mueng District, Sakon Nakhon 47000, Thailand

e-mail: melania@physics.its.ac.id

Abstrak—Penelitian mengenai termoelektrik sedang gencar dikembangkan sejak tahun 1990. Pada tahun 2017, mulai dikembangkan termoelektrik yang menggunakan lapisan tipis. Pada penelitian ini, dilakukan fabrikasi termoelektrik lapisan tipis tipe N menggunakan material Zink Oxide (ZnO) di doping dengan Al₂O₃. Massa ZnO yang diperlukan sebanyak 20.680-gram dan Al₂O₃ 10.079 gram. Proses fabrikasi lapisan tipis dilakukan menggunakan mesin *DC Magnetron Sputtering*. Tahapan-tahapan dalam melakukan penelitian ini terbagi ke dalam tiga tahapan utama yakni sintesis, fabrikasi (*sputtering*), dan pengujian. Proses *sputtering* dilakukan selama 10 menit dan substrat yang digunakan yakni kaca. Pengujian yang dilakukan yakni pengujian ketebalan menggunakan *Tolansky Apparatus*, pengujian XRD untuk mengetahui fasa yang terbentuk, pengujian ZEM-3 untuk mengetahui resistivitas, Koefisien Seebeck, dan *power factor*. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, diperoleh ketebalan dari lapisan tipis yang terbentuk yakni 74.72 nm. Nilai Koefisien Seebeck dari lapisan tipis yang terbentuk semakin bertambah seiring kenaikan suhu sehingga dapat disimpulkan bahwa material AZO baik digunakan untuk aplikasi termoelektrik pada rentang suhu 200-350 °C.

Kata Kunci—*DC Magnetron Sputtering*, Koefisien Seebeck, termoelektrik, lapisan tipis.

I. PENDAHULUAN

ENERGI merupakan faktor yang sangat diperlukan untuk pertumbuhan Negara dan pembangunan ekonomi. Persediaan energi fosil yang digunakan untuk energi listrik memiliki cadangan yang terbatas. Ketergantungan Indonesia pada energi fosil membuat produksi minyak bumi dalam negeri menurun drastis sejak tahun 2001. Keadaan ini didorong oleh kebutuhan yang terus naik dan tumbuhnya sektor industri di Indonesia. Ketergantungan energi fosil masih didominasi oleh kebutuhan minyak yang mencapai 41,8 %, batu bara 29% dan gas 23 %. Kebutuhan energi yang besar ini tidak bisa ditopang oleh cadangan energi Indonesia yang semakin menipis. Melihat kondisi di Indonesia dimana kebutuhan listrik semakin meningkat maka perlu dikembangkan potensi energi baru dan terbarukan. Potensi energi terbarukan yang dapat dikembangkan di Indonesia yaitu angin, air terjun, panas bumi, pasang surut air laut (tidal), biomassa dan radiasi matahari (solar). Pembuatan termoelektrik memungkinkan untuk mengubah panas matahari menjadi energi listrik.

Salah satu komponen terpenting pada termoelektrik adalah lapisan tipis (*thin film*). Sehingga dalam beberapa tahun terakhir, penelitian yang gencar dikembangkan adalah penelitian mengenai lapisan tipis. Lapisan tipis umumnya

lapisan dari bahan organik, anorganik, logam, maupun nonlogam yang memiliki sifat konduktor, semikonduktor, maupu isolator [1]. Tidak hanya dimanfaatkan pada termoelektrik, saat ini lapisan tipis banyak dikembangkan dalam berbagai bidang, seperti pada penyusun kapasitor, sensor-sensor, sel surya, dan sebagainya.

Penumbuhan lapisan tipis banyak dilakukan dengan berbagai metode antara lain *close space sublimation* (CSS), *vapor transport deposition* (VTD), *physical vapor deposition* (PVD), *chemical vapour deposition* (CVD), *molecular beam epitaxy* (MBE), dan *sputtering* [2]. Dari beberapa metode tersebut, metode yang sering digunakan adalah metode *sputtering*. Metode ini banyak dipilih karena memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan teknik-teknik pembentukan film tipis lainnya [3]. Oleh karena itu, penulis melakukan *coop* penelitian dengan judul “Fabrikasi *Thin Film* Tipe N (AZO) Sebagai Material Termoelektrik Menggunakan Metode *DC Magnetron Sputtering*”.

Lapisan tipis merupakan suatu lapisan yang terbentuk dari fraksi suatu material dengan ketebalan berkisar pada orde nanometer hingga mikrometer. Pembentukan lapisan tipis dilakukan dengan berbagai metode antara lain *close space sublimation* (CSS), *vapor transport deposition* (VTD), *physical vapor deposition* (PVD), *chemical vapour deposition* (CVD), *molecular beam epitaxy* (MBE), dan *sputtering* (McCandless, 2003). Dalam penelitian ini, ZnO digunakan karena memiliki stabilitas termal yang tinggi dan mudah untuk didoping menggunakan unsur-unsur golongan III (Al, Ga, In, dll.) [4].

