



TUGAS AKHIR - SF 141501

**FABRIKASI TERMoeLEKTRIK *GENERATOR*
THIN FILM SEMIKONDUKTOR TIPE-P
MENGUNAKAN MATERIAL *SILVER*
ANTIMONY TELLURIUM (AgSbTe)**

Alfu Alfin Nadhifatul Ummah
NRP 0111144000044

Dosen Pembimbing :
Dr. Melania Suweni Muntini, M.T
Iim Fatimah, M.Si

DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS ILMU ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TUGAS AKHIR - SF 141501

**FABRIKASI TERMOELEKTRIK GENERATOR
THIN FILM SEMIKONDUKTOR TIPE-P
MENGUNAKAN MATERIAL *SILVER
ANTIMONY TELLURIUM* (AgSbTe)**

Alfu Alfin Nadhifatul Ummah
NRP 0111144000044

Dosen Pembimbing :
Dr. Melania Suweni Muntini, M.T
Iim Fatimah, M.Si

DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS ILMU ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - SF 141501

**FABRICATION OF THIN FILM
THERMOELECTRIC GENERATOR TYPE-P
SEMICONDUCTOR USING SILVER ANTIMONY
TELLURIUM (AgSbTe) MATERIAL**

**Alfu Alfin Nadhifatul Ummah
NRP 0111144000044**

**Advisor :
Dr. Melania Suweni Muntini, M.T
Iim Fatimah, M.Si**

**DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF NATURAL SCIENCE
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN
Fabrikasi Termoelektrik *Generator Thin Film*
Semikonduktor Tipe-P Menggunakan Material
Silver Antimony Tellurium (AgSbTe)

TUGAS AKHIR

Disusun untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah
Tugas Akhir
Program Strata 1

Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh
ALFU ALFIN NADHIFATUL UMMAH
0111144000044

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. **Dr. Melania Suweni Muntini, M.T**

NIP. 19641229 199002 2 001


(.....)

2. **Iim Fatimah, M.Si**

NIP. 19870108 201504 2 002


(.....)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

FABRIKASI TERMOELEKTRIK *GENERATOR THIN FILM* SEMIKONDUKTOR TIPE-P MENGGUNAKAN MATERIAL *SILVER ANTIMONY TELLURIUM* (AgSbTe)

Nama Mahasiswa : Alfu Alfin Nadhifatul Ummah
NRP : 0111144000044
Departemen : Fisika FIA-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Melania S. Muntini, M.T
2. Iim Fatimah, M.Si

Abstrak

Termoelektrik *thin film* merupakan modul termoelektrik dengan material penyusun yang sangat tipis. Termoelektrik jenis *thin film* sedang dikembangkan karena mudah diaplikasikan dan membutuhkan bahan yang sedikit. Pada penelitian ini dilakukan fabrikasi termoelektrik *thin film* menggunakan semikonduktor tipe-p. Tujuannya adalah melakukan fabrikasi modul termoelektrik *thin film* untuk mendapatkan tegangan yang dihasilkan, memperoleh nilai koefisien *Seebeck*, dan memperoleh daya maksimum. Fabrikasi termoelektrik *thin film* menggunakan metode *DC Magnetron Sputtering* dan kemudian dilakukan proses *annealing*. Proses fabrikasi dilakukan pada substrat alumina dan *polyimide*. Pengukuran tegangan *output* pada modul dengan cara, kedua sisi modul diberi perbedaan temperatur hingga $\pm 50^{\circ}\text{C}$, sehingga diperoleh tegangan *output* (V) pada modul termoelektrik *thin film* dengan substrat alumina dan *polyimide* masing-masing adalah $(4.96 \pm 0.15)\text{mV}$ dan $(3.90 \pm 0.29)\text{mV}$. Nilai koefisien *Seebeck* pada modul termoelektrik *thin film* dengan substrat alumina dan substrat *polyimide* masing-masing adalah $(15.38 \pm 0.45) \mu\text{V/K}$ dan $(12.07 \pm 0.89) \mu\text{V/K}$. Daya maksimum pada modul termoelektrik *thin film* pada substrat alumina dan *polyimide* masing-masing adalah $(0.16 \pm 0.009) \text{nW}$ dan $(0.10 \pm 0.015) \text{nW}$.

Kata Kunci : *DC Magnetron Sputtering*, Fabrikasi, Termoelektrik, *Thin film*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**FABRICATION OF THIN FILM
THERMOELECTRIC GENERATOR P-TYPE
SEMICONDUCTOR USING SILVER ANTIMONY
TELLURIUM (AgSbTe) MATERIAL**

Name : Alfu Alfin Nadhifatul Ummah
NRP : 0111144000044
Department : Physics, Faculty of Natural Sciences,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Advisors : 1. Dr. Melania Suweni Muntini, M.T
2. Iim Fatimah, M.Si

Abstract

Thin film thermoelectric is a module thermoelectric that has very thin material. Thermoelectric thin film is being developed because easy to apply and only requires little material. In this research, fabrication of thin film thermoelectric is made using p-type semiconductor. The purpose is fabrication of module thin film thermoelectric to obtain voltage output, increase the Seebeck coefficient, and increase maximum power. Fabrication of thin film thermoelectric using DC Magnetron Sputtering and then annealing process. Process of fabrication is carried out on alumina substrate and polyimide substrate. Measurement of voltage output on the module performed with give different temperature up to $\pm 50^{\circ}\text{C}$ on both side, so as to obtain the output voltage (V_{out}) on thin film thermoelectric module with alumina and polyimide substrate respectively are $(4.96 \pm 0.15)\text{mV}$ dan $(3.9 \pm 0.29)\text{mV}$. Seebeck effect on alumina substrate and polyimide substrate are $(15.38 \pm 0.45) \mu\text{V/K}$ dan $(12.07 \pm 0.89) \mu\text{V/K}$. Maximum power on alumina substrat and polyimide substratre are $(0.16 \pm 0.009) \text{nW}$ dan $(0.1 \pm 0.015) \text{nW}$.

Keywords: DC Magnetron Sputtering, Fabrication, Thermoelectric, Thin Film

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayahnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Fabrikasi Termoelektrik Generator *Thin Film* Semikonduktor Tipe-P Menggunakan Material Silver Antimoni Tellurium (AgSbTe)**” dengan tepat waktu. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan program strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis menyadari bahwa terselesaikannya laporan ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, maka penulis menyampaikan banyak terimakasih kepada:

1. Ibu Dr. Melania Suweni Muntini, M.T, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing serta memberi pengarahan selama proses penelitian dan penyusunan laporan.
2. Ibu Iim Fatimah, M.Si, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberi masukan serta pengarahan dalam penyusunan laporan.
3. Bapak Diky Anggoro, M.Si, selaku Ketua Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi yang telah membagi pengalaman dan masukan dalam penyusunan laporan.
4. Prof. Tosawat Seetawan, selaku Advisor Thermoelectric Research Center Sakon Nakhon Rajabhat University, yang telah membimbing dalam proses pengerjaan Tugas Akhir di Thailand.
5. Dr. Athorn Vora-ud, selaku Kepala *Thin Film Research Laboratory*, Sakon Nakhon Rajabhat University, yang telah mengizinkan dan membimbing penulis untuk mengerjakan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini.

6. Somporn Thaowankaew, M.Sc dan Watchara Chao-moo. M.Sc, yang selalu membantu dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Nuchanun Prainert, Ph.D, yang telah bersedia memberikan material AgSbTe dan substrat *Polyimide* untuk digunakan pada Tugas Akhir ini.
8. Ayah, Ibu, Hanum, Tante Titik, dan segenap keluarga yang telah memberi pengajaran, doa, dan dukungan terbaik bagi penulis.
9. Mbak Risse yang telah membagikan pengalamannya selama di Thailand.
10. Partner Tugas Akhir Nilna Fauzia dan Nanda Rico F.M yang selalu membantu dan berdiskusi dalam upaya penyelesaian Tugas Akhir ini.
11. Addinal Fikriyah yang selalu membantu dalam mengoreksi penulisan dan menyemangati penyelesaian Tugas Akhir ini.
12. Dita, Afif, Keke, dan Ega yang selalu memberi dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
13. Penghuni Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi khususnya Musyid, Fauzy, Adi, Dila, Mas Raheer, Mbak Ira, Mbak Ulfa yang telah membantu dan memberi saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
14. Anggota Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi serta teman-teman Antares yang telah memberi dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
15. Tim Termoelektrik Aldo Mahendra, Nensy, yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam laporan ini masih jauh dari katasempurna. Kelebihan hanyalah milik Allah SWT dan kekurangan tentunya milik penulis. Semoga hasil Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Oleh karena itu, segala kritik serta saran semoga dapat diberikan kepada penulis demi kemajuan pendidikan yang lebih baik.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Semikonduktor	7
2.2 Termoelektrik	8
2.3 <i>Thin film</i>	10
2.4 <i>DC Magnetron Sputtering</i>	11
2.5 <i>Annealing</i>	14
2.6 <i>Polyimide</i>	15
2.7 Alumina	16

2.8 Efek <i>Seebeck</i>	18
2.9 Konduktivitas Listrik	20
BAB III METODOLOGI	23
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2 Alat dan Bahan.....	23
3.2.1 Alat dan Bahan untuk Fabrikasi Termoelektrik <i>Thin Film</i> Tipe-P.....	23
3.2.2 Alat untuk Pengukuran Tegangan pada Termoelektrik <i>Thin Film</i> Tipe-P.....	31
3.3 Prosedur Penelitian.....	34
3.3.1 Studi Literatur	36
3.3.2 Desain dan Fabrikasi Termoelektrik <i>Thin Film</i> Tipe P..	36
3.3.3 Pengukuran Modul Termoelektrik <i>Thin Film</i> Tipe p.....	39
3.4 Presisi	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Hasil Fabrikasi Termoelektrik <i>Thin film</i>	43
4.2 Hasil Pengukuran Modul Termoelektrik <i>Thin Film</i>	46
4.3 Hasil Perhitungan Koefisien <i>Seebeck</i>	51
4.4 Hasil Perhitungan Daya Maksimum	55
4.5 Presisi	59
BAB V KESIMPULAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	63
LAMPIRAN	67
BIODATA PENULIS.....	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses <i>DC Magnetron Sputtering</i>	13
Gambar 2. 2 Struktur gugus imida. (Hidayat, 2015)	15
Gambar 3. 1 <i>DC Magnetron Sputtering</i>	24
Gambar 3. 2 <i>Hot pressing</i>	25
Gambar 3. 3 (a) <i>Ultrasonic Cleaner</i> , (b) <i>Glass Box</i> , (c) <i>Air Compressor</i>	26
Gambar 3. 4 (a) <i>Cutting Sticker</i> , (b) <i>Pinset dan Cutter</i>	27
Gambar 3. 5 Alumina	28
Gambar 3. 6 <i>Flexible Polyimide</i>	28
Gambar 3. 7 Material Target AgSbTe	29
Gambar 3. 8 Material Target Silver (Ag)	29
Gambar 3. 9 (a) <i>Masker Polyimide</i> , (b) <i>Cairan Acetone</i>	30
Gambar 3. 10 Modul Termoelektrik <i>Thin film</i>	31
Gambar 3. 11 (a) Termoelektrik <i>Cooler</i> , (b) <i>Mini Heater</i>	32
Gambar 3. 12 Termokopel Tipe-K	32
Gambar 3. 13 <i>Power supply</i>	33
Gambar 3. 14 (a) Multimeter, (b) Termometer Digital	33
Gambar 3. 15 <i>Heat sink</i>	34
Gambar 3. 16 Diagram Alir penelitian	35
Gambar 3. 17 Desain Konfigurasi untuk Material AgSbTe	36
Gambar 3. 18 Desain Konfigurasi untuk Material silver (Ag)	37
Gambar 3. 19 Rangkaian Alat untuk Pengukuran Modul Termoelektrik <i>Thin Film</i>	39
Gambar 3. 20 Diagram Alir Pengukuran Modul Termoelektrik <i>Thin Film</i>	40
Gambar 4. 1 Hasil <i>sputtering</i> AgSbTe pada substrat (a) Alumina dan (b) <i>Polyimide</i>	46
Gambar 4. 2 Modul termoelektrik <i>thin film</i> Tipe-p	46
Gambar 4. 3 Grafik Hasil Tegangan <i>Output</i> pada Modul Termoelektrik <i>Thin Film</i> Substrat Alumina dengan Perbedaan Temperatur sampai 50°C	47
Gambar 4. 4 Grafik Hasil Tegangan <i>Output</i> pada Modul Termoelektrik <i>Thin Film</i> Substrat <i>Polyimide</i> dengan Perbedaan Temperatur sampai 50°C	47

Gambar 4. 5 Grafik hubungan Efek <i>Seebeck</i> dengan perbedaan temperatur untuk substrat Alumina	52
Gambar 4. 6 Grafik hubungan Efek <i>Seebeck</i> dengan perbedaan temperatur untuk substrat <i>Polyimide</i>	53
Gambar 4. 7 Grafik Hubungan Efek <i>Seebeck</i> dengan Tegangan untuk Substrat Alumina.....	53
Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Efek <i>Seebeck</i> dengan Tegangan untuk Substrat <i>Polyimide</i>	54
Gambar 4. 9 Grafik Hasil Perhitungan Daya Maksimum pada Substrat Alumina	57
Gambar 4. 10 Grafik Hasil Perhitungan Daya Maksimum pada Substrat <i>Polyimide</i>	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat mekanik, Kimia, dan Listrik Alumina	17
Tabel 2. 2 Koefisien <i>Seebeck</i> pada Material Umum.....	20
Tabel 4. 1 Kondisi <i>Sputtering Thin film</i> AgSbTe dan Ag...44	
Tabel 4. 2 Perhitungan presisi pada modul termoelektrik <i>thin film</i> substrat alumina pada saat $V=0.1\text{mV}$	59

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Percobaan	67
Lampiran 2 Data Hasil Perhitungan	70
Lampiran 3 Dokumentasi Proses Fabrikasi	84
Lampiran 4 Rangkaian Alat Pengukuran.....	89
Lampiran 5 Dokumentasi Kegiatan.....	90

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada dekade ini sedang dikembangkan berbagai energi alternatif yang dapat menunjang kebutuhan listrik untuk manusia. Indonesia memiliki potensi sumber daya terbarukan yang sangat melimpah dan sangat efisien untuk digunakan. Energi alternatif terbarukan yang dapat dikembangkan yaitu sumber panas bumi, laut, angin, dan panas matahari. Untuk memanfaatkan energi terbarukan dibutuhkan berbagai teknologi. Salah satunya adalah termoelektrik yang saat ini masih belum banyak digunakan (Kholiq, 2015).

Termoelektrik merupakan modul yang didalamnya terbuat dari bahan semikonduktor tipe p dan tipe n. Kedua bahan semikonduktor ini dihubungkan secara langsung oleh plat tembaga. Termoelektrik memiliki dua fungsi yaitu sebagai penghasil tegangan dan penghasil temperatur. Manfaat yang sering digunakan yaitu manfaat untuk menghasilkan tegangan listrik. Termoelektrik memanfaatkan energi termal elektron untuk konversi energi antara panas dan listrik. Penerapan termoelektrik telah terhambat oleh produktivitas rendahnya, hal ini disebabkan efisiensinya masih dibawah 10% (Sajid, 2017).

Meskipun memiliki efisiensi yang relatif masih rendah dibandingkan dengan teknologi konfersi energi alternatif lainnya, termoelektrik memiliki keuntungan sendiri. Keuntungan penggunaan termoelektrik yaitu bebas perawatan, masa pakai yang relative panjang, dan penghasil *output* daya DC yang stabil. Sifat dari termoelektrik yang mampu mengubah perbedaan temperatur langsung menjadi energi listrik inilah yang juga

menyebabkan termoelektrik banyak diaplikasikan (Wijesoonyage, 2015).

Untuk meningkatkan efisiensi dari termoelektrik maka dilakukan berbagai fabrikasi baik bentuk, struktur bahan, maupun dopping bahan. Termoelektrik memiliki beberapa bentuk yaitu termoelektrik tradisional, *cascade*, termoelektrik *thin film* dan masih banyak lagi. Pada dekade ini, termoelektrik yang sedang dikembangkan yaitu termoelektrik *thin film*. Hal tersebut disebabkan *thin film* mudah diaplikasikan pada berbagai bidang. Untuk membentuk *thin film* ini, terdapat berbagai teknologi salah satunya yang paling sering digunakan yaitu proses *glow-discharge*. Proses *glow-discharge* merupakan pembentukan plasma dengan melewati arus melalui medium gas. Pada proses *glow-discharge* terdapat berbagai metode salah satunya yaitu *sputtering* (Seshan, 2002).