ZnO dirasa memiliki kelebihan khusus karena merupakan unsur yang memiliki kestabilan termal, murah, tidak beracun, dan tidak rusak pada suhu tinggi [5]. Zinc Oxide merupakan senyawa anorganik yang bersifat amfoter dan senyawa ini hampir tidak larut dalam alkohol maupun air tetapi larut dalam kebanyakan asam. ZnO merupakan jenis lapisan tipis konduktif yang transparan dan karakteristik elektro-optiknya dapat ditingkatkan dengan cara deposisi [6]. Kelebihan ZnO yang lain adalah dapat ditumbuhkan pada temperatur substrat yang relatif rendah sekitar 200-400°C [7]. Namun untuk aplikasi termoelektrik, resistivitas listrik dari material ZnO terlalu tinggi apabila tidak diolah terlebih dahulu [8]. Untungnya, hal tersebut dapat diminimalisasi melalui doping.

Sifat termoelektrik dari lapisan tipis ZnO dapat ditingkatkan dengan doping Aluminium. Unsur golongan III A khususnya aluminium (Al) banyak digunakan sebagai dopan dan dapat menaikkan konduktivitas listrik film tipis ZnO hingga berorde 105 Ω.cm [9]. Di antara penemuan-



Gambar 1. Mesin DC Magnetron Sputtering.

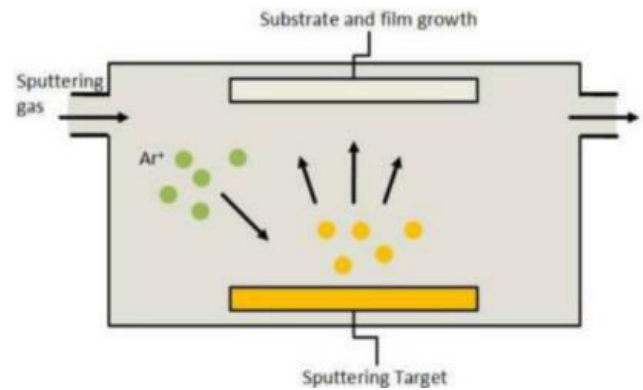
penemuan sebelumnya, ditemukan bahwa ZnO yang didoping dengan Al (AZO) adalah salah satu bahan termoelektrik terbaik untuk aplikasi termoelektrik suhu tinggi [10].

Terdapat banyak metode untuk membentuk lapisan tipis, salah satunya yaitu *glow-discharge*. *Glow discharge* merupakan salah satu tipe pembentukan plasma dengan cara melewati arus melalui medium gas. Plasma merupakan gas bermuatan dan partikel netral yang menunjukkan perilaku kolektif [11]. Metode *glow-discharge* dibagi lagi menjadi 2, yakni *sputtering* dan proses plasma. Salah satu teknologi *sputtering* yang sering digunakan yaitu *magnetron sputtering* [12].

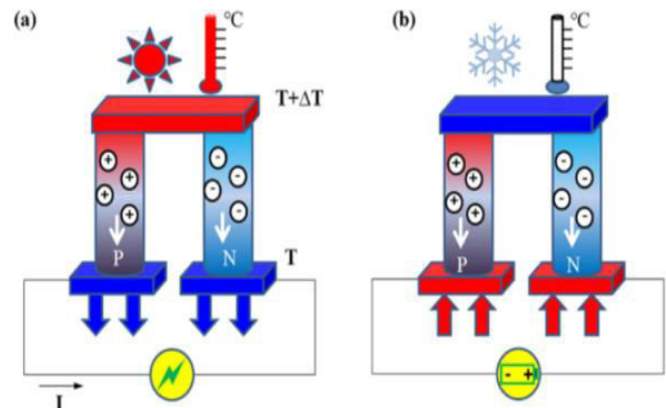
Metode *magnetron sputtering* terdapat berbagai macam teknik yaitu *alternating current* (AC), *direct current* (DC), *radio frequency* (RF), and *pulsed-dc*. Pada penelitian kali ini, metode yang dipilih adalah metode *DC Magnetron Sputtering*. *DC magnetron* digunakan untuk bahan logam. *DC magnetron* merupakan proses yang paling murah karena pasokan listrik DC lebih sederhana untuk diproduksi [13].

Pada teknik *DC Magnetron Sputtering*, bahan target yang akan digunakan sebagai pelapis diuraikan menggunakan molekul gas terionisasi sehingga menyebabkan atom-atom target melepaskan elektronnya dan menjadi suatu plasma. Untuk mendapatkan hasil *sputtering* yang baik maka sejumlah kriteria harus dipenuhi. Pertama, energi ion yang cukup harus dibuat dan diarahkan ke permukaan target untuk mengeluarkan atom dari material. Kedua, atom-atom yang dikeluarkan harus dapat bergerak bebas ke arah objek yang akan dilapisi. Pada proses *magnetron sputtering* diperlukan ruangan vakum dengan tekanan rendah untuk mempertahankan energi ion yang tinggi dan mencegah terjadinya tabrakan antaratom gas setelah terionisasi dari target [14].

Atom yang terionisasi ini kemudian diendapkan sebagai lapisan tipis pada substrat yang akan digunakan. *DC Magnetron Sputtering* adalah jenis *sputtering* yang paling dasar dan murah untuk deposisi logam. Dua keuntungan utama DC sebagai sumber daya untuk proses ini adalah mudah dikontrol dan rendah biaya. Mesin *DC Magnetron Sputtering* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 2. Proses Sputtering.



Gambar 3. Fenomena Efek Seebeck (a) dan Efek Peltier (b).

Prinsip dasar dari metode *DC Magnetron Sputtering* adalah material target yang akan digunakan sebagai pelapis ditempatkan dalam ruang vakum dan sejajar dengan substrat yang akan dilapisi. Ruang vakum dipompa sehingga mencapai tekanan dasar untuk menghilangkan H_2O , udara, gas H_2 , dan gas lainnya. Kemudian ruang vakum diisi kembali menggunakan gas inert dengan kemurnian tinggi, semisal Ar karena massa relatifnya besar dan memiliki kemampuan yang besar untuk menumbuk target sehingga memunculkan plasma. Tekanan yang digunakan selama proses *sputtering* berkisar dari 0,5 mTorr hingga 100 mTorr. Arus listrik DC yang digunakan biasanya dalam kisaran 2 hingga 5 kV.

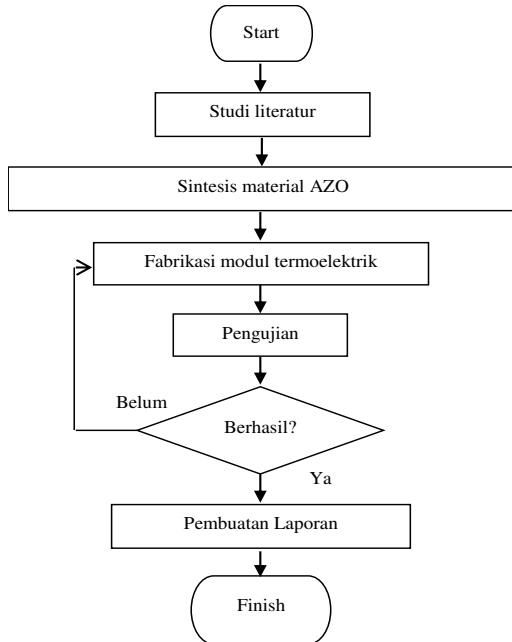
Atom gas Ar yang netral akan terionisasi karena bertabrakan kuat dengan atom-atom target. Atom-atom gas Ar yang terionisasi digerakkan menuju substrat. Disini, substrat merupakan anoda atau kutub positif sehingga dapat menarik ion-ion gas Ar tersebut. Kemudian elektron-elektron dari target yang terlepas akan mengembun dapat membentuk lapisan film tipis pada substrat yang digunakan. Proses *sputtering* dapat ditampilkan sebagai Gambar 2.

Pada dasarnya, mesin *sputtering*, dibagi menjadi 3 bagian utama, yaitu: *vacuum chamber*, *power supply*, dan pompa vakum. *Power supply* dilengkapi dengan *voltage regulator* untuk menyediakan tegangan yang tinggi pada waktu proses *sputtering*. Rangkaian *power supply* terdiri dari transformator *step up*, kapasitor *high voltage*, dan dioda *high voltage* sebagai inti dari rangkaian *power supply* [15].

Termoelektrik (TE) merupakan piranti elektronik yang memiliki kemampuan untuk mengubah energi panas menjadi listrik berdasarkan efek Seebeck (Gambar 3a). Efek ini ditemukan pada tahun 1821 oleh ilmuwan Jerman Thomas Johann Seebeck [16]. Mekanisme terbentuknya energi TE dari material yakni, ketika material diberikan

Tabel 1.
Kondisi *Sputtering*

Parameter	Type N
Base Pressure (Torr)	3.5 x 10 ⁻⁵
Operation Pressure (Torr)	1.3x10 ⁻²
Ar Flow Rate (sccm)	20
Voltage (Volt)	200
Current (mA)	100
Vacuum Chamber Temperatur (°C)	20
Deposition Time (minute)	10



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian.

perbedaan suhu (ΔT), pembawa muatan (elektron untuk material tipe-n atau *hole* untuk material tipe-p) dari sisi panas akan menyebar ke sisi dingin. Akibatnya, potensial elektrostatik (ΔV) akan terinduksi [17]. Potensi elektrostatik yang dihasilkan oleh kaki TE tunggal sangatlah rendah (dari beberapa μV hingga mV tergantung pada material yang digunakan). Oleh karena itu, untuk mencapai tegangan dan daya keluaran tinggi, generator TE biasanya terbuat dari puluhan, atau bahkan ratusan, pasangan TE. Termoelektrik juga memiliki kemampuan mengubah energi listrik menjadi energi panas berdasarkan efek Peltier (Gambar 3b) yang ditemukan pada tahun 1834 oleh ilmuwan Perancis Jean Charles Athanase Peltier. Efek Peltier pada dasarnya adalah kebalikan dari efek Seebeck.