Metode *sputtering* yaitu proses injeksi atom dari permukaan elektroda karena terjadi loncatan ion ke permukaan atom. Salah satu teknologi *sputtering* yang sering digunakan yaitu *magnetron sputtering* di mana medan magnet melintang ke medan listrik di permukaan target *sputtering*. Pada deposisi *thin film* evaporasi dan *sputtering* yang lain memiliki kelemahan yaitu senyawa dapat terdisosiasi ke dalam ikatan kimia pada tekanan penguapan yang rendah. Proses *magnetron sputtering* tidak memiliki masalah tersebut sehingga memungkinkan penggunaan substrat yang *sensitive* terhadap suhu dengan efek samping yang minimal. Selain ini kelebihan utama dari *magnetron sputtering* yaitu tingkat deposisi tinggi, kemudahan *sputtering* setiap logam dan senyawa, kemurnian film tinggi, adhesi film yang sangat tinggi, kemampuan untuk melapisi substrat peka panas, kemudahan otomatisasi, dan keseragaman yang baik pada area substrat (Seshan, 2002) (Swann, 1988).

Penelitian sebelumnya tentang fabrikasi termoelektrik *thin film* menggunakan *magnetron sputtering* dilakukan dengan berbagai bahan dan proses. Salah satunya adalah Ken Takayama dan Masayuki Takashiri di Departemen Ilmu Bahan Universitas Tokai yang telah memfabrikasi Multi-layer-stack termoelektrik generator menggunakan bahan Sb_2Te_3 dan Bi_2Te_3 dengan *radio frequency magnetron sputtering*. Pada penelitiannya ini, material Sb_2Te_3 sebagai semikonduktor tipe n dan Bi_2Te_3 sebagai semikonduktor tipe p yang akan diendapkan pada substrat kaca dengan ketebalan 1.1 mm. *Sputtering* dilakukan dengan gas argon (Ar) pada tekanan 1 Pa dan daya RF 200 W. Dan untuk menumpuk film dengan ketebalan yang sama maka tempat substrat diputar pada 20 rpm. Ketebalan yang dihasilkan yaitu mencapai 1 μm dan tingkat deposisi yang digunakan 1 $\mu\text{m}/\text{h}$. Setelah dilakukan *sputtering* maka dilakukan proses *annealing* dengan variasi temperatur 200°C, 300 °C, dan 400 °C selama 1 jam. Kemudian di didinginkan secara alami dalam tungku. Film tipe p duhubungkan dengan tipe n dengan menyemprotkan pasta silver dan dipanaskan untuk mengeringkan pasta. Hasil dari fabrikasi ini yaitu didapatkan tegangan TEG open circuit 32 mV dan daya *output* maksimum 0.15 μW pada perbedaan suhu 28 K (Ken Takayama, 2017). Oleh karena itu pada tugas akhir ini akan dilakukan fabrikasi termoelektrik *thin film* tipe-p dengan menggunakan *DC Magnetron Sputtering* untuk mengetahui tegangan yang dihasilkan ketika digunakan satu tipe semikonduktor. Agar dapat membuktikan bahwa dengan hanya satu tipe semikonduktor dapat menghasilkan tegangan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dibahas sebelumnya, penulis melakukan beberapa analisa kinerja dengan permasalahan yang ditemukan sebagai berikut :

1. Bagaimana memfabrikasi bahan AgSbTe untuk termoelektrik *thin film* tipe p
2. Berapa tegangan yang dihasilkan dari modul termoelektrik *thin film* tipe p AgSbTe.
3. Berapa nilai koefisien *Seebeck* yang dihasilkan dari modul termoelektrik *thin film* tipe p AgSbTe.
4. Berapa daya maksimum yang dihasilkan dari modul termoelektrik *thin film* tipe p AgSbTe.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk:

1. Memfabrikasi bahan AgSbTe untuk termoelektrik *thin film* tipe p
2. Mendapatkan nilai tegangan yang dihasilkan dari modul termoelektrik *thin film* tipe p AgSbTe.
3. Memperoleh nilai koefisien *Seebeck* yang dihasilkan dari modul termoelektrik *thin film* tipe p AgSbTe.
4. Memperoleh nilai daya maksimum yang dihasilkan dari modul termoelektrik *thin film* tipe p AgSbTe.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan yang digunakan adalah AgSbTe yang merupakan bahan semikonduktor tipe p dan silver (Ag) yang merupakan bahan konduktor.
2. Substrat yang digunakan adalah Alumina dan *Polyimide*
3. Proses yang digunakan dalam fabrikasi yaitu *DC Magnetron Sputtering* dan *Annealing*.

4. Proses pengukuran yaitu pengukuran tegangan *output* modul termoelektrik *thin film* tipe p dengan perbedaan temperatur sampai $\pm 50^{\circ}\text{C}$.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian Tugas Akhir ini yaitu

1. Dapat menghasilkan modul termoelektrik *thin film* tipe-p
2. Dapat menjadi gagasan penelitian selanjutnya tentang termoelektrik *thin film* tipe p di Indonesia.
3. Dapat menghasilkan termoelektrik generator dengan menggunakan bahan semikonduktor tipe p.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I : Pendahuluan

Bab Pendahuluan ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Bab tinjauan pustaka berisi tentang teori dan konsep dasar penunjang penelitian mengenai fabrikasi termoelektrik *thin film* tipe p AgSbTe

BAB III : Metodologi

Bab Metodologi berisi tentang metode yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB IV : Analisa dan Pembahasan

Bab Pembahasan ini berisi inti dari penulisan laporan tugas akhir tentang termoelektrik *thin film* tipe p AgSbTe.

BAB VI : Penutup

Bab Penutup ini berisi kesimpulan umum dari hasil analisa dan disertai saran yang berlaku bagi penelitian selanjutnya.

LAMPIRAN :Lampiran berisi beberapa gambar penunjang penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Semikonduktor

Bahan semikonduktor merupakan bahan dengan konduktivitas listrik diantara isolator dan konduktor. Bahan semikonduktor bukan merupakan konduktor murni. Semikonduktor dapat bersifat sebagai isolator pada temperatur yang sangat rendah. Pada temperatur ruang, bahan semikonduktor dapat bersifat sebagai konduktor. Konduktivitas semikonduktor dapat diubah-ubah dengan dengan mendoping material lainnya. Contoh bahan semikonduktor yang sering digunakan yaitu *Silicon* (Si), *Germanium* (Ge), dan *Galium Arsenin* (GaAs). (Omar, 1993)

Bahan semikonduktor terdiri dari semikonduktor intrinsik dan ekstrinsik. Semikonduktor intrinsik yaitu penghantar listrik dapat berupa elektron dan *hole*. Semikonduktor ekstrinsik yaitu jenis pembawa muatan hanya salah satu saja yang dominan, elektron atau lubang (*hole*). Semikonduktor yang didominasi oleh elektron saja disebut semikonduktor tipe-n. Semikonduktor tipe-p mayoritas pembawa muatan listrik yaitu lubang (*hole*). Pita valensi adalah pita energi yang terisi penuh dengan elektron. Pita konduksi adalah pita energi di atas pita valensi yang terisi sebagian atau tidak terisi oleh elektron. (Omar, 1993)

Pada semikonduktor tipe-n, bahan intrinsik seperti silikon memerlukan ketakmurnian atom yang mempunyai elektron valensi lebih dari empat. Ini dimaksud agar ada elektron sisa dalam membentuk ikatan dan dengan demikian elektron tersebut dapat berkoordinasi menjadi elektron bebas. Atom-atom pengotor dalam hal ini yang sering dipakai adalah Posfor (P) atau Arsen (As) yang bervalensi lima. Sebelum atom-atom donor terionisasi,

tingkat energi donor terisi elektron yang merupakan elektron ke lima dari setiap atom donor (pemberi elektron). Bila atom donor terionisasi, elektron tereksitasi dari tingkat donor ke pita konduksi. Eksitasi dari pita valensi tetap terjadi meskipun dalam intensitas yang kecil. Eksitasi ini menghasilkan lubang pada pita valensi. Sementara itu, pada pita konduksi terdapat elektron yang jumlahnya jauh lebih banyak. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa dalam semikonduktor tipe-n elektron sebagai pembawa muatan mayoritas sedangkan lubang merupakan pembawa muatan minoritas. (Omar, 1993)

Semikonduktor tipe p merupakan semikonduktor yang didoping atom dengan valensi kurang dari empat. Atom bervalensi kurang dari empat misal boron (Br) yang memiliki valensi tiga. Br menempati ikatan yang sebelumnya ditempati oleh atom bervalensi empat misal Si. Sehingga akan menghasilkan *hole* di salah satu ikatannya. Atom bervalensi tiga ini disebut sebagai akseptor. Ketika semikonduktor tipe p diberi energi berupa temperatur kamar (300K) maka elektron akan berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Akan tetapi karena adanya akseptor maka elektron akan berpindah terlebih dahulu ke akseptor. Sehingga pada pita valensi akan terdapat *hole*. Meskipun dalam jumlah yang sedikit, elektron bisa saja berpindah ke pita konduksi. Hal ini menyebabkan elektron bebas pada pita konduktor jumlahnya sedikit. Sehingga pada semikonduktor tipe p mayoritas pembawa muatan adalah *hole* sedangkan elektron pembawa muatan minoritas. (Omar, 1993)

2.2 Termoelektrik

Termoelektrik merupakan sebuah alat berbentuk modul yang dapat mengubah perbedaan temperatur menjadi energi listrik atau sebaliknya. Susunan pada termoelektrik konvensional yaitu

bagian atas dan bawah merupakan bahan isolator. Bahan ini berfungsi sebagai konduktor *thermal* dan mengurangi laju listrik. Pada bagian tengah terdapat bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor yang digunakan yaitu tipe-p dan tipe-n. Kedua semikonduktor dihubungkan dengan konduktor yang berfungsi untuk menghantarkan elektron-elektron yang bergerak pada bahan semikonduktor. Masing-masing sisi termoelektrik memiliki fungsi yang berbeda yaitu satu sisi untuk sumber suhu panas dan sisi yang lain untuk sumber suhu dingin. Dari perbedaan temperatur antar kedua sisi termoelektrik ini maka dapat dihasilkan energi listrik, dan sebaliknya apabila diberi tegangan listrik maka dapat digunakan sebagai sistem pendingin. (Putra, 2009) (Rowe, 2012)

Perangkat termoelektrik didasarkan pada material penyusunnya. Material sangat berpengaruh terhadap kualitas termoelektrik. Sifat yang dihasilkan termoelektrik dipengaruhi oleh suhu. Material termoelektrik bergantung pada beberapa faktor yaitu rentang temperatur, sifat fisik, dan kemampuan material jika digabungkan dengan material termoelektrik atau non-termoelektrik lainnya. Bahan yang dapat menghasilkan listrik ketika terjadi perbedaan temperatur dapat disebut material termoelektrik. Terdapat tiga efek dalam material termoelektrik yaitu efek *Seebeck*, efek *Peltier*, dan efek *Thomson*. (Wijesoonyange, 2015)

Efek termoelektrik merupakan hasil dari interaksi arus listrik dan perpindahan panas yang terjadi di berbagai bahan. Interaksi ini memungkinkan konversi langsung dari panas ke listrik atau sebaliknya (Gaupil, 2016). Efek termoelektrik pertama kali ditemukan oleh T.J *Seebeck* pada tahun 1821. *Seebeck* menunjukkan bahwa listrik dapat diproduksi dengan memanaskan sambungan antara dua konduktor listrik yang berbeda. 13 tahun setelah penemuan *Seebeck*, J. *Peltier* mengamati efek kedua

termoelektrik. Peltier menemukan bahwa lewatnya arus listrik melalui termokopel menghasilkan pemanasan atau pendinginan tergantung pada arahnya. Efek Peltier sulit untuk digunakan pada termokopel metalik karena adanya efek pemanasan. Pada tahun 1855, W Thomson menunjukkan ada efek termoelektrik ketiga yang ada dalam konduktor homogen. Thomson menerapkan teori termodinamika sehingga akan terbentuk hubungan efek *Seebeck* dan Peltier. Efek ini dikenal sebagai efek Thomson yang terdiri dari pemanasan atau pendingin reversible ketika ada aliran arus listrik dan perbedaan suhu. (Goldsmid, 2010)

2.3 Thin film

Thin film merupakan campuran kombinasi dari padatan material dengan permukaan material lainnya. *Thin film* adalah lapisan material dengan ketebalan mulai dari beberapa lapisan atom (~nm) hingga beberapa micrometer. *Thin film* merupakan ilmu yang cukup baru, akan tetapi pada bidang seni merupakan salah satu teknologi tertua. Saat ini *thin film* diproduksi untuk berbagai aplikasi misal pada bidang optik, kelistrikan, termel, sebagai pelindung, dan pelapis korosi (Bohlmark, 2005).

Pada perkembangannya, atom atau ion yang terbentuk pada *thin film* diperoleh dari proses pengendapan ke permukaan. Cara yang dilakukan yaitu dengan mengubah lingkungan pengendapan misal suhu atau energi kinetic. Saat ini, *thin film* dapat bertindak sebagai konduktor, isolator, atau semikonduktor (Bohlmark, 2005). Terdapat berbagai cara pembentukan material *thin film*. Pada dasarnya, teknologi deposisi *thin film* adalah murni fisik seperti metode evaporasi, atau murni proses kimia seperti proses kimia fase gas dan cair. (Seshan, 2002)

Teknologi deposisi *thin film* semakin mengalami kemajuan. Hal ini didorong oleh kebutuhan akan produk dan perangkat baru

di industry elektronik dan optic. Kemajuan dalam perangkat elektronik solid-state tidak akan terjadi tanpa adanya pengembangan proses deposisi *thin film* baru. Deposisi *thin film* akan menghasilkan karakteristik dan kualitas film yang lebih baik. Teknologi deposisi *thin film* mengalami perubahan yang cepat. Hal ini mempengaruhi perangkat elektronik yang lebih kompleks dan canggih di masa depan. (Seshan, 2002)

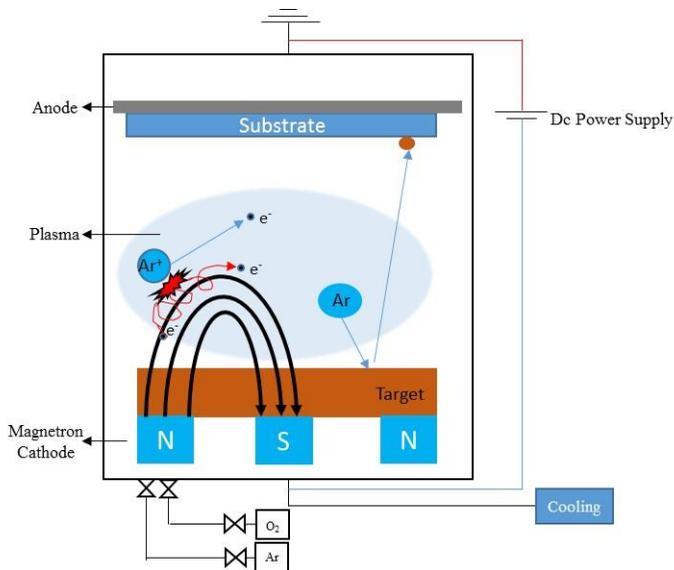
2.4 DC Magnetron Sputtering

Untuk membentuk *thin film* terdapat berbagai teknologi salah satunya yang paling sering digunakan yaitu proses *glow-discharge*. *Glow discharge* merupakan salah satu tipe pembentukan plasma dengan melewati arus melalui medium gas. Definisi plasma yaitu gas bermuatan dan partikel netral yang menunjukkan perilaku kolektif (Chen, 1984). Pada proses glow discharge terdapat 2 metode yaitu *sputtering* dan proses plasma. Metode *sputtering* yaitu proses injeksi atom dari permukaan elektoda karena terjadi pembombardiran ion ke permukaan atom. Salah satu teknologi *sputtering* yang sering digunakan yaitu *magnetron sputtering* di mana medan magnet melintang ke medan listrik di permukaan target *sputtering* (Seshan, 2002).