Bahan termoelektrik tradisional seperti Bi_2Ti_3 dan $PbTe$, telah ditemukan sejak tahun 1950 dan digunakan dalam TEGs radioisotop dalam misi Apollo [18]. Pada termoelektrik, dikenal istilah Koefisien Seebeck atau *thermopower*. Koefisien Seebeck memiliki peran penting dalam karakterisasi dan mengukur efisiensi termoelektrik. Bahan yang memiliki koefisien Seebeck besar memiliki efisiensi yang besar pula dalam hal mengubah panas menjadi energi listrik [19]. Koefisien Seebeck dari material dapat dituliskan dalam persamaan:

$$S = -\frac{\Delta V}{\Delta T} \approx \frac{1}{n} \tag{1}$$

Disisi lain, termoelektrik menggunakan bahan semikonduktor sebagai komponen penyusunnya sehingga dikenal kuantitas tak berdimensi yakni *Figure of Merit* (ZT). *Figure of Merit* adalah pengukuran utama dari kinerja nanokomposit suatu termoelektrik dan dapat dituliskan dalam persamaan:

$$ZT = \frac{\alpha^2 \sigma T}{\kappa} \tag{2}$$

Di mana, T adalah suhu dalam Kelvin, Z adalah *Figure of Merit* dari termoelektrik, α menunjukkan Koefisien Seebeck diukur dalam volt per kelvin (V/K), σ adalah konduktivitas listrik yang diukur dalam Siemens per meter (S/m), dan κ merupakan konduktivitas termal yang diukur dalam watt per kelvin per meter (W/K•m). Dalam melanjutkan persamaan sebelumnya, dapat dituliskan persamaan dari Koefisien Seebeck sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{8\pi^2 k_b^2}{3eh^2} m^* T \left(\frac{\pi}{3n}\right)^2 \tag{3}$$

Dimana n adalah konsentrasi pembawa, m^* merupakan massa efektif pembawa, T berarti suhu, e adalah muatan dasar elektron, k_b adalah konstanta Boltzman, dan h adalah konstanta Planck. Dalam hal ini, konduktivitas listrik (σ) suatu material ditentukan berdasarkan konsentrasi pembawanya (n), mobilitas (μ), dan konstanta muatan dasar elektron (e) yakni $1,6 \times 10^{-19}$ C.

$$\sigma = ne\mu \tag{4}$$

Disisi lain, dikenal istilah resistivas. Resistivitas menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk menghambat aliran listrik. Resistivitas merupakan kebalikan dari konduktivitas sehingga dapat dituliskan dalam persamaan:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \tag{6}$$

Di antara sifat-sifat alami material, konduktivitas termal suatu material ditentukan oleh dua aspek, yakni κ_e (elektron dan *hole* yang mengangkut panas) dan κ_l (fonon yang bergerak melalui kisi-kisi) dan mengarah pada

$$\kappa = \kappa_e + \kappa_l \tag{7}$$

Sebagian besar, κ secara langsung terkait dengan konduktivitas listrik berdasarkan Hukum Wiedemann-Franz dan konduktivitas termal listrik (κ_e) sebanding dengan konduktivitas listrik dan suhu (T).

$$k_e = \sigma L T = ne\mu L T \text{ (untuk semikonduktor)} \tag{6}$$

Dimana L adalah faktor Lorenz dengan nilai $2,4 \times 10^{-8} J^2 K^{-2} C^{-2}$ untuk elektron bebas, σ adalah konduktivitas listrik, T adalah suhu, n adalah konsentrasi pembawa, e adalah muatan dasar elektron, dan μ adalah mobilitas pembawa.

Sejauh ini, modul termoelektrik yang tersedia secara komersial adalah kaku dan ukurannya relatif besar sehingga membatasi penggunaannya dalam banyak hal sehingga saat ini dikembangkan termoelektrik menggunakan lapisan tipis. Termoelektrik lapisan tipis memiliki susunan meliputi substrat, lapisan tipis, dan elektroda. Substrat memiliki ketebalan hingga ratusan kali lipat dibanding lapisan tipis [20]. Mengacu pada penelitian yang telah ada, termoelektrik dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik semisal diterapkan sebagai piranti dalam hal pengisian aki. Jenis termoelektrik yang dapat diaplikasikan sebagai penghasil energi listrik dikenal dengan istilah Termoelektrik Generator. Termoelektrik Generator menghasilkan energi listrik berdasarkan perbedaan suhu (ΔT) yang terjadi pada kedua sisi termoelektrik [21].

II. METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah serbuk ZnO 20.680 gram, serbuk Al_2O_3 10.079 gram, mesin *DC Magnetron Sputtering* sebagai pembentuk lapisan tipis, *ultrasonic cleaner* sebagai pembersih substrat, *planetary ball mill* sebagai penghalus serbuk, *furnace* untuk



Gambar 5. Lapisan Tipis yang Terbentuk.

melakukan kalsinasi dan sintering, mesin pengepres, mesin XRD dan ZEM-3 sebagai mesin pengujian performa lapisan tipis, dan *Tolansky Apparatus* sebagai pengukuran ketebalan.