Pada *magnetron sputtering* terdapat berbagai macam teknik yaitu *alternating current (AC)*, *direct current (DC)*, *radio frequency (RF)*, and *pulsed-dc*. Teknik *AC Sputtering* diaplikasikan antara dua target *sputtering* secara bebas dari ground pada frekuensi lebih dari 10kHz. Proses *sputtering* untuk setiap target hampir 50% dari siklus AC. *AC Sputtering* dikarakterisasi dengan lengkap ketiadaan arus DC yang melalui target dan tidak ada arus yang melalui ground. Sehingga memungkinkan untuk melakukan *Sputtering* pada target konduktif yang dilapisi tipis osilasi tapi targetnya bukan target

isolator (Este, 1998). *DC magnetron* digunakan untuk menyimpan bahan logam. *DC magnetron* merupakan proses yang paling murah karena pasokan listrik DC lebih sederhana untuk diproduksi. Target dalam *DC Magnetron Sputtering* secara langsung menghantarkan listrik dan dapat dioperasikan hingga arus 70 Wcm^2 (Swann, 1988). *RF Magnetron Sputtering* digunakan untuk memproduksi lapisan isolasi dan film. Pada *RF Sputtering*, frekuensi RF 13,56 MHz digabungkan ke bahan target melalui jaringan impedansi dan memblokir kapasitor. Yang dilakukan untuk memastikan arus bersih dalam rata-rata waktu untuk setiap elektroda adalah nol (Waite, 2007).

Proses bombardir ion berasal dari pelepasan listrik dalam gas. Bahan dikeluarkan dalam target untuk mendapatkan jumlah bahan yang digunakan untuk melapisi substrat secara langsung. Untuk mendapatkan hasil *sputtering* yang baik maka sejumlah kriteria harus dipenuhi. Pertama, ion energi 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 sedikit impedansi terhadap gerakan. Pada proses *magnetron sputtering* diperlukan vakum tekanan rendah untuk mempertahankan energi ion yang tinggi dan mencegah terlalu banyak tabrakan atom gas setelah pengeluaran dari target. Bahan yang dapat dibelokkan langsung kembali ke target mengurangi tingkat deposisi lebih lanjut. Adapun proses *DC Magnetron Sputtering* dijelaskan pada Gambar (2.1) (Swann, 1988).



Gambar 2. 1 Proses *DC Magnetron Sputtering*

Pada *DC Magnetron Sputtering* konvensional, tegangan tinggi DC negatif diberikan pada target *sputtering* (katoda) yang ditempatkan pada ruang vakum berisi gas *inert* seperti Argon (Ar) pada rentang frekuensi 1 – 100 mtorr, seperti pada Gambar (2.1) pada saat tegangan DC dinyalakan maka plasma Ar akan dihasilkan. Plasma ini berasal dari proses ionisasi atom netral Ar dengan elektron sekunder yang dipancarkan oleh katoda. Sehingga akan dihasilkan sejumlah ion Ar^+ dan elektron. Ketika ion Ar^+ melewati plasma, ion Ar^+ dipercepat menuju katoda sehingga akan terjadi proses *sputtering* di mana menghasilkan tumbukan antara ion Ar^+ dan atom pada permukaan target. Sehingga, atom pada material target akan terpental menuju substrat. Pada proses ini, terjadi adhesi di mana ada gaya tarik menarik antara atom substrat dengan atom bahan target. Peristiwa

adhesi akan menyebabkan atom material target tetap menempel pada substrat sehingga akan dihasilkan *thin film* pada substrat (Sellers, 1998).

Setelah target mengalami proses *sputtering* maka atom material target akan mencapai permukaan substrat. Maka pada substrat akan mengalami kondensasi membentuk *thin film*. Proses keseluruhan dipertahankan selama target adalah material konduktif. Apabila bahan target merupakan isolator maka akan terjadi keracunan target akibat gas reaktif, seperti N_2 dan O_2 yang ada dalam ruang vakum. Hal ini akan mencegah masuknya ion Ar^+ mencapai target sehingga proses *sputtering* tidak bisa dilanjutkan. Akibatnya, elektron sekunder tidak dapat dikeluarkan dan cahaya plasma tidak dapat dipertahankan dan proses deposisi akan berhenti. Bertambahnya ion Ar^+ pada tempat isolasi akan menyebabkan kerusakan pada *power supply*. Oleh sebab itu, *DC Magnetron Sputtering* hanya untuk material konduktor. (Sellers, 1998).

2.5 Annealing

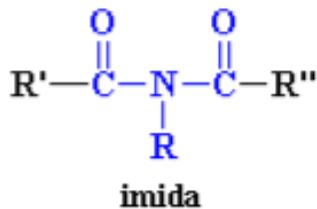
Heat treatment digunakan pada semua alat baik bahan logam murni maupun bahan logam campuran lainnya. *Treatment* yang digunakan tergantung pada komposisi materialnya. Beberapa *treatment* dilakukan pada *mill processing* (Young, 1954). Proses panas yaitu proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. *Heat treatment* terdiri dari beberapa jenis diantaranya adalah *quencing*, *tempering*, *annealing* dan *normalizing* (Avner, 1987).

Annealing merupakan proses pemanasan material sampai temperatur tertentu kemudian ditahan beberapa waktu dilanjutkan dengan pendinginan secara perlahan. Proses *annealing* memiliki

keuntungan yaitu untuk menurunkan kekerasan, memperbaiki sifat mekanik, dan menghilangkan terjadinya retak panas serta memperhalus ukuran butir (Daryanto, 2010). Full *Annealing* merupakan proses di mana struktur kisi yang bekerja pada temperatur dingin diubah kembali menjadi bebas regangan melalui aplikasi panas. Pada proses *Annealing* dibagi menjadi tiga tahap yaitu pemulihan, rekristalisasi, dan penumbuhan butir (Avner, 1987).

2.6 Polyimide

Polyimide merupakan salah satu kelas polimer yang mengandung gugus imida seperti pada Gambar (2.2). *Polyimide* memiliki dua bentuk yaitu struktur linear dan struktur heterosiklik. Pada struktur linear, atom-atom dari gugus imida berada dalam rantai linear. Pada struktur heterosiklik, gugus imida merupakan bagian dari unit siklik dalam rantai polimer. *Polyimide* adalah polimer yang mengandung kompleks transfer yang terdiri dari donor dan akseptor. Kompleks transfer muatan bekerja antara unit-unit rantai polimer dan antar rantai. Kompleks transfer ini menghubungkan rantai polimer secara rapat, sehingga molekul-molekul tidak dapat bergerak bebas. (Hidayat, 2015)



Gambar 2. 2 Struktur gugus imida. (Hidayat, 2015)

Laporan pertama tentang *polyimide* dibuat oleh Bogert dan Renshaw pada tahun 1908. Sebenarnya pada tahun 1960-an, *polyimide* berhasil diperkenalkan sebagai bahan polimer

komersial oleh DuPont. *Polyimide* sering digunakan dan sangat penting dalam bidang ilmiah maupun komersial. Hal ini disebabkan kombinasi dari sifat-sifat yang luar biasa termasuk konduktivitas thermal, kekuatan mekanik tinggi, modulus tinggi, sifat listrik yang sangat baik, ketahanan kimia yang unggul, serta ketahanan pelarut yang sempurna, perekat dan sifat isolasi listrik dan telah banyak digunakan dalam bidang industri terutama dalam bidang kedirgantaraan (Sarkar, 2005) (Shaoju Jian, 2018).

Polyimide dikenal juga sebagai Pi atau kapton yang memiliki kekuatan mekanik yang baik, stabilitas termal yang sangat baik, dan sifat kimia. Film *polyimide* yang memiliki sifat fisik, listrik, dan mekanik yang sangat baik. Rentang temperatur yang dapat diterima oleh film *polyimide* yaitu -269°C hingga 400°C . Sehingga *polyimide* merupakan bahan polymer yang memiliki ketahanan suhu tinggi dan stabilitas dimensi yang baik. Film *polyimide* dapat digunakan sebagai substrat flexible untuk perangkat elektronik. Selain memiliki keunggulan, *polyimide* juga memiliki kelemahan. Kelemahan *polyimide* yaitu tidak kuat terhadap penyinaran UV langsung. Kemudian kelemahan lainnya yaitu tingkat korosi tinggi dan penuaan material. *Polyimide* menunjukkan pita absorbs UV yang luas antara 180 dan 400nm. Hal ini memungkinkan penyerapan efektif semua panjang gelombang laser. (Changzi Qu, 2017)

2.7 Alumina

Alumina (Al_2O_3) atau aluminium oxide adalah satu-satunya oksida yang dibentuk oleh aluminium logam. Zat yang diproduksi setelah dilelehkan dan dikristalkan ulang identic dalam sifat kimia dan fisik dengan korundium alami. Alumina merupakan bahan yang sangat keras dan kekerasannya hanya dapat dilampaui oleh berlian dan beberapa zat sintesis. Sifat lain dari alumina yaitu titik

lelehnya yang tinggi diatas 200°C (3632°F). Dalam bidang elektronika, alumina digunakan untuk komponen pasif seperti interkoneksi, resistansi, dan kapasitor. Secara khusus alumina digunakan sebagai substrat untuk sirkuit hibrida, sirkuit interkoneksi multilayer. Sifat mekanik, kimia, dan listrik dari alumina (kemurnian 99,7%) yang selalu digunakan pada industry keramik akan dijelaskan pada Tabel (2.1) (Davis, 2010)

Tabel 2. 1 Sifat mekanik, Kimia, dan Listrik Alumina

	Properties	Kondisi	Units	Values
Mechanical Properties	Bulk Density	20°C	g/cm ³	3.96
	Gaya Tarik	20°C	Mpa	220
	Kekuatan Kelenturan	20°C	>Mpa	410
	Modulus Elastisitas	20°C	Gpa	375
	Kekerasan	20°C	Kg/mm ²	14
	Ketangguhan Patah	20°C	Mpa.m ^{1/2}	4-5
	Porositas	20°C	%	0
	Thermal Properties	Max. Suhu Kerja	-	°C
Koefisiensi Ekspansi Termal		25-300°C	10 ⁻⁶ /°C	7.8
Koefisiensi Ekspansi Termal		25-1000°C	10 ⁻⁶ /°C	8.1
Konduktifitas termal		20°C	W/mK	28
Electrical Properties	Kekuatan Dielektrik	2.5mm tk	Ac-kv/mm	10
	Konstanta Dielektrik	1 MHz	-	9.7
	Resistansi volume	20°C	Ohm-cm	>10 ¹⁴
	Resistansi volume	300°C	Ohm-cm	10 ¹⁰

	Resistansi volume	1000°C	Ohm-cm	10 ⁶
	Faktor kerugian	1 MHz	-	0.009
	Faktor disipasi	1 MHz	-	0.0001

2.8 Efek Seebeck

Efek *Seebeck* adalah perubahan secara langsung dari perbedaan temperatur ke listrik. Pada tahun 1821, fisikawan Jerman-Estonia, Thomas Johann *Seebeck* pertama kali menemukan bahwa jarum kompas akan berbelok oleh loop tertutup yang dibentuk dari gabungan dua logam di dua tempat yang memiliki perbedaan temperatur antara sambungannya. Hal tersebut disebabkan karena respon logam terhadap perbedaan temperatur yang meimbulkan medan magnet. Sehingga jika ada dua buah material logam yang tersambung berada di lingkungan dengan temperatur yang berbeda maka di dalam material tersebut akan mengalir arus listrik (Dongfang Sun, 2017). Efek *Seebeck* dapat ditunjukkan dengan membuat sambungan antara kabel dari berbagai logam. Ujung kabel lainnya dihubungkan dengan voltmeter yang sensitive. Ketika sambungan kabel dipanaskan akan menghasilkan tegangan kecil. Sehingga besarnya tegangan termoelektrik sebanding dengan perbedaan suhu pada sambungan termokopel. (Goldsmid, 2010)

Termokopel merupakan salah satu sensor temperatur yang digunakan untuk mengubah perbedaan temperatur dalam benda menjadi perubahan tegangan listrik (*electromotive force*), yang kemudian tegangan listrik dibandingkan dengan skala konversi tertentu menjadi unit temperatur. Elemen sensor ini merupakan dua jenis logam konduktor yang berbeda yang disebut *thermos-element*, dan kedua ujung diisolasi satu sama lain kecuali pada bagian *junction* (Sutarya, 2008). Prinsip kerja dari sensor ini yaitu

sebuah konduktor yang diberi perbedaan panas secara gradien akan menghasilkan tegangan listrik yang disebut sebagai efek termoelektrik. Dalam mengukur perubahan panas maka gabungan dua macam konduktor sering digunakan pada ujung benda yang diukur (Kiswanta, 2011).

Pada efek termoelektrik, ketika material diberikan beda suhu maka elektron bergerak dari sisi panas ke sisi dingin. Konversi energi ini disebut efek *Seebeck*. Konduktor pada termoelektrik terdiri dari dua logam yang berbeda yang dinotasikan sebagai material A dan B. Jika material A diberikan panas T_A dan material B lebih dingin T_B , maka akan timbul tegangan listrik (V_o). Adapun hubungan tegangan, temperatur, dan efek *Seebeck* ditunjukkan oleh Persamaan (2.1)

$$\alpha_{AB} = \alpha_A - \alpha_B = \frac{V_A - V_B}{(T_A - T_B)} \dots \dots \dots (2.1)$$

Di mana V merupakan tegangan (volt), α_{AB} merupakan koefisien *Seebeck* material A dan B (volt/ $^{\circ}$ K), T_A adalah termokopel sisi panas ($^{\circ}$ K), dan T_B adalah termokopel sisi dingin ($^{\circ}$ K) (H.J. Goldsmid, 2010).

Tegangan yang dihasilkan sebanding dengan perbedaan temperatur diantara dua sambungan (junction). Semakin besar perbedaan temperatur, semakin besar tegangan diantara junction. Timbul perbedaan kerapatan pembawa muatan akan menimbulkan difusi elektron daerah rapatan muatan yang tinggi ke daerah rapatan muatan yang rendah dan temperatur tinggi ke temperatur rendah. Hal ini disebabkan karena kepadatan elektron dari material logam yang berbeda. Inilah yang menyebabkan arus mengalir berlawanan dan menimbulkan tegangan yang disebut dengan fenomena termoelektrik. Tetapi jika junction pada material ini dialiri dengan temperatur yang sama, maka difusi elektron pada junction juga sama. Karena arus berlawanan dan

bernilai sama maka jumlah arusnya adalah nol (Nurdin, 2013). Berikut klasifikasi koefisien *Seebeck* menurut bahan secara umum yang ditunjukkan pada tabel 2.2 (Medina, 2015)

Tabel 2. 2 Koefisien *Seebeck* pada Material Umum

Bahan	Koefisien <i>Seebeck</i> (Volt/K)
Selenium	900
Tellurium	500
Silicon	440
Germanium	330
Antimony	47
Nichrome	25
Molybdenum	10
Cadmium, tungsten	7.5
Gold, silver, copper	6.5
Rhodium	6.0
Tantalum	4.5
Lead	4.0
Aluminium	3.5
Carbon	3.0
Mercury	0.6
Platinum	0 (definition)
Sodium	-2.0
Potassium	-9.0
Nickel	-15
Constantan	-35
Bismuth	-72

2.9 Konduktivitas Listrik

Konduksi merupakan perpindahan kalor yang terjadi pada materi yang dapat digambarkan sebagai hasil tumbukan molekul-molekul. Pada umumnya terjadi pada logam, tumbukan antara elektron-elektron bebas di dalam logam dan dengan atom logam tersebut mengakibatkan terjadinya konduksi. Perpindahan kalor terjadi melalui zat penghantar tanpa disertai perpindahan zat. Perpindahan kalor dengan cara konduksi pada umumnya terjadi

pada zat padat. Suatu zat dapat menghantar kalor disebut konduktor (Giancoli, 2001).

Konduktivitas listrik yaitu ukuran kemampuan suatu larutan untuk menghantarkan arus listrik. Nilai konduktivitas listrik hanya menunjukkan konsentrasi ion total dalam larutan. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung konduktor, maka muatan yang terdapat dalam bahan konduktor akan berpindah dan kemudian menghasilkan arus listrik. Konduktivitas listrik juga didefinisikan sebagai rasio dari rapat arus terhadap kuat medan listrik. Resistivitas adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan arus listrik (Callister, 2001).

Konduktivitas digunakan untuk pengukuran larutan/cairan elektrolit. Konsentrasi elektrolit sangat menentukan besarnya konduktivitas. Energi listrik dapat di transfer melalui materi berupa hantaran yang bermuatan listrik yang berwujud arus listrik. Ini berarti bahwa harus terdapat pembawa muatan listrik di dalam materi serta adanya gaya yang menggerakkan pembawa muatan tersebut. Pembawa muatan dapat berupa elektron seperti logam, dapat pula berwujud ion positif dan ion negative seperti dalam larutan elektrolit dan lelehan garam. Pembawa muatan yang berwujud logam disebut elektrolit atau metalik, sedangkan pembawa muatan yang berupa larutan disebut ionik atau elektrolit. Gaya listrik yang membuat muatan bergerak biasanya berasal dari baterai, generator atau sumber energi listrik yang lain. Perpindahan muatan listrik dapat terjadi bila terdapat beda potensial antara satu tempat terhadap yang lain, dan arus listrik akan mengalir dari tempat yang memiliki potensial tinggi ke tempat potensial rendah. Terjadinya arus listrik didalam suatu larutan dikarenakan adanya ion yang bergerak (Supriyana, 2004)

Pengukuran nilai hambatan jenis dari suatu bahan, dimana dengan mengalirkan arus kedalam lapisan bahan yang memiliki

panjang L sehingga dari aliran arus terjadi beda potensial V .
Sehingga dapat dijelaskan dengan Persamaan (2.2)

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots(2.2)$$

Berdasarkan hokum ohm yang berlaku yaitu

$$V = I \times R \dots\dots\dots(2.3)$$

Jika Persamaan (2.3) disubstitusikan ke Persamaan (2.2) akan
menjadi Persamaan (2.4)

$$\rho = \frac{V A}{I L} \dots\dots\dots(2.4)$$

Konduktivitas listrik dapat dinyatakan dalam

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana σ adalah nilai konduktivitas listrik dengan satuan Siemen/m, sedangkan ρ menunjukkan nilai resistivitas dari material semikonduktor yang memiliki satuan Ω , R merupakan resistansi bahan dengan satuan Ω , l merupakan panjang konduktor dengan satuan m, dan A merupakan luas permukaan lempeng dengan satuan m^2 (Irianto, 2014).

BAB III

METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Januari 2018 sampai dengan Maret 2018 di Laboratorium Instrumentasi dan Elektronika, Departemen Fisika, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan Termoelektrik *Research Center (TRC)* pada bagian *Thin film Research Laboratory (TFR-L)* di Sakon Nakhon Rajabhat University, Thailand.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa bagian yaitu fabrikasi termoelektrik *thin film* dan untuk pengukuran hasil fabrikasi.

3.2.1 Alat dan Bahan untuk Fabrikasi Termoelektrik *Thin Film* Tipe-P

Alat yang digunakan pada fabrikasi termoelektrik *thin film* yaitu

1. *DC Magnetron Sputtering*

DC Magnetron Sputtering seperti pada Gambar (3.1) digunakan sebagai alat *sputtering* bahan *thin film* yang menggunakan arus DC. Bagian-bagian yang ada pada *DC Magnetron Sputtering* yaitu *Vacuum chamber*, *Vacuum pump unit*, *Gas control*, dan *Cooling control*. *Vacuum chamber* berfungsi sebagai tempat proses *sputtering thin film*. *Vacuum pump* unit berfungsi sebagai pengatur tekanan argon pada *vacuum chamber*. *Gas control* berfungsi sebagai pengatur keluarnya argon dengan tekanan pada tabung gas argon. *Cooling system* berfungsi untuk mendinginkan

vacuum chamber setelah proses *sputtering*. Adapun Gambar (3.1) sebagai berikut



Gambar 3. 1 *DC Magnetron Sputtering*

2. *DC Power supply*

DC Power supply adalah komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah tegangan AC menjadi DC. *Power supply* seperti pada digunakan sebagai pembangkit tegangan DC (*Direct Current*), serta mengatur tegangan yang dibutuhkan selama proses *sputtering* di dalam *magnetron sputtering*. *DC Power supply* diihubungkan dengan alat *magnetron sputtering*.

3. *Hot pressing*

Hot pressing seperti pada Gambar (3.2) digunakan sebagai alat proses *annealing* modul termoelektrik setelah proses *sputtering*. Prinsip kerja dari *hot pressing* yaitu modul termoelektrik *thin film* diletakkan pada tabung tahan panas dan tabung akan dimasukkan ke dalam sistem vakum udara.

Di dalam *hot pressing* terjadi pemanasan dan tekanan yang mengalir dari tabung gas. Proses pemanasan terjadi secara berkala dengan waktu yang ditentukan dan akan berhenti pada suhu yang diinginkan.



Gambar 3. 2 *Hot pressing*

4. *Ultrasonic Cleaner*

Ultrasonic Cleaner merupakan alat pembersih kontaminasi dengan cara objek dimasukkan ke dalam cairan kemudian diberi frekuensi tinggi gelombang suara (33kHz). *Ultrasonic cleaner* seperti pada Gambar (3.3a) digunakan sebagai alat pembersih substrat dengan cara menggetarkan bahan dengan cairan *acetone* selama 15 menit.

5. *Glass box*

Di dalam *glass box* seperti pada Gambar (3.3b) terdapat beberapa sekat yang berfungsi untuk memisahkan objek yang akan dibersihkan. *Glass box* digunakan sebagai tempat penyimpanan substrat yang akan dibersihkan dan diisi

dengan *acetone*. Kemudian glass box dimasukkan ke dalam *ultrasonic cleaner*.

6. *Air Compressor*

Air compressor merupakan alat dengan tekanan udara yang tinggi. Prinsip kerja *air compressor* yaitu dinyalakan menggunakan arus ac kemudian selang *air compressor* dipasang dengan alat yang akan mengatur tekanan yang keluar. *Air compressor* seperti pada Gambar (3.3c) digunakan untuk membersihkan sisa-sisa cairan *acetone* yang masih melekat pada substrat dengan cara memberikan tekanan udara pada substrat.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. 3 (a) *Ultrasonic Cleaner*, (b) *Glass Box*, (c) *Air Compressor*

7. *Cutting Sticker*

Cutting sticker seperti pada Gambar (3.4a) merupakan alat yang berfungsi untuk mencetak desain pada sebuah medium secara otomatis. Sebelum pencetakan, desain dibuat dan diatur pada sebuah *software SolidWork*. Alat ini digunakan

sebagai alat pencetak desain pada masker untuk termoelektrik tipe p dan konduktor.



(a)



(b)

Gambar 3. 4 (a) *Cutting Sticker*, (b) *Pinset* dan *Cutter*

8. *Pinset* dan *Cutter*

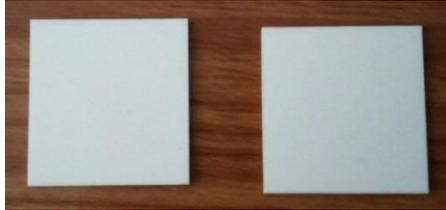
Pinset dan *cutter* seperti pada Gambar (3.4b) merupakan alat yang memiliki ujung runcing. *Pinset* digunakan untuk mengambil benda agar tidak terkontaminasi langsung dengan tangan. *Cutter* digunakan sebagai pemotong benda dengan ketebalan yang terbatas. Pada Penelitian ini, *cutter* digunakan sebagai pemotong bagian pada masker yang akan diproses kemudian bagian masker yang terkelupas akan diambil dengan *pinset*.

Bahan yang digunakan pada fabrikasi termoelektrik *thin film* yaitu

1. Alumina (Al_2O_3)

Alumina seperti pada Gambar (3.5) merupakan salah satu bahan keramik. Alumina memiliki konduktivitas listrik dan termal yang tergolong tinggi. Sehingga alumina sering digunakan sebagai substrat pada fabrikasi termoelektrik konvensional. Pada Penelitian ini, alumina digunakan sebagai substrat material termoelektrik *thin film*. Dimensi

alumina yang digunakan yaitu tinggi 22mm, lebar 20 mm, dan ketebalan 0.3 mm.



Gambar 3. 5 Alumina

2. *Polyimide* (Pi)

Polyimide seperti pada Gambar (3.6) merupakan salah satu jenis material polymer. *Polyimide* memiliki sifat lentur dan tahan terhadap suhu tinggi. Sifat inilah yang menyebabkan *polyimide* digunakan sebagai substrat karena mudah untuk diaplikasikan ke semua bidang datars. Dimensi yang digunakan yaitu tinggi 22 mm, lebar 20 mm, dan ketebalan 0.035mm.



Gambar 3. 6 Flexible *Polyimide*

3. Material Silver Antimony Tellurium (AgSbTe)

Material AgSbTe merupakan bahan alloy semikonduktor tipe p. Material AgSbTe mampu bekerja pada temperatur rendah (0-100°C). Material ini digunakan sebagai bahan target dalam proses *sputtering* dan diaplikasikan sebagai termoelektrik tipe-p. Material AgSbTe yang digunakan seperti pada Gambar (3.7) berupa padatan yang diletakkan

pada lempeng silinder. Ukuran yang digunakan yaitu diameter 60mm dan tebal 3 mm.



Gambar 3. 7 Material Target AgSbTe

4. Material Silver (Ag)

Silver merupakan bahan logam yang memiliki tingkat konduksi yang tinggi dan tahan terhadap temperatur tinggi. Silver merupakan bahan dengan nilai resistansi yang sangat kecil. Material ini digunakan sebagai konduktor sambungan material termoelektrik tipe p. Material silver yang digunakan seperti pada Gambar (3.8) berupa padatan yang diletakkan pada lempeng silinder. Ukuran yang digunakan yaitu diameter 60mm dan tebal 3 mm.



Gambar 3. 8 Material Target Silver (Ag)

5. Bahan Masker

Bahan masker seperti pada Gambar (3.9a) berupa kertas stiker dengan tebal 0.01 mm. Bahan masker yang digunakan

merupakan bahan *polyimide* (Pi). Kertas stiker yang digunakan memiliki spesifikasi tahan sampai suhu 200°C. Masker ini akan dicetak menggunakan *cutting sticker*. Setelah desain telah terbentuk, stiker akan diletakkan di atas substrat dengan menjaga kesterilannya.

6. *Acetone* (C₃H₆O)

Acetone seperti pada Gambar (3.9b) merupakan cairan yang tidak berwarna dan mudah terbakar. Dalam kehidupan sehari-hari *acetone* digunakan sebagai bahan pelarut dan cairan pembersih. Dalam penelitian ini, cairan *acetone* digunakan sebagai cairan pembersih substrat alumina dan substrat *polyimide*.



Gambar 3. 9 (a) Masker *Polyimide*, (b) Cairan *Acetone*

7. Modul Termoelektrik *Thin film*

Dari bahan-bahan dan alat untuk fabrikasi, maka akan dihasilkan modul termoelektrik *thin film*. Modul termoelektrik *thin film* yang dihasilkan yaitu dengan substrat alumina dan substrat *polyimide* seperti pada Gambar (3.10). Modul termoelektrik *thin film* ini selanjutnya akan diukur nilai tegangannya.



Gambar 3. 10 Modul Termoelektrik *Thin film*

3.2.2 Alat untuk Pengukuran Tegangan pada Termoelektrik *Thin Film* Tipe-P

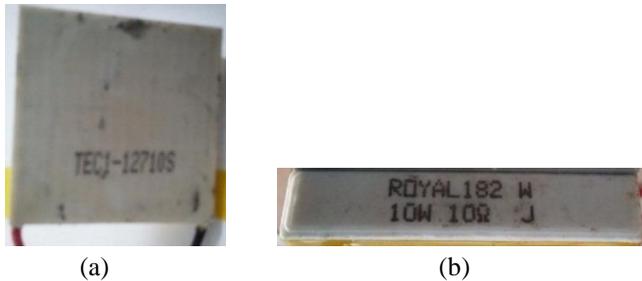
Alat yang digunakan pada proses pengukuran yaitu

1. Termoelektrik *Cooler* 127105

Termoelektrik *cooler* seperti pada Gambar (3.11a) merupakan modul termoelektrik yang memanfaatkan efek Paltier. Prinsip kerjanya yaitu apabila modul diberi arus maka akan menghasilkan perbedaan temperatur dikedua sisi modul. Termoelektrik *cooler* yang digunakan memiliki spesifikasi temperatur yang dihasilkan 25°C-50°C pada sisinya. Daya yang dihasilkan 43-49 Watt. Perbedaan temperatur antara kedua sisi yaitu 66-75°C. Arus yang mengalir pada modul mencapai 5,3 A dan tegangan yang dibutuhkan yaitu 14,2-16.2 V. Resistansi modulnya yaitu 2.4-2.75 Ω . Pada penelitian ini modul TEC digunakan sebagai sumber temperatur dingin.

2. *Mini Heater*

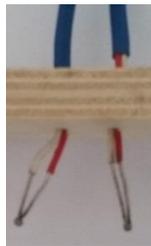
Mini heater yang digunakan seperti pada Gambar (3.11b) yaitu jenis royal 182 W 10 ohm. Prinsip kerja dari mini heater ini yaitu alat akan dihubungkan dengan *power supply*. Kemudian mini heater akan dialiri tegangan. Pada penelitian *mini heater* sebagai sumber panas pada bagian samping atas modul termoelektrik.



Gambar 3. 11 (a) Termoelektrik *Cooler*, (b) *Mini Heater*

3. Termokopel Tipe-K

Termokopel tipe-k seperti pada Gambar (3.12) memiliki spesifikasi range pengukuran pada temperatur -200°C sampai 1250°C . Termokopel tipe K terdiri dari Nickel-Chromium sebagai sisi positif dan Nickel-Aluminum sebagai sisi negative. Termokopel tipe k digunakan sebagai sensor temperatur pada bagian modul *thin film* suhu dingin dan suhu panas.



Gambar 3. 12 Termokopel Tipe-K

4. *Power supply*

DC *Power supply* merupakan komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah tegangan AC menjadi DC. *Power supply* seperti pada Gambar (3.13) sebagai sumber tegangan DC untuk TEC dan mini heater. Tegangan yang digunakan yaitu 3.6 V.



Gambar 3. 13 *Power supply*

5. Multimeter

Multimeter merupakan alat pengukur listrik yang dapat mengukur tegangan, hambatan, maupun arus. Multimeter dapat mengukur listrik AC maupun DC. Multimeter seperti pada Gambar (3.14a) digunakan sebagai alat pendeteksi tegangan yang dihasilkan pada modul thin film termoelektrik.

6. Termometer Digital

Thermometer merupakan alat yang dapat membaca temperatur. Thermometer digital dapat membaca temperatur ketika dihubungkan dengan termokopel. Thermometer digital dapat diatur untuk membaca temperatur pada termokopel 1, 2, maupun perbedaan temperatur. Termometer digital seperti pada Gambar (3.14b) digunakan sebagai alat pendeteksi perbedaan suhu yang dibaca oleh termokopel tipe k.



(a)

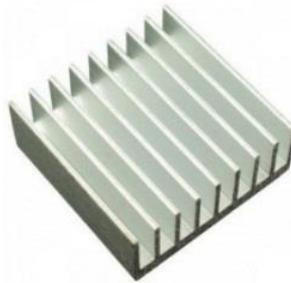


(b)

Gambar 3. 14 (a) Multimeter, (b) Termometer Digital

7. *Heat sink*

Heat sink seperti pada Gambar (3.15) merupakan suatu alat penukar kalor yang dapat menyerap panas dari suatu komponen. Panas yang diserap kemudian merambat menuju sirip untuk ditransfer ke lingkungan sekitar. Panas yang sudah berada pada sirip kemudian didinginkan menggunakan udara yang mengalir pada celah diantara sirip-sirip. Pergerakan udara pada celah dapat mengakibatkan penurunan tekanan. *Heat sink* digunakan sebagai penyerap panas pada TEC dan mini heater sehingga tidak terjadi over heat.



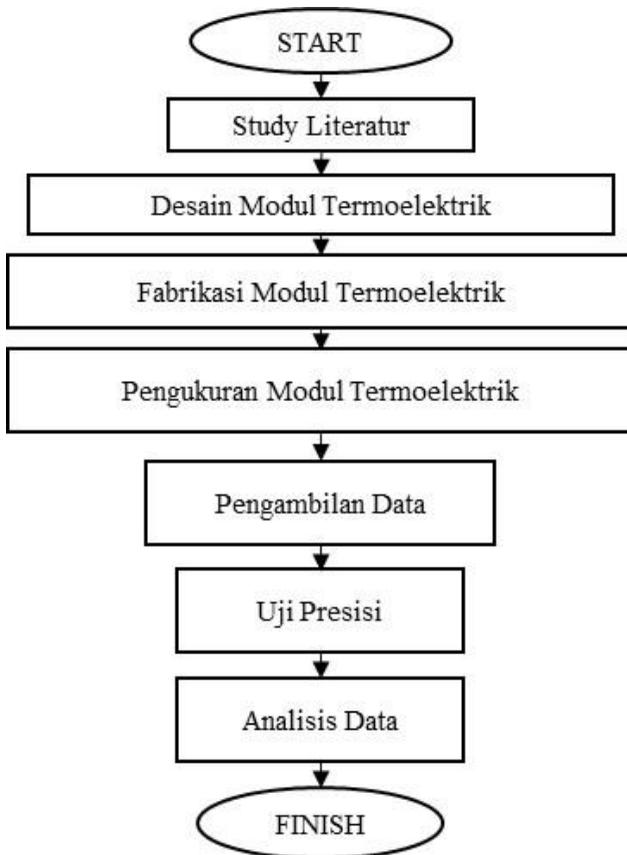
Gambar 3. 15 *Heat sink*

8. Kamera DSLR

Kamera dslr berfungsi sebagai perekaman data pada proses pengujian modul. Hal ini disebabkan karena perubahan temperatur dan meningkatkan tegangan begitu cepat sehingga apabila menggunakan cara manual maka data sulit untuk terbaca.