B. Langkah Kerja

Langkah kerja dalam melakukan penelitian ini terbagi dalam tiga tahap utama yakni sintesis, fabrikasi, dan pengujian. Proses sintesis meliputi penimbangan massa, pemanasan menggunakan *hot plate*, *grinding* menggunakan *Planetary Ball Mill* selama 3 jam, sintering menggunakan *furnace* pada suhu 500 °C selama 5 jam, *pressing* untuk membentuk padatan target menggunakan alat pengepres dengan tekanan 2500 Bar selama 12 menit, kemudian kalsinasi menggunakan *furnace* pada suhu 600 °C selama 5 jam. Sedangkan tahap fabrikasi dimulai dengan membuat desain masker untuk lapisan tipis dan elektroda menggunakan *software SolidWorks2013*. Setelah itu, desain dicetak sehingga terbentuk stiker. Proses *sputtering* dilakukan menggunakan mesin *DC Magnetron Sputtering* selama 10 menit. Kemudian dilakukan pengujian ketebalan menggunakan *Tolansky Apparatus*, XRD, dan ZEM-3.

C. Flowchart

Adapun *flowchart* dari percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 4:

D. Persamaan yang Digunakan

Persamaan yang digunakan untuk menghitung ketebalan lapisan tipis yakni:

$$t = \frac{\Delta x}{x} \left(\frac{589}{2} \right) \quad (7)$$

Dimana t adalah ketebalan lapisan tipis yang akan diukur, Δx adalah pergeseran pola gelap terang, x adalah lebar pola gelap, dan 589 adalah panjang gelombang dari lampu halogen yang digunakan dalam orde nm.

III. HASIL DAN DISKUSI

Sampel tipe N yang digunakan pada penelitian ini adalah Zinc Oxide (ZnO) didoping menggunakan Aluminium Oxide (Al_2O_3). ZnO mempunyai *band gap* yang lebar sekitar 3,21 eV pada temperatur ruang. ZnO digunakan dipenelitian ini karena ZnO merupakan material semikonduktor dengan Koefisien Seebeck yang baik

sehingga cocok digunakan untuk material termoelektrik. Sifat menarik yang dimiliki oleh ZnO adalah pembentukan kristalnya dapat terjadi pada temperatur di bawah 400°C sehingga tidak perlu melakukan proses *sputtering* dengan

suhu yang tinggi. Sayangnya, resistivitas dari ZnO masih terbilang tinggi sehingga untuk menurunkan resistivitasnya, ZnO perlu didoping dengan dopan ekstrinsik. Pada penelitian ini, ZnO didoping menggunakan Al_2O_3 karena Al_2O_3 memiliki energi gap sekitar 0.682 eV. Dengan energi gap sebesar itu, Al_2O_3 termasuk material semimetal dengan karakteristik nilai konduktivitas listrik yang tinggi sedangkan resistivitasnya rendah. Dengan demikian, diharapkan dapat dihasilkan sampel yang memiliki Koefisien Seebeck tinggi dan konduktivitas listrik yang tinggi pula.

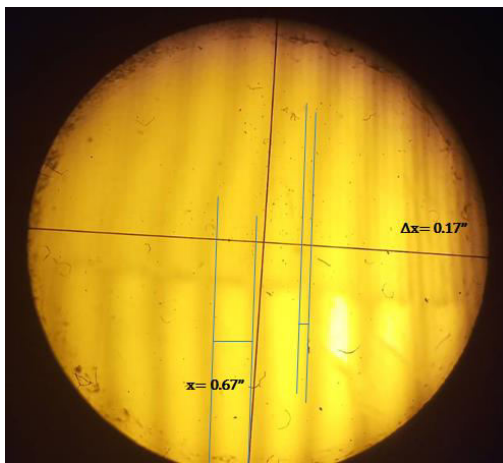
Pada penelitian ini digunakan substrat dari material kaca berbahan SiO_2 . Pada dasarnya, kaca merupakan material nonkristal. Konduktivitas termal dari kaca SiO_2 sekitar 1.4 W/m.K sedangkan titik leburnya yakni pada suhu 1713 °C. Berdasarkan karakteristik tersebut, maka kaca SiO_2 dipilih sebagai substrat agar modul termoelektrik yang terbentuk dapat diaplikasikan pada suhu tinggi.

Proses pembentukan lapisan tipis terjadi di *vacuum chamber*. Proses *sputtering* yang diterapkan pada penelitian ini yakni *DC Sputtering*. Sesuai dengan namanya, proses *sputtering* ini memanfaatkan arus listrik searah (DC). Pada *vacuum chamber* terdapat sepasang elektroda yang saling berhadapan. Pada bagian bawah terdapat katoda sedangkan pada bagian atas terdapat anoda. Target dipasang pada katoda sedangkan substrat dipasang pada anoda. Saat tekanan pada *vacuum chamber* mencapai *Base Pressure*, gas Ar netral mulai dimasukkan pada saat yang sama pula, tegangan tinggi diberikan sehingga memunculkan medan listrik dan plasma. Saat medan listrik yang timbul sangat