3.3 Prosedur Penelitian

Gambaran umum prosedur penelitian ini dijelaskan pada diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar (3.16)



Gambar 3. 16 Diagram Alir penelitian

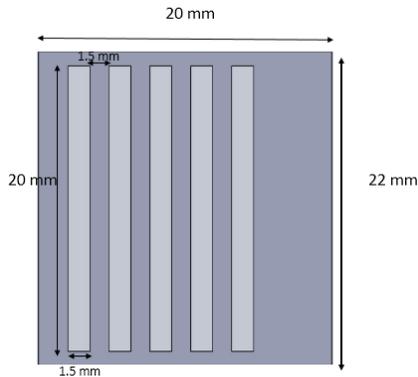
Prosedur penelitian secara singkat dibagi menjadi tiga tahapan. Tahap pertama adalah studi literatur. Tahap kedua adalah desain dan fabrikasi termoelektrik *thin film tipe p*. Tahap ketiga adalah pengukuran hasil fabrikasi modul termoelektrik *thin film*. Secara rinci akan dijelaskan sebagai berikut:

3.3.1 Studi Literatur

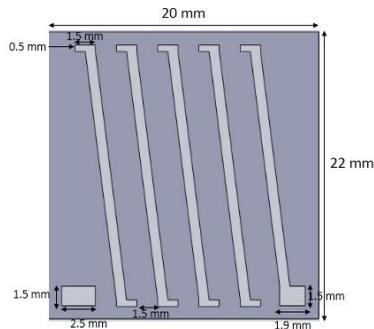
Studi literatur dilakukan dengan membaca dan mereview beberapa jurnal nasional maupun internasional dan buku yang sesuai dengan topik penelitian. Hasil review berupa dasar teori yang telah dituliskan pada Bab 2.

3.3.2 Desain dan Fabrikasi Termoelektrik *Thin Film* Tipe P

Pembuatan termoelektrik *thin film* tipe p diawali dengan dirancang desain untuk konfigurasi untuk material AgSbTe tipe p dan material silver (Ag) sebagai electrode. Konfigurasi material AgSbTe dibuat seperti pada Gambar (3.17) dan konfigurasi material silver (Ag) seperti pada Gambar (3.18). Desain konfigurasi material AgSbTe dan material silver (Ag) dibuat dengan aplikasi Solidwork 2013.



Gambar 3. 17 Desain Konfigurasi untuk Material AgSbTe



Gambar 3. 18 Desain Konfigurasi untuk Material silver (Ag)

Fabrikasi termoelektrik *thin film* tipe p dilakukan dengan menggunakan *DC Magnetron Sputtering*. Tahapan fabrikasi adalah sebagai berikut.

- a. Persiapan Bahan
 - Disiapkan bahan target yaitu Silver Antimoni Telurrium (AgSbTe) dan silver (Ag).
 - Substrat alumina dibersihkan dengan cara: 1). substrat dicuci dengan air dan sabun cuci kemudian dibilas dengan *distilled water*, 2). substrat dibersihkan dengan *acetone* dengan digunakan *Ultrasonic cleaner* selama 15 menit, 3). Dikeringkan dengan *air compressor*.
- b. Persiapan Alat
 - Dipastikan kondisi sistem *DC Magnetron Sputtering* berfungsi dengan baik
 - Dilakukan *sputtering thin film* dengan bahan AgSbTe dan Ag.
- c. Persiapan *Masker*

Masker dibuat berdasarkan desain termoelektrik *thin film*, kemudian dicetak pada kertas *sticker*.

d. Proses *Sputtering*

- Rekatkan masker pada substrat kemudian substrat diletakkan dan direkatkan pada papan anoda. Substrat dan bahan target di letakkan di dalam *vacuum chamber*. Substrat dipasang pada anoda yang ada dalam *vacuum chamber* dan pada katoda dipasang bahan target.
- Hidupkan *vacuum pump* dan pengatur tekanan. Tunggu hingga tekanan di dalam *vacuum chamber* pada *base pressure*, waktu yang dibutuhkan kurang lebih 1-2 jam.
- Jika sudah dicapai *base pressure*, hidupkan *power supply*. Atur arus listrik dan tegangan sesuai bahan target. Atur tekanan yang sesuai dengan bahan target. Tekan tombol tegangan *output* untuk dimulai *sputtering* dan atur lamanya waktu *sputtering* sesuai yang diinginkan.
- Untuk *sputtering* pertama dilakukan dengan material target AgSbTe. Lama proses *sputtering* untuk material AgSbTe yaitu 1 menit dengan base pressure $3,4 \times 10^{-5}$ Torr.
- Untuk *sputtering* ke dua dilakukan dengan material target silver (Ag). Lama proses *sputtering* untuk material silver yaitu 2 menit dengan base pressure $3,5 \times 10^{-2}$ Torr

e. Proses *Annealing*

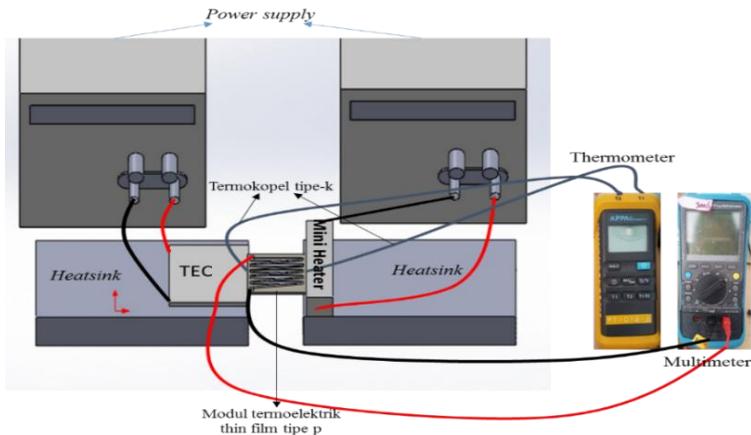
- Setelah proses *sputtering* maka dilakukan proses *Annealing* dengan digunakan *hot pressing*.
- Substrat Alumina dan *polyimide* diambil menggunakan *pinset* kemudian diletakkan pada

tabung besi dengan kondisi tidak saling bertindihan antara substrat.

- Letakkan tabung pada alat *hot pressing*. Kemudian alat *hot pressing* di tutup dan dipastikan kedap udara.
- *Hot pressing* dinyalakan sampai temperatur 400°C dengan lama waktu 1 jam proses pemanasan.
- Setelah proses pemanasan selesai, substrat tidak bisa langsung di keluarkan dari alat. Proses pendinginan ditunggu selama 1 hari hingga dicapai temperatur kamar.

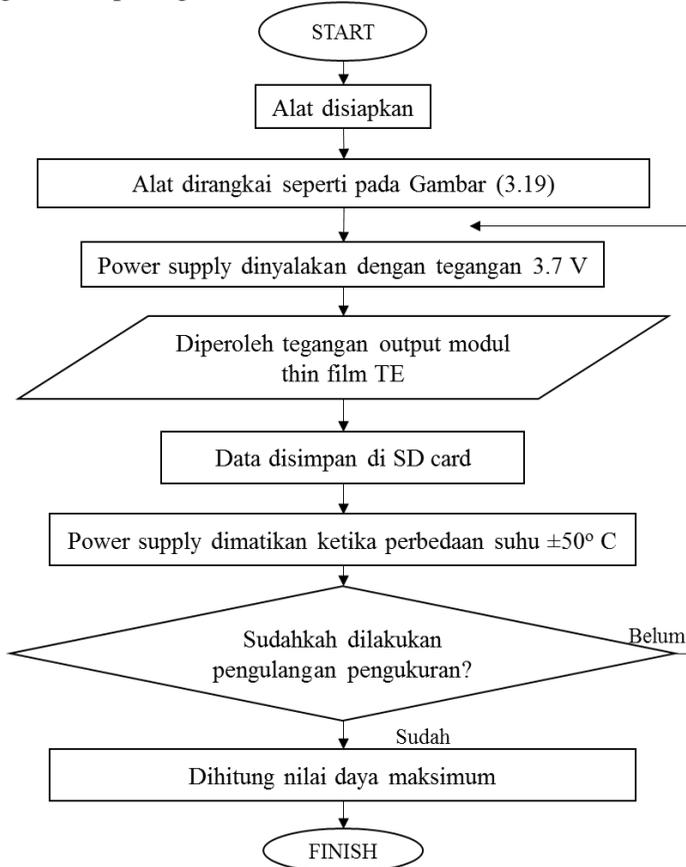
3.3.3 Pengukuran Modul Termoelektrik *Thin Film* Tipe p

Setelah diperoleh hasil fabrikasi berupa modul termoelektrik *thin film*, maka dilakukan pengukuran dengan dirangkai alat-alat pada subbab 3.2.2 menjadi seperti pada Gambar (3.19).



Gambar 3. 19 Rangkaian Alat untuk Pengukuran Modul Termoelektrik *Thin Film*

Pengambilan data pada proses pengukuran dilakukan seperti pada diagram alir pada gambar (3.20).



Gambar 3. 20 Diagram Alir Pengukuran Modul Termoelektrik *Thin Film*

Langkah-langkah pengukuran modul termoelektrik *thin film* tipe p yaitu pertama, disiapkan alat pengukuran pada subbab 3.2.2. Setelah itu alat dirangkai seperti pada gambar (3.19). Pada sisi bawah termoelektrik *cooler* dan *mini heater* diletakkan *heat*

sink agar tidak terjadi *over heat*. Termokopel tipe k diletakkan pada kedua ujung atas dan bawah modul *thin film*. Termokopel dihubungkan pada thermometer yang diatur agar dapat terdeteksi perbedaan temperatur antara temperatur panas (T_h) dan temperatur dingin (T_c). Pada bagian paling ujung *thin film* silver dihubungkan dengan kabel yang akan diukur tegangan yang dihasilkan oleh modul *thin film*. Termoelektrik *cooler* dan mini heater dinyalakan dengan dialiri tegangan DC. Hasil pada multimeter dan thermometer direkam dengan kamera. Pada saat perbedaan temperatur kurang lebih 50°C maka *power supply* dimatikan. Dan rekaman juga dihentikan. Modul termoelektrik *thin film* ditunggu hingga dingin sampai perbedaan temperatur mendekati 0°C . Setelah itu, dilakukan pengukuran kembali. Variasi pengukuran yang dilakukan yaitu pengulangan pengukuran sebanyak tiga kali. Hasil pengukuran yang akan diperoleh yaitu berupa tegangan dengan berbagai perbedaan temperatur. Dicatat hasil tegangan yang diperoleh pada MS. Excel. Kemudian data diolah dan dihitung nilai daya maksimumnya dengan menggunakan Persamaan (3.1)

$$P_{max} = \frac{V_o^2}{4R_{in}} \dots\dots\dots (3.1)$$

Di mana:

P_{max} : Power Maximum (W)

V_o : Voltage *output* (V)

R_{in} : Resistance internal module TE (Ω)

R_{in} *polyimide* = 31.78 k Ω

R_{in} *alumina* = 38.2 k Ω

3.4 Presisi

Presisi menunjukkan seberapa besar kedekatan nilai dari hasil pengukuran dengan dilakukannya pengulangan. Dalam

melakukan perhitungan presisi ada beberapa hal yang harus dihitung. Rumus perhitungan yang digunakan terdapat pada Persamaan 3.2 hingga 3.4.

a. Ralat Mutlak

$$\Delta = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{n \times (n - 1)}} \dots\dots\dots(3.2)$$

b. Ralat Nisbi

$$I = \frac{\Delta}{x} \times 100\% \dots\dots\dots(3.3)$$

c. Keseksamaan

$$K = 100\% - I \dots\dots\dots(3.4)$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Fabrikasi Termoelektrik *Thin film*

Proses pembentukan termoelektrik *thin film* terjadi pada daerah *vacuum chamber*. Di dalam *vacuum chamber* terdapat sebuah *magnetron sputtering gun* yang terdiri dari *magnet assembly*, katoda, *target holder* dan target. *Magnet assembly* sebagai pengontrol arah medan magnet kutub utara dan selatan. *Target holding* berfungsi mengakomodasi target. Target sendiri merupakan bahan target yang sudah disiapkan yaitu AgSbTe dan Ag.

Pada proses fabrikasi hal yang paling awal dilakukan yaitu menentukan desain yang akan digunakan. Kemudian desain tersebut dicetak pada masker *polyimide* dan ditempelkan pada substrat. Substrat yang digunakan yaitu alumina dan *polyimide*. Penggunaan kedua substrat ini dikarenakan untuk substrat alumina merupakan salah satu substrat terbaik untuk termoelektrik. Sedangkan substrat *polyimide* digunakan karena *polyimide* merupakan bahan yang elastis sehingga mudah untuk diaplikasikan pada semua bidang. Substrat alumina dan *polyimide* memiliki titik leleh yang tinggi yaitu sampai 200°C. Sehingga dapat diaplikasikan untuk seluruh material termoelektrik dari suhu rendah sampai suhu tinggi. Penempelan masker *polyimide* pada substrat bertujuan agar dapat terbentuk material *thin film* sesuai bentuk dan ukuran. Dan juga tidak terjadi *oxide* diantara bagian *thin film*. Sebelum ditempelkan masker, substrat dibersihkan dengan *distilled water* dan *acetone* yang bertujuan agar material pengotor pada substrat hilang dan tidak mempengaruhi bahan *thin film* yang akan di *sputtering*.

Kemudian substrat diletakkan pada lempeng anoda dan substat direkatkan dengan perekat *polyimide* agar tidak bergeser dan jatuh mengenai target ketika proses *sputtering*. Material target diletakkan pada magnetron katoda. Jarak antara lempeng anoda dan bahan target yaitu 6 cm. Untuk kondisi saat proses *sputtering* dapat dilihat pada Tabel (4.1)

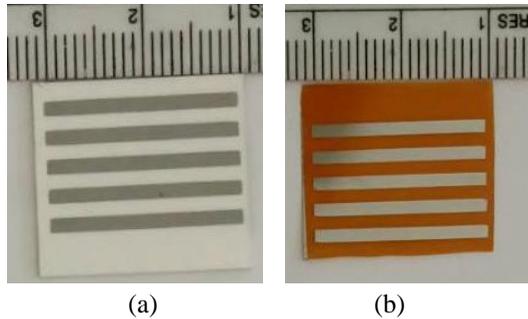
Tabel 4. 1 Kondisi *Sputtering Thin film AgSbTe* dan Ag

Parameter	AgSbTe Target	Ag Target
Base Pressure (Torr)	3.4×10^{-5}	3.5×10^{-5}
Operation Pressure (Torr)	2.0×10^{-2}	1.5×10^{-2}
Ar Flow Rate (sccm)	3.0	2.5
Voltage (Volt)	413-527	549-562
Current (mA)	80	150
Vacuum Chamber Temperatur (°C)	18	18
Deposition Time (minute)	1	2
Ketebalan Film	1,5µm	1,5µm

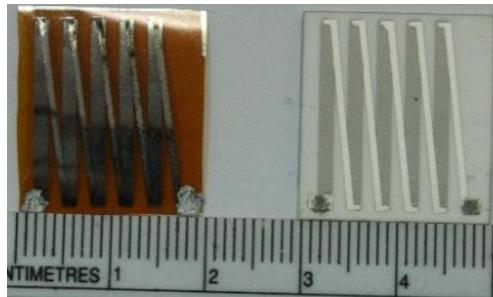
Proses terbentuknya termoelektrik *thin film* yaitu melalui proses *sputtering*. Pada saat HV Gauge menunjukkan *base pressure* yang diinginkan seperti pada Tabel (4.1), maka *power supply* akan dinyalakan. Pada *vacuum chamber* terdapat gas argon yang bersifat netral sehingga apabila diberi tegangan akan menghasilkan plasma yang menyala. Plasma merupakan gas terionisasi yang bermuatan netral. Pada proses *sputtering*, keberadaan plasma berfungsi agar dapat menghasilkan lapisan yang rata dan rapi pada substrat. Elektron pada magnet katoda ketika diberi tegangan akan terjadi perpindahan dari magnet utara ke selatan. Sehingga ketika gas argon melewati plasma, terjadi tumbukan antara Ar^+ dengan electron. Oleh sebab itu, Ar^+ kehilangan muatan positif dan elektron menerima energi. Hal ini menyebabkan argon turun sehingga dapat membombardir bahan target. Dan bahan target akan terpental menuju anoda. Reaksi

tersebut yaitu $\text{Ar}^+ + e \rightarrow \text{Ar} + 2e$. Atom bahan target yang terpental akan menempel pada substrat karena ada peristiwa adhesi. Hal ini disebabkan atom pada bahan target dan bahan substrat berbeda sehingga akan terjadi gaya tarik menarik antara atom bahan target dan substrat.