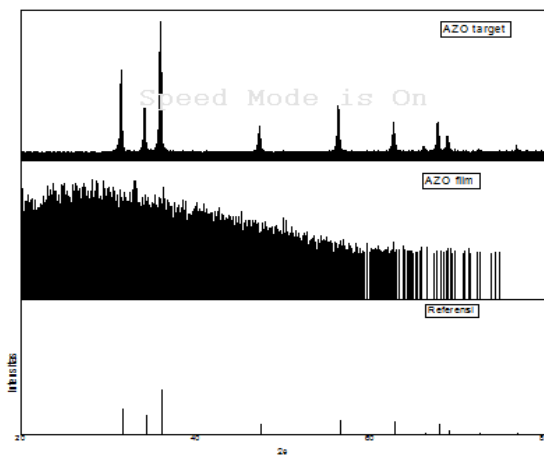
besar maka akan ada elektron yang terlepas dan menuju anoda. Ketika ion gas Argon (Ar^+) yang memiliki energi tinggi bergerak menuju katoda dan menumbuk target maka atom atom dari target akan terpercik keluar. Hasil percikan tersebut ke segala arah sehingga akan menumbui substrat. Disisi lain, pada *vacuum chamber* juga terdapat sistem pendingin sehingga atom-atom target yang terpercik pada substrat akan terkondensasi dan menumbui substrat lalu terbentuklah lapisan tipis. Proses pembentukan lapisan tipis terjadi dalam kondisi seperti Tabel 1.

Setelah lapisan tipis terbentuk maka sangatlah perlu untuk mengetahui ketebalan lapisan tipis tersebut. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat yang bernama *Tolansky Apparatus*. Alat ini terdiri dari seperangkat mikroskop dan cahaya lampu halogen. Hasil lapisan tipis yang terbentuk diambil gambarnya menggunakan kamera secara manual untuk dihitung ketebalannya. Pengukuran ketebalan dilakukan menggunakan rumus Tolansky. Karena sifat AZO yang transaran maka perbedaan gelap terang pada gambar yang teramati tidak begitu tampak. Ukuran ketebalan lapisan yang terbentuk bergantung pada lamanya proses *sputtering*. Foto hasil pengamatan menggunakan *Tolansky Apparatus* dapat dilihat pada Gambar 6.

Setelah diperoleh gambar dari hasil pengamatan menggunakan *Tolansky Apparatus* maka dilakukan perhitungan secara manual untuk mengetahui ketebalan lapisan tipis yang terbentuk. Panjang gelombang cahaya halogen yang digunakan pada pengukuran ini yakni 589 nm. Sehingga ketebalan dari lapisan tipis yang terukur untuk tipe



Gambar 6. Hasil Pengamatan Ketebalan Lapisan Tipis.

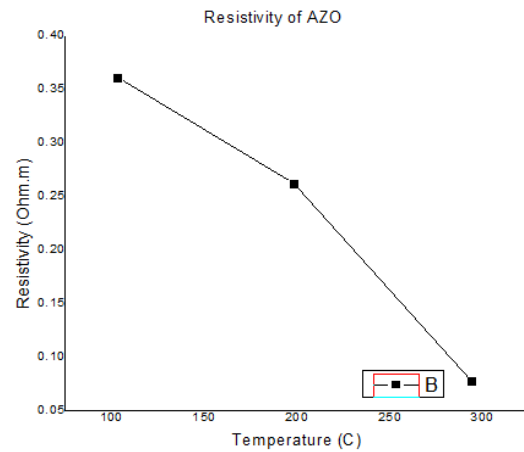


Gambar 7. Hasil XRD Target AZO.

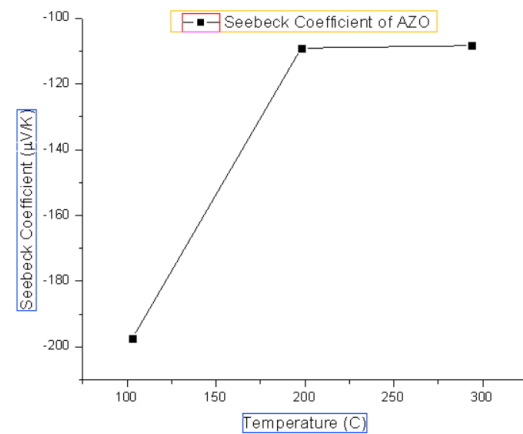
N sebesar 74.72 nm. Angka tersebut sangatlah kecil sehingga dapat dikatakan bahwa lapisan yang terbentuk sangatlah tipis. Pada umumnya, lapisan tipis yang baik memiliki ketebalan berorde micrometer. Ukuran ketebalan dari apisan tipis yang terbentuk bergantung pada lamanya proses sputtering [24]. Semakin lama proses sputtering maka semakin tebal pula lapisan tipis yang terbentuk karena akan ada banyak atom-atom target yang menumbuhkan substrat.

Pada penelitian ini, pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui fasa yang terbentuk, apakah dia termasuk golongan kristal atau yang lainnya. Semua sampel yang bersifat kristal akan menghasilkan puncak-puncak yang ekstrim pada grafik yang teramati. Apabila tidak terdapat puncak yang ekstrim, maka sampel tersebut digolongkan pada material amorfus. Mesin XRD yang digunakan yakni XRD tipe Lab-X 6100. Jenis difraksi yang digunakan pada penelitian ini yakni difraksi Cu-K α . Cu merupakan jenis bahan sasaran yang digunakan untuk menghasilkan radiasi sinar X sedangkan K α merupakan sinar yang digunakan untuk mendifraksikan sampel uji. Panjang gelombang yang dimiliki oleh radiasi Cu-K α adalah 0.5418 Å dan memiliki energi radiasi yang besar dibandingkan jenis radiasi yang lain semisal radiasi Cu-K β .

Pada penelitian ini, sampel material tipe N yang digunakan memiliki perbandingan ZnO:Al₂O₃ sebesar 98%:1%. Setelah terbentuk padatan target, dilakukan pengujian XRD untuk melihat fasa yang terbentuk. Hasil pengujian XRD dari target dapat dilihat pada Gambar



Gambar 8. Pengujian Resistivitas Lapisan Tipis AZO.



Gambar 9. Pengujian Koefisien Seebeck Lapisan Tipis AZO.

berikut 7. Dari hasil pengujian XRD, tampak bahwa fasa yang terbentuk merupakan kristalin karena terdapat banyak puncak yang ekstrim. Untuk memastikan bahwa fasa yang terbentuk sudah sesuai dengan referensi, maka dilakukan pencocokan puncak XRD antara sampel yang dibuat dengan referensi. Dapat kita amati dari kedua grafik bahwa puncak yang terbentuk terdapat pada sudut yang sama sehingga dapat kita simpulkan bahwa fasa sampel target sudah sesuai dengan fasa referensi dan dapat digunakan untuk proses sputtering.

Tidak hanya dilakukan pengujian terhadap target, dilakukan pula pengujian terhadap lapisan tipis yang sudah terbentuk. Berdasarkan hasil pengujian, dapat kita amati lapisan tipis yang terbentuk memiliki fasa amorfus. Dikatakan amorfus karena tidak terdapat puncak yang ekstrim dari grafik yang terbentuk. Berdasarkan grafik yang terbentuk, terdapat perbedaan hasil pengujian antara target dengan lapisan tipis yang terbentuk. Target memiliki struktur kristal sedangkan lapisan tipis memiliki struktur amorfus. Hal tersebut diakibatkan oleh tipisnya lapisan yang terbentuk sehingga pengukuran tidak terbaca oleh mesin XRD karena mesin XRD yang digunakan tidak dapat membaca lapisan dengan ketebalan kurang dari 300μm. Struktur amorfus merupakan struktur yang dimiliki oleh kaca SiO₂ yang digunakan sebagai substrat lapisan tipis. Energi dari radiasi Cu-K α cukup besar sehingga apabila lapisan tipis yang terbentuk terlalu tipis, paretikel K α bisa langsung menerobos lapisan tipis dan menumbuk pada substrat kaca SiO₂ sehingga menghasilkan pola difraksi yang amorfus.

Pengujian menggunakan alat bernama ZEM-3 dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui resistivitas dan Koefisien Seebeck dari lapisan tipis yang terbentuk. Hasil pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada 8 dan 9. Pengujian resistivitas dilakukan pada variasi suhu sebesar 100°C, 200°C, dan 300°C. Resistivitas menggambarkan kemampuan suatu bahan dalam menghambat aliran arus listrik. Dengan demikian, semakin rendah nilai resistivitas suatu bahan maka bahan tersebut semakin bersifat konduktor. Dari grafik di atas, terlihat bahwa ketika suhu ZEM-3 dinaikkan maka nilai resistivitas semakin turun. Salah satu faktor luar yang berpengaruh terhadap nilai resistivitas suatu bahan adalah suhu. Ketika suhu dinaikkan maka elektron-elektron pada suatu bahan semikonduktor akan mendapatkan energi untuk bergerak menuju pita konduksi sehingga menyebabkan mudahnya elektron terlepas dari ikatan dan menjadi elektron bebas. Elektron bebas tersebut akan mengalir sebagai aliran listrik.

Selain itu, pada penelitian ini juga dilakukan pengujian terhadap nilai Koefisien Seebeck dari masing-masing tipe lapisan tipis. Gambar di atas menunjukkan hasil pengujian koefisien seebeck menggunakan ZEM-3. Pengujian ini menggunakan variasi suhu, yakni 100°C, 200°C, dan 300°C. Koefisien Seebeck merupakan besaran yang penting dalam hal penyusunan termoelektrik karena nilai koefisien seebeck akan menentukan seberapa baik performa dari termoelektrik yang terancang. Koefisien Seebeck dari material tipe N bernilai negatif karena pembawa muatan mayoritas pada material tipe N adalah elektron. Dari grafik yang terbentuk, dapat kita amati bahwa nilai koefisien seebeck meningkat seiring dengan bertambahnya suhu. Hal ini terlihat jelas dari persamaan hubungan koefisien seebeck dengan suhu, yakni besar koefisien seebeck berbanding terbalik dengan temperatur.