Dari tumbukan bahan, maka akan terbentuk lapisan film yang sangat tipis pada substrat. Hasil dari proses *sputtering* yaitu terbentuk film dengan ketebalan $1,5\mu\text{m}$. Hasil *sputtering* material AgSbTe dapat dilihat pada Gambar (4.1). Setelah proses *sputtering* bahan AgSbTe maka dilakukan proses *annealing*. Proses *annealing* bertujuan untuk memperbaiki struktur bahan AgSbTe pada substrat. Hal tersebut disebabkan bahan target AgSbTe terdapat beberapa retakan sehingga akan mempengaruhi struktur bahan yang terbentuk pada substrat. Selain itu, proses *annealing* juga berfungsi untuk menghilangkan sedikit pengotor pada bahan, sehingga akan mengurangi resistansinya. Setelah itu, dilakukan proses *sputtering* lagi untuk bahan silver (Ag) yang digunakan sebagai penghubung antara semikonduktor tipe p. Setelah proses *sputtering* bahan silver, tidak dilakukan *annealing*. Hal ini disebabkan bahan silver yang telah *disputtering* memiliki resistansi yang sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Bahan silver merupakan konduktor yang tahan terhadap temperatur tinggi, sehingga dapat menjadi konduktor yang baik. Setelah semua proses fabrikasi selesai, maka dihasilkan modul termoelektrik *thin film* tipe-p dengan 2 substrat yaitu alumina dan *polyimide* yang ditunjukkan pada Gambar (4.2).



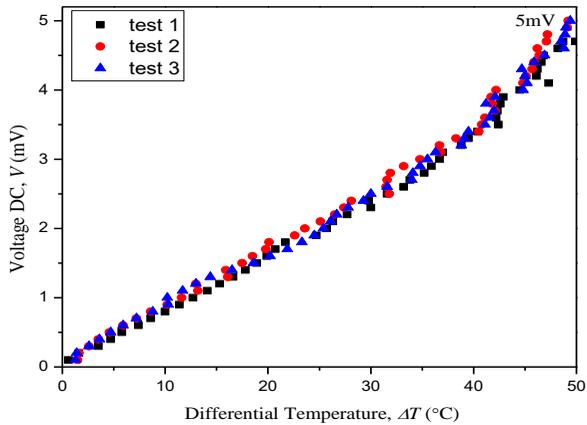
Gambar 4. 1 Hasil *sputtering* AgSbTe pada substrat (a) Alumina dan (b) *Polyimide*



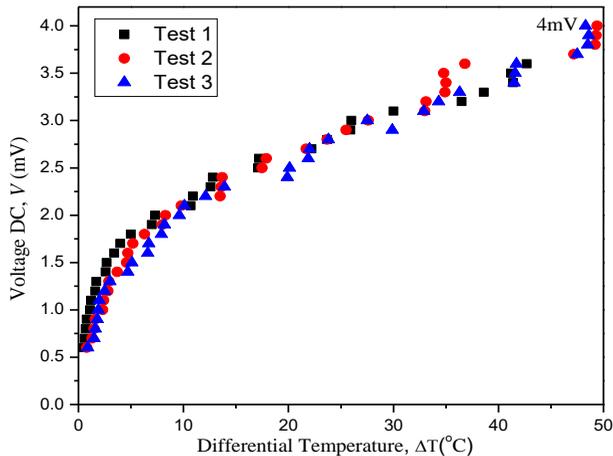
Gambar 4. 2 Modul termoelektrik *thin film* Tipe-p

4.2 Hasil Pengukuran Modul Termoelektrik *Thin Film*

Setelah dilakukan fabrikasi, maka akan diukur tegangan yang dihasilkan oleh kedua modul dengan memberi perlakuan perbedaan temperatur. Sehingga akan diperoleh data yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar (4.3) dan Gambar (4.4).



Gambar 4. 3 Grafik Hasil Tegangan *Output* pada Modul Termoelektrik *Thin Film* Substrat Alumina dengan Perbedaan Temperatur sampai 50 $^{\circ}\text{C}$



Gambar 4. 4 Grafik Hasil Tegangan *Output* pada Modul Termoelektrik *Thin Film* Substrat *Polyimide* dengan Perbedaan Temperatur sampai 50 $^{\circ}\text{C}$

Dari hasil grafik pada Gambar (4.3) dan Gambar (4.4) di dapat bahwa semakin besar nilai perbedaan temperatur maka akan semakin besar tegangan yang dihasilkan. Hal ini menjelaskan bahwa hubungan antara tegangan *output* sebanding dengan

perbedaan temperatur. Hubungan ini sesuai dengan efek *Seebeck* yang menyatakan apabila termoelektrik diberi perbedaan temperatur maka akan menghasilkan tegangan. Hasil ini menunjukkan bahwa modul termoelektrik *thin film* yang telah difabrikasi oleh penulis dapat difungsikan sebagai termoelektrik generator. Proses terjadinya arus listrik pada termoelektrik yaitu karena terjadi difusi. Peristiwa difusi yaitu peristiwa perpindahan pembawa muatan karena adanya perbedaan potensial atau karena adanya perbedaan konsentrasi. Ketika termoelektrik *thin film* tipe p diberi temperatur maka electron pada energi valensi akan tereksitasi ke energy konduksi. Hal ini akan terus terjadi ketika temperatur terus dinaikkan.

Nilai tegangan yang dihasilkan oleh modul termoelektrik *thin film* pada setiap substrat berbeda. Pada modul *thin film* dengan substrat alumina, tegangan *output* yang dihasilkan yaitu 5 mV. Tegangan *output* 5mV tersebut dihasilkan pada saat perbedaan temperatur 49.2°C pada pengambilan data kedua dan 49.4°C pada pengambilan data ketiga. Pada modul *thin film* dengan substrat *polyimide*, tegangan *output* terbesar yang dihasilkan yaitu 4mV. Tegangan *output* 4 mV tersebut dihasilkan pada saat perbedaan temperatur 49.2°C pada pengambilan data kedua dan 48.3°C pada pengambilan data ketiga. Pengambilan data pertama pada substrat alumina menghasilkan tegangan *output* 4.7mV pada saat perbedaan temperatur 49.9°C. Pengambilan data pertama pada substrat *polyimide* menghasilkan tegangan *output* 3.6 mV pada saat perbedaan temperatur 42.7°C. Pada pengambilan data pertama substrat *polyimide* tidak sampai pada perbedaan temperatur mendekati 50°C. Hal ini disebabkan pada saat perbedaan temperatur meningkat lebih dari 42.7°C, tegangan *output* yang dihasilkan mengalami penurunan dan peningkatan yang tidak stabil. Sehingga didapat bahwa modul termoelektrik

thin film dengan substrat *polyimide* pada saat awal penggunaan tidak dapat bekerja pada perbedaan temperatur di atas 50°C. Tegangan tertinggi yang dihasilkan pada saat pengambilan data kedua dan ketiga disebabkan masih terdapat elektron-elektron yang memiliki energi dan belum benar-benar kembali pada kondisi awal. Sehingga apabila dilanjutkan dengan pengulangan dengan perbedaan temperatur, maka elektron yang masih memiliki energi akan ketambahan energi lagi. Oleh sebab itu, tegangan yang dihasilkan pada pengulangan berikutnya semakin meningkat.

Hasil tegangan *output* yang berbeda pada setiap substrat menjelaskan bahwa penggunaan substrat sangat berpengaruh. Hal ini disebabkan masing-masing substrat memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda. Alumina merupakan bahan keramik sedangkan *polyimide* merupakan polymer. Bahan polymer diketahui memiliki sifat sulit untuk menghantarkan listrik dibanding dengan bahan keramik. Maka untuk menghantarkan elektron, *polyimide* membutuhkan lebih energi. Untuk substrat alumina sering digunakan sebagai isolator pada termoelektrik konvensional. Oleh sebab itu, alumina dikenal baik untuk menghantarkan listrik.

Perhitungan konduktivitas listrik modul termoelektrik *thin film* yaitu menggunakan Persamaan (2.2) dan (2.5). Berikut perhitungan konduktivitas listrik untuk modul termoelektrik *thin film* dengan substrat alumina dan *polyimide*

Diketahui:

$$R_{\text{alumina}} = 38200\Omega$$

$$R_{\text{polyimide}} = 31780\Omega$$

$$A = 2.25 \times 10^{-9} \text{m}^2$$

$$l = 2 \times 10^{-2} \text{m}$$

Ditanya: σ

Jawab:

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

$$R_{tot} = \rho_1 \frac{L_1}{A_1} + \rho_2 \frac{L_2}{A_2} + \rho_3 \frac{L_3}{A_3} + \rho_4 \frac{L_4}{A_4} + \rho_5 \frac{L_5}{A_5}$$

$$R_{tot} = 5\rho \frac{L}{A}$$

$$\rho = \frac{RA}{5L}$$

Untuk substrat alumina

$$\rho = \frac{38200 \times 2.25 \times 10^{-9}}{5 \times (2 \times 10^{-2})}$$

$$\rho = 8.595 \times 10^{-4} \Omega / m$$

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

$$\sigma = \frac{1}{8.595 \times 10^{-4}}$$

$$\sigma = 1175.1m/\Omega$$

Untuk substrat *polyimide*

$$\rho = \frac{31780 \times 2.25 \times 10^{-9}}{5 \times (2 \times 10^{-2})}$$

$$\rho = 7.15 \times 10^{-4} \Omega / m$$

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

$$\sigma = \frac{1}{7.15 \times 10^{-4}}$$

$$\sigma = 1398.5m/\Omega$$

Pada proses *sputtering* terjadi adhesi yaitu gaya tarik menarik antar molekul yang tidak sejenis. Maka pada modul *thin film*, substrat yang memiliki struktur kimia yang berbeda akan berpengaruh karena adanya gaya tarik menarik antara molekul bahan target dengan molekul substrat. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil resistansi yang diperoleh. Untuk modul termoelektrik *thin film* pada substrat alumina menghasilkan resistansi 38.2 k Ω dan pada substrat *polyimide* 31.78 k Ω . Resistansi ini diasumsikan adalah resistansi dari 5 couple material AgSbTe yang telah terbentuk pada substrat. Meskipun terdapat silver sebagai electrode, akan tetapi resistansinya dapat diabaikan. Hal ini disebabkan resistansi dari silver yang lebih rendah dibanding bahan AgSbTe. Dari resistansi yang diukur maka dapat dihitung konduktivitas listrik pada setiap modul seperti pada perhitungan di atas. Maka diperoleh nilai konduktivitas listrik pada modul dengan subtract alumina dan *polyimide* secara berurutan yaitu 1787.3 m/ Ω dan 1398.5 m/ Ω . Konduktivitas listrik merupakan kemampuan bahan dalam menghantarkan listrik. Hasil konduktivitas listrik membuktikan bahwa memang benar alumina memiliki sifat menghantarkan listrik yang baik dibanding *polyimide*. Jadi hasil tegangan *output* yang berbeda pada setiap substrat memang benar adanya.

4.3 Hasil Perhitungan Koefisien *Seebeck*

Untuk mengetahui koefisien *Seebeck* pada modul termoelektrik *thin film* yang telah dibuat, maka dilakukan perhitungan menggunakan Persamaan (2.2). Berikut contoh perhitungan koefisien *Seebeck* untuk substrat alumina pada saat temperatur 0.6°C.

Diketahui :

$$V_{DC} = 0.1mV = 100\mu V$$

$$\Delta T = 0.6^{\circ}C = 273.6K$$

Ditanya: α

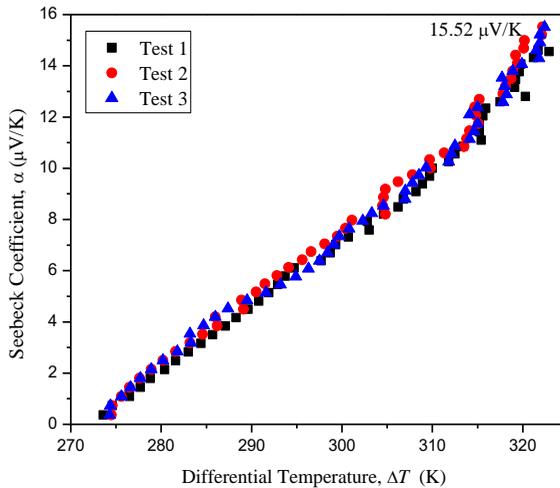
Jawab:

$$\alpha = \frac{V}{\Delta T}$$

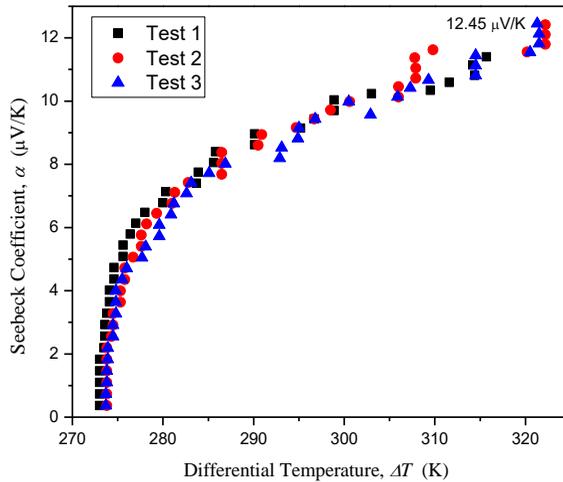
$$\alpha = \frac{100\mu V}{273.6K}$$

$$\alpha = 0.365497 \mu V/K$$

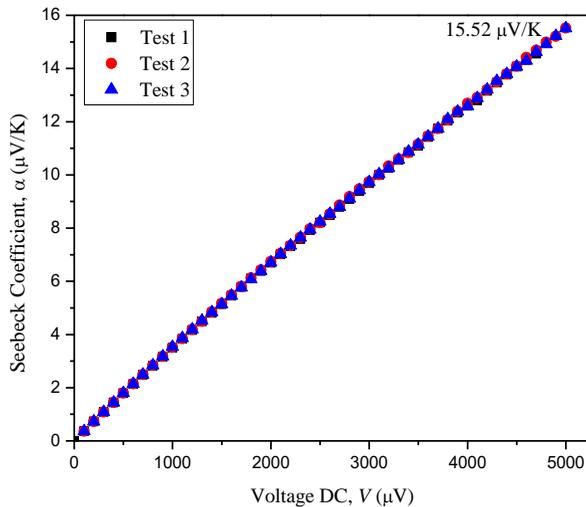
Untuk semua data dilakukan perhitungan seperti pada contoh diatas. Maka hasil perhitungan koefisien *Seebeck* untuk data yang lain dapat dihasilkan grafik seperti pada Gambar (4.5), Gambar (4.6), Gambar (4.7), dan Gambar (4.8).



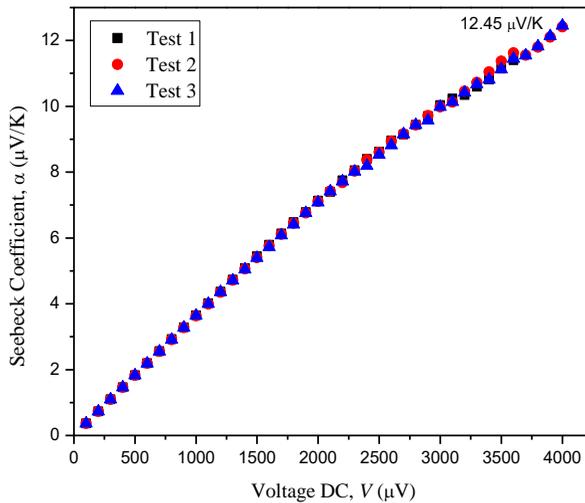
Gambar 4. 5 Grafik hubungan Koefisien *Seebeck* dengan perbedaan temperatur untuk substrat Alumina



Gambar 4. 6 Grafik hubungan Koefisien *Seebeck* dengan perbedaan temperatur untuk substrat *Polyimide*



Gambar 4. 7 Grafik Hubungan Koefisien *Seebeck* dengan Tegangan untuk Substrat Alumina



Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Koefisien *Seebeck* dengan Tegangan untuk Substrat *Polyimide*

Modul termoelektrik *thin film* dengan substrat alumina menghasilkan koefisien *Seebeck* sebesar $15.52\mu V/K$ pada saat perbedaan temperatur $322.2K$. Modul termoelektrik dengan substrat *polyimide* menghasilkan koefisien *Seebeck* sebesar $12.45\mu V/K$ pada saat perbedaan temperatur $321.3K$. Pada perhitungan ini perbedaan temperatur yang semula dalam gradian Celcius dikonversi ke dalam bentuk Kelvin. Hal ini disebabkan pada substrat *polyimide* saat perbedaan temperatur $0^{\circ}C$ dapat menghasilkan tegangan. Apabila nilai temperatur $0^{\circ}C$ dimasukkan dalam perhitungan koefisien *Seebeck*, maka akan menghasilkan nilai tak terdefinisi. Koefisien *Seebeck* merupakan kemampuan dari modul termoelektrik untuk mengubah perbedaan temperatur menjadi tegangan. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa modul termoelektrik *thin film* dengan substrat alumina lebih baik dibanding dengan substrat *polyimide*. Sehingga,

efisiensinya akan lebih besar. Akan tetapi, perbedaan hasil perhitungan koefisien *Seebeck* kedua substrat tidak terlalu jauh.