Metode *DC Magnetron Sputtering* memiliki kelebihan dibandingkan metode pembuatan lapisan tipis yang lainnya semisal *coating*, *sublimation*, dan sebagainya. Pembuatan lapisan tipis dengan *DC Magnetron Sputtering* lebih dikontrol ketebalannya karena ketebalan lapisan tipis yang terbentuk dapat diatur berdasarkan lamanya proses *sputtering* meskipun hubungan waktu *sputtering* dan ketebalan lapisan bukan merupakan fungsi linier. Disisi lain, metode *DC Magnetron Sputtering* memanfaatkan medan magnet untuk menjebak pergerakan elektron sehingga hanya atom target yang bergerak menuju substrat. Dengan demikian, kehomogenan lapisan tipis semakin baik.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan bahwa ketebalan lapisan tipis yang terbentuk adalah 74.72 nm. Resistivitas lapisan tipis semakin menurun seiring bertambahnya suhu dan Koefisien Seebeck semakin meningkat seiring bertambahnya suhu. Dengan demikian, dapat disimpulkan pula bahwa material AZO baik digunakan sebagai penyusun modul termoelektrik pada temperature 200-350 °C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Amara and M. B., "Investigation On Optical, Structural And Electrical Properties Of Annealed AZO/Al/AZO Multilayer Structures Deposited By Dc Magnetron Sputtering," *J Mater Sci Mater Electron*, vol. 26, no. 3, 2014.
- [2] Amir and Abdullah Khan, "Thermoelectrics Studies Of IV-VI Semiconductors For Renewable Energy Source," *Sci. Direct*, vol. 48, pp. 85–94, 2016.
- [3] C. Castro, C. Pulgarin, and R. Sanjines, "Skema mekanisme kerja DC Magnetron Sputtering," 2010.
- [4] A. Compaan, "High Efficiency, Magnetron Sputtered Cds/Cdte Solar Cells," *Sci. direct, Sol. Energy*, vol. 77, pp. 815–822, 2004.
- [5] D. Li, X. Y. Qin, Y. J. Gu, and J. Zhang, "The effect of Mn substitution on thermoelectric properties of Ca₃MnxCo_{4-x}O₉ at low temperatures," *Solid State Commun.*, vol. 134, no. 4, pp. 235–238, Apr. 2005.
- [6] Matt Hughes, "What is DC Sputtering?" [Online]. Available: <http://www.semicore.com/news/94-what-is-dc-sputtering>. [Accessed: 06-Mar-2019].
- [7] J. Loureiro *et al.*, "Transparent aluminium zinc oxide thin films with enhanced thermoelectric properties," *J. Mater. Chem. A*, vol. 2, no. 18, pp. 6649–6655, Apr. 2014.
- [8] A. Lyubchik *et al.*, "Mapping the Electrical Properties of ZnO-Based Transparent Conductive Oxides Grown at Room Temperature and Improved by Controlled Postdeposition Annealing," *Adv. Electron. Mater.*, vol. 2, no. 1, p. 1500287, Jan. 2016.
- [9] B. E. McCandless and J. R. Sites, *Cadmium Telluride Solar cell Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. New York: Wiley, 2003.
- [10] M.-H. Hoong and *et al.*, "Study Of The Effect Of Stress/Strain Of Mesoporous Al-Doped ZnO Thin films On Thermoelectric Properties Study Of The Effect Of Stress/Strain Of Mesoporous Al-Doped ZnO Thin films On Thermoelectric Properties," *Solid State Sci.*, vol. 82, pp. 84–91, 2018.
- [11] H. Morkoc and U. Ozgur, *Fundamentals Materials and Device Technology Zinc Oxide*. Wiley, 2009.
- [12] N. Vogel-Schäuble, S. Schäuble, R. Rappaport, R. Dujardin, A. Weidenkaff, and M. H. Aguirre, "Influence of Thermal Aging Phenomena on Thermoelectric Properties of Al-Substituted ZnO." *Phys. Status Solidi RRL*, vol. 8, no. 2, pp. 364–367, 2014.
- [13] N. Vogel-Schäuble *et al.*, "Thermal conductivity of thermoelectric Al-substituted ZnO thin films)," *Phys. Status Solidi RRL*, vol. 8, no. 2, pp. 364–367, 2014.
- [14] P. Fan *et al.*, "Low-cost flexible thin film thermoelectric generator on zinc based thermoelectric materials," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 106, no. 7, p. 73901, Feb. 2015.
- [15] P. Jood *et al.*, "Al-Doped Zinc Oxide Nanocomposites with Enhanced Thermoelectric Properties," *Nano Lett.*, vol. 11, no. 10, pp. 4337–4342, Oct. 2011.
- [16] K. Park, K. Y. Ko, W. S. Seo, W. S. Cho, K. J. G, and J. Y. Kim, "High-Temperature Thermoelectric Properties Of Polycrystalline Zn_{1-x}Y_xO Ceramics," *Eur. Ceram. Soc.*, vol. 27, pp. 813–817, 2007.
- [17] S. Li, R. Funahashi, I. Matsubara, K. Ueno, and H. Yamada, "High temperature thermoelectric properties of oxide Ca₉Co₁₂O₂₈," *J. Mater. Chem.*, vol. 9, no. 8, pp. 1659–1660, Jan. 1999.
- [18] S. (Samuel) Tolansky, *Multiple-beam interferometry of surfaces and films*,. Dover Publications, 1970.
- [19] Sa'diyah and Hikmatus, "Pengaruh Ketebalan Lapisan terhadap Pola Interferensi Pada Film Tipis ZnO Menggunakan Interferometer Michelson," *SKRIPSI Jur. Fis. - Fak. MIPA UM*, vol. 0, no. 0, 2012.
- [20] K. Seshan, *Handbook of thin-film deposition processes and techniques : principles, methods, equipment and applications*. Noyes Publications/William Andrew Pub, 2002.
- [21] S. Candra Puspita, "Generator Termoelektrik untuk Pengisian Aki," Surabaya, 2016.