Pada Gambar (4.5) dan Gambar (4.6) merupakan grafik perbandingan koefisien *Seebeck* terhadap temperatur. Dari grafik tersebut didapat bahwa semakin tinggi perbedaan temperatur yang diberikan pada modul termoelektrik *thin film* maka semakin meningkat juga hasil koefisien *Seebeck*. Hal ini membuktikan bahwa hubungan perbedaan temperatur dengan koefisien *Seebeck* sebanding. Grafik pada Gambar (4.6) menggambarkan pada saat perbedaan temperatur kurang dari 275K mengalami peningkatan yang tajam dan cepat. Maka didapat bahwa penggunaan substrat *polyimide* sangat baik, jika digunakan pada perbedaan temperatur sangat rendah. Pada saat peningkatan perbedaan temperatur di atas 275K juga mengalami peningkatan koefisien *Seebeck* tetapi tidak secepat ketika kurang dari 275K. Gambar (4.5) menunjukkan grafik hubungan koefisien *Seebeck* dengan perbedaan temperatur pada substrat alumina. Grafik ini menunjukkan hubungan linearitas yang baik. Sehingga dapat dikatakan bahwa peningkatan koefisien *Seebeck* pada substrat alumina stabil pada setiap peningkatan perbedaan temperatur. Pada Gambar (4.7) dan (4.8) merupakan grafik perbandingan koefisien *Seebeck* terhadap tegangan. Grafik yang terbentuk pada kedua gambar menunjukkan bahwa semakin besar hasil tegangan *output* maka semakin besar pula efek *seebeck* yang bekerja. Bentuk grafik yang dihasilkan oleh kedua hubungan mendekati bentuk yang linearitas. Sehingga diperoleh bahwa hubungan koefisien *Seebeck* dengan tegangan berbanding lurus.

4.4 Hasil Perhitungan Daya Maksimum

Setelah diperoleh data tegangan yang dihasilkan pada setiap modul termoelektrik, maka dihitung daya maksimumnya.

Perhitungan daya maksimum menggunakan Persamaan (3.1). Persamaan tersebut merupakan Persamaan untuk menghitung daya maksimum pada open sirkuit. Di mana dalam pengambilan data tidak diberikan resistansi tambahan. Berikut contoh perhitungan daya maksimum modul termoelektrik *thin film* substrat alumina saat perbedaan temperatur 50°C

Diketahui :

$$V_{DC} = 5mV$$

$$R = 38.2k\Omega$$

Ditanya: P_{\max}

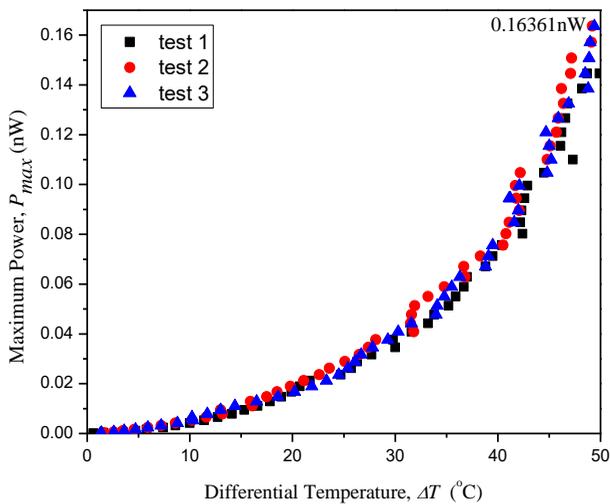
Jawab:

$$P_{\max} = \frac{V^2}{4R_{in}}$$

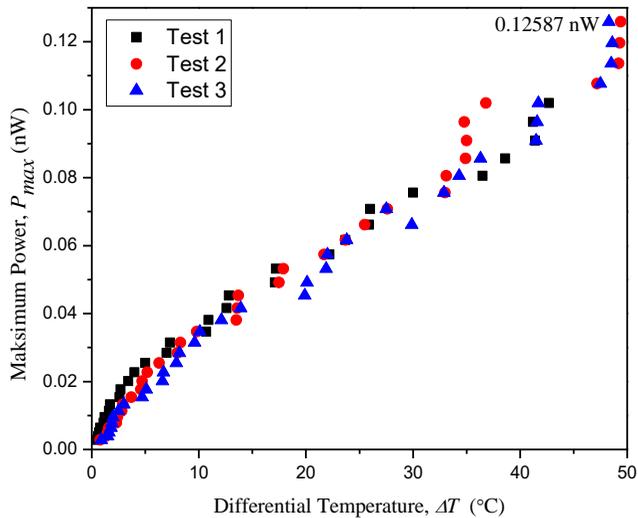
$$P_{\max} = \frac{5mV}{38.2k\Omega}$$

$$P_{\max} = 0.16nW$$

Untuk semua data dilakukan perhitungan seperti pada contoh diatas. Sehingga hasil perhitungan daya maksimum untuk data yang lain dapat dihasilkan grafik seperti pada Gambar (4.7) dan Gambar (4.8).



Gambar 4. 9 Grafik Hasil Perhitungan Daya Maksimum pada Substrat Alumina



Gambar 4. 10 Grafik Hasil Perhitungan Daya Maksimum pada Substrat Polyimide

Perhitungan daya maksimum pada modul termoelektrik berbeda dengan perangkat elektronik yang lain. Pada modul termoelektrik perhitungan daya maksimum bergantung pada sirkuit pengukuran yang dilakukan. Seperti pada penelitian kali ini menggunakan open sirkuit yaitu modul termoelektrik tidak diberi resistansi tambahan. Sehingga yang dihitung hanya resistansi (R_{in}) pada modul. Pada penelitian ini resistansi yang digunakan merupakan resistansi total hasil pengukuran pada setiap modul.

Hasil grafik pada Gambar (4.9) dan Gambar (4.10) dapat diketahui bahwa hubungan daya maksimum dengan perbedaan temperatur sebanding. Di mana semakin besar perbedaan temperatur yang diberikan maka semakin besar juga daya maksimum yang dihasilkan. Gambar (4.9) menggambarkan grafik hubungan daya maksimum dengan perbedaan temperatur pada substrat alumina. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada saat perbedaan temperatur dibawah 10°C hasil daya maksimumnya tidak mengalami peningkatan. Pada saat perbedaan temperatur diatas 10°C , daya maksimum mulai menunjukkan peningkatan. Gambar (4.10) menggambarkan grafik hubungan daya maksimum dengan perbedaan temperatur pada substrat *polyimide*. Pada saat perbedaan temperatur kurang dari 10°C diperoleh peningkatan hasil daya maksimum yaitu 0.04nW . Dibandingkan dengan substrat alumina pada perbedaan temperatur 10°C , substrat *polyimide* lebih baik untuk menghasilkan daya maksimum.

Hasil daya maksimum yang diperoleh dari kedua modul termoelektrik *thin film* sangatlah kecil. Pada modul termoelektrik *thin film* dengan substrat alumina menghasilkan daya 0.164nW pada perbedaan temperatur 49.4°C . Pada modul termoelektrik *thin film* dengan substrat *polyimide* menghasilkan daya maksimum

0.126nW pada perbedaan temperatur 49.2°C. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Ken Takayama, 2017) tentang fabrikasi *thin film*, hasil daya maksimum ini sangatlah kecil. Hal ini disebabkan pada penelitian yang dilakukan Ken Takayama dilakukan fabrikasi dengan dua tipe semikonduktor yaitu tipe p dan tipe n. Sementara itu, pada penelitian ini dilakukan dengan satu tipe semikonduktor yaitu tipe p. Dan tebal *thin film* yang dihasilkan sangatlah tipis. Dan juga material yang digunakan berbeda. Sehingga didapat bahwa dengan material semikonduktor tipe-p dapat menghasilkan modul termoelektrik *thin film* yang dapat difungsikan sebagai generator.

4.5 Presisi

Dilakukan uji presisi untuk mengetahui keseksamaan dan ketaktentuan dari hasil pengukuran. Tabel 4.2 menunjukkan contoh perhitungan presisi perubahan temperatur pada saat tegangan 0.1mV.

Tabel 4. 2 Perhitungan presisi pada modul termoelektrik *thin film* substrat alumina pada saat V=0.1mV

T (°C)	\bar{T} (°C)	$T - \bar{T}$ (°C)	$(T - \bar{T})^2$	$\sum (T - \bar{T})^2$
0.6	1.133333	-0.53333	0.284444	0.446667
1.5		0.366667	0.134444	
1.3		0.166667	0.027778	

Kemudian dilakukan perhitungan presisi dan ketaktentuan dari pengulangan data tersebut.

a. Ralat Mutlak

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum (T - \bar{T})^2}{n \times (n - 1)}} = \sqrt{\frac{0.45}{3 \times (3 - 1)}} = 0.272845$$

b. Ralat Nisbi

$$I = \frac{\Delta}{T} \times 100\% = \frac{0.272845}{1.13} \times 100\% = 0.240746\%$$

c. Keseksamaan

$$K = 100\% - I = 100\% - 0.240746\% = 99.76\%$$

Untuk seluruh data presisi dapat dilihat pada Gambar (4.3) dan (4.4). Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai presisi setiap pengukuran menunjukkan tingkat presisi yang baik yaitu mendekati 100%. Pada grafik menunjukkan bahwa setiap pengulangan yang dilakukan menunjukkan nilai yang hampir tepat sama. Semakin terkumpulnya hasil pengulangan pengukuran pada satu titik maka menunjukkan bahwa kepresisian semakin baik.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dengan tahap fabrikasi, pengukuran dan perhitungan terhadap modul termoelektrik *thin film* tipe p maka dapat disimpulkan:

1. Telah dibuat modul termoelektrik *thin film* dari material semikonduktor tipe-P AgSbTe melalui fabrikasi menggunakan *DC Magnetron Sputtering*.
2. Tegangan *output* (V_{out}) yang dihasilkan modul termoelektrik *thin film* semikonduktor tipe p material AgSbTe dengan substrat alumina dan *polyimide* masing-masing adalah (4.96 ± 0.15) mV dan (3.9 ± 0.29) mV.
3. Nilai koefisien *Seebeck* modul termoelektrik *thin film* tipe p material AgSbTe dengan substrat alumina dan *polyimide* masing-masing adalah (15.38 ± 0.45) μ V/K dan (12.07 ± 0.89) μ V/K.
4. Daya maksimum yang dihasilkan dari modul termoelektrik *thin film* tipe p AgSbTe pada substrat alumina dan *polyimide* masing-masing adalah (0.16 ± 0.009) nW dan (0.1 ± 0.015) nW.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Sebelum dan sesudah proses *annealing* sebaiknya dilakukan pengukuran resistansi modul termoelektrik *thin film*.
2. Dilakukan penelitian lanjutan untuk fabrikasi *thin film* termoelektrik tipe-n untuk membandingkan hasilnya.
3. Perlu dilakukan penelitian berbagai desain untuk *thin film* dengan satu tipe semikonduktor.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Avner, Sidney H. 1987. *Introduction to Physical Metallurgy*. McGraw-Hill Book Company.
- Bohlmarm, Johan. 2005. *Fundamental of High Power Impulse Magnetron Sputtering*. Sweden: Linkoping Studies in Science and Technology Dissertation No. 1014.
- Callister, W.D Jr. 2001. *Fundamental of Material Science and Engineering*. New York: John Wiley & Son.
- Chen, Francis F. 1984. *Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion Second Edition*. New York and London: Plenium Press.
- Daryanto. 2010. "Proses Pengolahan Besi dan Baja (Ilmu Metalurgi)". Bandung: Satu Nusa
- Davis, Karen. 2010. *Material Review: Alumina (Al₂O₃)*. Belgium: School of Doctoral Studies (European Union) Jurnal.
- Dongfang Sun, dkk. 2017. *The Real-Time Study of Solar Thermoelectric Generator*. China
- Este, G.o, Westwood, W.D. 1998. *AC and RF Reactive Sputtering*. Handbook of *Thin film* Process Technology, 98(1), p. A5. 2, 1-9.
- Gaupil, Christophe, Henni Ouerdane, Knud Zabrocki, etc. 2016. *Thermodynamics and Thermoelectricity*. Wiley-VCH Verlag Gmb & Co.
- Giancoli, D. C.2001. "Fisika Edisi Kelima Jilid 1". Jakarta: Erlangga.
- Goldsmid, H. Julian. 2010. *Introduction to Thermoelectricity*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Hidayat, Iip Syarif, Dedi, Dadin M, Dini Z.F, Dicky A. 2015. "Studi Pendahuluan Penggunaan *Polyimide* untuk Aplikasi *Optical Wave Guide*". ResearchGate: Conference Paper.
- Irianto, Eko Agus. 2014. "Rancang Bangun *Resistivity Meter Digital* dengan Metode *Four Point Probe* untuk

- Menentukan Hambatan Jenis Tanah”. Surabaya; Universitas Negeri Surabaya.
- Ken Takayama, Masayuki Takashiri. 2017. *Multi-layered-stack Thermoelectric Generators using p-type Sb_2Te_3 and n-type Bi_2Te_3 Thin film by Radio-Frequency Magnetron Sputtering*. Elsevier Ltd. All rights Reserved: Vacuum 144 (2017) 164-171.
- Kholiq, Imam. 2015. “Pemanfaatan Energi Alternatif sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Substitusi BBM”. Universitas Wijaya Putra Surabaya.
- Kiswanta, etc. 2011. “Uji Fungsi Untai Uji Reaktor Temperatur Tinggi”. Yogyakarta: Prosiding Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir.
- Medina, Intan Aprilia. 2015. “Pengaruh Efek *Seebeck* pada Pembangkit Listrik dengan Termoelektrik”. Bali: Universitas Udayana.
- Nurdin, M.A, etc. 2013. “Modul Termoelektrik”. Bandung: Program Studi Fisika ITB
- Omar, M.A. 1993. *Elementary Solid State Physics: Principles and Applications*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Putra, Nandy, Raldi Artono Koestoer, M. Adhitya, Ardian Roekettino, dan Bayu Trianto. 2009.”Potensi Pembangkit Daya Termoelektrik untuk Kendaraan Hibrid”. Universitas Indonesia.
- Sajid, Muhammad, Ibrahim Hassan, Aziz Rahman. 2017. *An Overview of Cooling of Termoelektrik Devices*. ScienceDirect: Renewable and Sustainable Energi Reviews.
- Sarkar, Anjana. 2005. Synthesis and Characterization of Polyamides, Polyimides, and Polysters Containing Flexibilizing Group. University of Pune for The Degree of Doctor of Philosophy.
- Sellers, J. 1998. *Asymmetric Bipolar Pulsed DC: The Enabling Technology for Reactive PVD*. Surface and Coating Technology, 98(1), 1245-1250.

- Shaoju Jian, etc. 2018. Effect of Trace Diphenyl Phosphate on Mechanical and thermal permormance of *Polyimide Composite Films*. Elsevier Ltd: Composites Communications 7 (2018) 42-46.
- Seshan, Krishna. 2002. Hand Book of Deposition Technologies for Films and Coatings. USA: Noyes Publication
- Swann, S. 1988. *Magnetron Sputtering*. IOP Science: Physics of Technology.
- Supriyana. 2004. *Kimia untuk Universitas jilid II*. Jakarta: Erlangga
- Sutarya, Dede. 2008. Analisa Unjuk Kerja Thermoecouple WReZ5 pada Suhu Penyinteran 1500°C. ISSN 1979-2409.
- Waite, Matthew M, S. Ismat Shah, David A. Glocker. 2010. *Sputtering Sources*. Spring Bulletin: Society of Vacuum Coaters.
- Wijesoonyange, Waruna Dissanayaka. 2015. Oxide Based High Temperatur Thermoelectric Generators-Development of Integrated *Desain* Technique and Construction of a Thermoelectric Module. Denmark: Aalborg University.
- Young, James. F. 1954. *Materials and Processes* Second Edition. London and New York: Chapman & Hall, Ltd, John Wiley & Sons, Inc.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Percobaan

Tabel 1. Data hasil pengukuran tegangan *output* pada substrat alumina

No	Beda Tegangan, ΔT ($^{\circ}\text{C}$)			Vdc (mV)
	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	
1	0.6	1.5	1.3	0.1
2	1.6	1.6	1.4	0.2
3	3.5	2.6	2.6	0.3
4	4.7	3.5	3.6	0.4
5	5.8	4.6	4.7	0.5
6	7.4	5.9	5.9	0.6
7	8.6	7.2	7.2	0.7
8	10	8.6	8.8	0.8
9	11.4	10.2	10.3	0.9
10	12.7	11.6	10.2	1
11	14.1	13.2	11.7	1.1
12	15.3	13	13	1.2
13	16.6	16.1	14.4	1.3
14	17.8	15.9	16.5	1.4
15	18.9	17.5	18.6	1.5
16	19.9	18.5	20.2	1.6
17	20.7	19.8	21.9	1.7
18	21.7	21.1	23.3	1.8
19	24.7	22.6	24.5	1.9
20	25.7	23.6	25.4	2
21	26.3	25.1	26.1	2.1
22	27.7	26.5	26.7	2.2
23	30	27.4	27.8	2.3

24	29.8	28.1	29.3	2.4
25	31.6	31.8	30.3	2.5
26	33.2	31.5	31.6	2.6
27	33.8	31.6	34	2.7
28	35.2	31.8	34	2.8
29	35.9	33.2	34.8	2.9
30	36.7	34.8	35.5	3
31	37	36.8	36.3	3.1
32	38.8	36.7	38.8	3.2
33	39.5	38.3	39.1	3.3
34	40.4	40.5	39.5	3.4
35	42.4	40.8	41.1	3.5
36	42.2	41.1	41.6	3.6
37	42.2	42.1	42	3.7
38	42.6	41.8	41.1	3.8
39	42.9	41.7	42	3.9
40	44.5	42.2	44.8	4
41	47.3	44.8	45.2	4.1
42	46.1	45.1	45	4.2
43	46.2	45.7	44.7	4.3
44	46.6	45.9	45.9	4.4
45	46.8	46.4	46.9	4.5
46	48.2	46.2	48.8	4.6
47	48.7	47.1	48.5	4.7
48	49.9	47.2	48.9	4.8
49		49.1	48.9	4.9
50		49.2	49.4	5

Tabel 2. Data hasil pengukuran tegangan *output* pada substrat *polyimide*

No	Beda Tegangan, ΔT ($^{\circ}\text{C}$)			Vdc (mV)
	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	
1	0	0.8	0.7	0.1
2	0	0.8	0.7	0.2
3	0	0.8	0.8	0.3
4	0	0.8	0.8	0.4
5	0	0.8	0.9	0.5
6	0.5	0.8	0.9	0.6
7	0.6	1.3	1.5	0.7
8	0.6	1.5	1.5	0.8
9	0.8	1.5	1.8	0.9
10	1.1	2.3	1.8	1
11	1.1	2.3	1.8	1.1
12	1.6	2.8	2.5	1.2
13	1.6	2.8	3	1.3
14	2.6	3.7	4.7	1.4
15	2.6	4.6	5.1	1.5
16	3.4	4.6	6.6	1.6
17	4	5.2	6.6	1.7
18	5	6.3	7.9	1.8
19	7	8	8.2	1.9
20	7.3	8.3	9.6	2
21	10.7	9.8	10.1	2.1
22	10.9	13.5	12.1	2.2
23	12.6	13.5	13.9	2.3
24	12.8	13.5	19.9	2.4
25	17.1	17.5	20.1	2.5
26	17.1	17.9	21.9	2.6

27	22.2	21.7	22	2.7
28	23.7	23.7	23.8	2.8
29	25.9	25.5	29.9	2.9
30	25.9	27.6	27.5	3
31	30	33	32.9	3.1
32	36.5	33	34.3	3.2
33	38.6	34.9	36.3	3.3
34	41.4	34.9	41.5	3.4
35	41.2	34.8	41.5	3.5
36	42.7	36.8	41.5	3.6
37		47.2	47.5	3.7
38		49.2	48.5	3.8
39		49.2	48.5	3.9
40		49.2	48.3	4

Lampiran 2 Data Hasil Perhitungan

Tabel 3. Data hasil perhitungan koefisien *Seebeck* pada substrat alumina

No	Effect <i>Seebeck</i> ($\mu\text{V/K}$)			Vdc (μV)
	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	
1	0.37	0.36	0.36	100
2	0.73	0.73	0.73	200
3	1.08	1.09	1.09	300
4	1.44	1.45	1.45	400
5	1.79	1.80	1.80	500
6	2.14	2.15	2.15	600
7	2.49	2.50	2.50	700
8	2.83	2.84	2.84	800
9	3.16	3.18	3.18	900
10	3.50	3.51	3.53	1000

11	3.83	3.84	3.86	1100
12	4.16	4.20	4.20	1200
13	4.49	4.50	4.52	1300
14	4.81	4.85	4.84	1400
15	5.14	5.16	5.14	1500
16	5.46	5.49	5.46	1600
17	5.79	5.81	5.76	1700
18	6.11	6.12	6.07	1800
19	6.38	6.43	6.39	1900
20	6.70	6.74	6.70	2000
21	7.02	7.04	7.02	2100
22	7.32	7.35	7.34	2200
23	7.59	7.66	7.65	2300
24	7.93	7.97	7.94	2400
25	8.21	8.20	8.24	2500
26	8.49	8.54	8.54	2600
27	8.80	8.86	8.79	2700
28	9.09	9.19	9.12	2800
29	9.39	9.47	9.42	2900
30	9.69	9.75	9.72	3000
31	10.00	10.01	10.02	3100
32	10.26	10.33	10.26	3200
33	10.56	10.60	10.57	3300
34	10.85	10.85	10.88	3400
35	11.10	11.15	11.14	3500
36	11.42	11.46	11.44	3600
37	11.74	11.74	11.75	3700
38	12.04	12.07	12.10	3800
39	12.35	12.39	12.38	3900

40	12.60	12.69	12.59	4000
41	12.80	12.90	12.88	4100
42	13.16	13.20	13.21	4200
43	13.47	13.49	13.53	4300
44	13.77	13.80	13.80	4400
45	14.07	14.09	14.07	4500
46	14.32	14.41	14.29	4600
47	14.61	14.68	14.62	4700
48	14.56	14.99	14.91	4800
49		15.21	15.22	4900
50		15.52	15.51	5000

Tabel 4. Data hasil perhitungan koefisien *Seebeck* pada substrat *polyimide*

No	Koefisien <i>Seebeck</i> ($\mu\text{V/K}$)			Vdc(μV)
	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	
1	0.37	0.37	0.37	100
2	0.73	0.73	0.73	200
3	1.10	1.10	1.10	300
4	1.47	1.46	1.46	400
5	1.83	1.83	1.83	500
6	2.19	2.19	2.19	600
7	2.56	2.55	2.55	700
8	2.92	2.91	2.91	800
9	3.29	3.28	3.28	900
10	3.65	3.63	3.64	1000
11	4.01	4.00	4.00	1100
12	4.37	4.35	4.36	1200
13	4.73	4.71	4.71	1300
14	5.08	5.06	5.04	1400

15	5.44	5.40	5.39	1500
16	5.79	5.76	5.72	1600
17	6.14	6.11	6.08	1700
18	6.47	6.44	6.41	1800
19	6.79	6.76	6.76	1900
20	7.14	7.11	7.08	2000
21	7.40	7.43	7.42	2100
22	7.75	7.68	7.72	2200
23	8.05	8.03	8.02	2300
24	8.40	8.38	8.19	2400
25	8.62	8.61	8.53	2500
26	8.96	8.94	8.82	2600
27	9.15	9.16	9.15	2700
28	9.44	9.44	9.43	2800
29	9.70	9.72	9.57	2900
30	10.04	9.98	9.98	3000
31	10.23	10.13	10.13	3100
32	10.34	10.46	10.41	3200
33	10.59	10.72	10.67	3300
34	10.81	11.04	10.81	3400
35	11.14	11.37	11.13	3500
36	11.40	11.62	11.45	3600
37		11.56	11.54446	3700
38		11.79	11.8196	3800
39		12.10	12.13064	3900
40		12.41	12.44942	4000

Tabel 5. Data hasil perhitungan daya maksimum pada substrat alumina

No	Daya Maksimum (nW)			Vdc (mV)
	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	
1	6.54E-05	6.54E-05	6.54E-05	0.1
2	0.000262	0.000262	0.000262	0.2
3	0.000589	0.000589	0.000589	0.3
4	0.001047	0.001047	0.001047	0.4
5	0.001636	0.001636	0.001636	0.5
6	0.002356	0.002356	0.002356	0.6
7	0.003207	0.003207	0.003207	0.7
8	0.004188	0.004188	0.004188	0.8
9	0.005301	0.005301	0.005301	0.9
10	0.006545	0.006545	0.006545	1
11	0.007919	0.007919	0.007919	1.1
12	0.009424	0.009424	0.009424	1.2
13	0.01106	0.01106	0.01106	1.3
14	0.012827	0.012827	0.012827	1.4
15	0.014725	0.014725	0.014725	1.5
16	0.016754	0.016754	0.016754	1.6
17	0.018914	0.018914	0.018914	1.7
18	0.021204	0.021204	0.021204	1.8
19	0.023626	0.023626	0.023626	1.9
20	0.026178	0.026178	0.026178	2
21	0.028861	0.028861	0.028861	2.1
22	0.031675	0.031675	0.031675	2.2
23	0.03462	0.03462	0.03462	2.3
24	0.037696	0.037696	0.037696	2.4
25	0.040903	0.040903	0.040903	2.5
26	0.044241	0.044241	0.044241	2.6

27	0.047709	0.047709	0.047709	2.7
28	0.051309	0.051309	0.051309	2.8
29	0.055039	0.055039	0.055039	2.9
30	0.058901	0.058901	0.058901	3
31	0.062893	0.062893	0.062893	3.1
32	0.067016	0.067016	0.067016	3.2
33	0.07127	0.07127	0.07127	3.3
34	0.075654	0.075654	0.075654	3.4
35	0.08017	0.08017	0.08017	3.5
36	0.084817	0.084817	0.084817	3.6
37	0.089594	0.089594	0.089594	3.7
38	0.094503	0.094503	0.094503	3.8
39	0.099542	0.099542	0.099542	3.9
40	0.104712	0.104712	0.104712	4
41	0.110013	0.110013	0.110013	4.1
42	0.115445	0.115445	0.115445	4.2
43	0.121008	0.121008	0.121008	4.3
44	0.126702	0.126702	0.126702	4.4
45	0.132526	0.132526	0.132526	4.5
46	0.138482	0.138482	0.138482	4.6
47	0.144568	0.144568	0.144568	4.7
48	0.144568	0.150785	0.150785	4.8
49		0.157134	0.157134	4.9
50		0.163613	0.163613	5

Tabel 6. Data hasil perhitungan daya maksimum pada substrat *polyimide*

No	Daya Maksimum (nW)			Vdc (mV)
	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	
1	7.87E-05	7.87E-05	7.87E-05	0.1

2	0.000315	0.000315	0.000315	0.2
3	0.000708	0.000708	0.000708	0.3
4	0.001259	0.001259	0.001259	0.4
5	0.001967	0.001967	0.001967	0.5
6	0.002832	0.002832	0.002832	0.6
7	0.003855	0.003855	0.003855	0.7
8	0.005035	0.005035	0.005035	0.8
9	0.006372	0.006372	0.006372	0.9
10	0.007867	0.007867	0.007867	1
11	0.009519	0.009519	0.009519	1.1
12	0.011328	0.011328	0.011328	1.2
13	0.013295	0.013295	0.013295	1.3
14	0.015419	0.015419	0.015419	1.4
15	0.0177	0.0177	0.0177	1.5
16	0.020138	0.020138	0.020138	1.6
17	0.022734	0.022734	0.022734	1.7
18	0.025488	0.025488	0.025488	1.8
19	0.028398	0.028398	0.028398	1.9
20	0.031466	0.031466	0.031466	2
21	0.034692	0.034692	0.034692	2.1
22	0.038074	0.038074	0.038074	2.2
23	0.041614	0.041614	0.041614	2.3
24	0.045312	0.045312	0.045312	2.4
25	0.049166	0.049166	0.049166	2.5
26	0.053178	0.053178	0.053178	2.6
27	0.057347	0.057347	0.057347	2.7
28	0.061674	0.061674	0.061674	2.8
29	0.066158	0.066158	0.066158	2.9
30	0.070799	0.070799	0.070799	3

31	0.075598	0.075598	0.075598	3.1
32	0.080554	0.080554	0.080554	3.2
33	0.085667	0.085667	0.085667	3.3
34	0.090938	0.090938	0.090938	3.4
35	0.096366	0.096366	0.096366	3.5
36	0.101951	0.101951	0.101951	3.6
37		0.107694	0.107694	3.7
38		0.113593	0.113593	3.8
39		0.119651	0.119651	3.9
40		0.125865	0.125865	4

Tabel 7. Data hasil perhitungan presisi pada substrat alumina

No	Vdc (mV)	Presisi		
		Ralat Nisbi	Ralat Mutlak	Keseksamaan (%)
1	0.1	0.273	0.241	99.759
2	0.2	0.067	0.043	99.957
3	0.3	0.300	0.103	99.897
4	0.4	0.384	0.098	99.902
5	0.5	0.384	0.076	99.924
6	0.6	0.500	0.078	99.922
7	0.7	0.467	0.061	99.939
8	0.8	0.437	0.048	99.952
9	0.9	0.384	0.036	99.964
10	1.0	0.723	0.063	99.937
11	1.1	0.700	0.054	99.946
12	1.2	0.767	0.056	99.944
13	1.3	0.666	0.042	99.958
14	1.4	0.561	0.034	99.966
15	1.5	0.426	0.023	99.977

16	1.6	0.524	0.027	99.973
17	1.7	0.608	0.029	99.971
18	1.8	0.657	0.030	99.970
19	1.9	0.669	0.028	99.972
20	2.0	0.430	0.017	99.983
21	2.1	0.138	0.005	99.995
22	2.2	0.371	0.014	99.986
23	2.3	0.808	0.028	99.972
24	2.4	0.504	0.017	99.983
25	2.5	0.470	0.015	99.985
26	2.6	0.551	0.017	99.983
27	2.7	0.769	0.023	99.977
28	2.8	0.996	0.030	99.970
29	2.9	0.784	0.023	99.977
30	3.0	0.308	0.009	99.991
31	3.1	0.043	0.001	99.999
32	3.2	0.700	0.018	99.982
33	3.3	0.353	0.009	99.991
34	3.4	0.318	0.008	99.992
35	3.5	0.491	0.012	99.988
36	3.6	0.318	0.008	99.992
37	3.7	0.058	0.001	99.999
38	3.8	0.433	0.010	99.990
39	3.9	0.361	0.009	99.991
40	4.0	0.821	0.019	99.981
41	4.1	0.775	0.017	99.983
42	4.2	0.351	0.008	99.992
43	4.3	0.441	0.010	99.990
44	4.4	0.233	0.005	99.995

45	4.5	0.153	0.003	99.997
46	4.6	0.786	0.016	99.984
47	4.7	0.503	0.010	99.990
48	4.8	0.788	0.016	99.984
49	4.9	0.058	0.001	99.999
50	5.0	0.058	0.001	99.999

Tabel 8. Data hasil perhitungan presisi pada substrat *polyimide*

No	Vdc (mV)	Presisi		
		Ralat Nisbi	Ralat Mutlak	Keseksamaan (%)
1	0.1	0.252	0.503	99.497
2	0.2	0.252	0.503	99.497
3	0.3	0.267	0.500	99.500
4	0.4	0.267	0.500	99.500
5	0.5	0.285	0.503	99.497
6	0.6	0.120	0.164	99.836
7	0.7	0.273	0.241	99.759
8	0.8	0.300	0.250	99.750
9	0.9	0.296	0.217	99.783
10	1	0.348	0.201	99.799
11	1.1	0.348	0.201	99.799
12	1.2	0.361	0.157	99.843
13	1.3	0.437	0.177	99.823
14	1.4	0.606	0.165	99.835
15	1.5	0.764	0.186	99.814
16	1.6	0.933	0.192	99.808
17	1.7	0.751	0.143	99.857
18	1.8	0.839	0.131	99.869
19	1.9	0.371	0.048	99.952

20	2	0.666	0.079	99.921
21	2.1	0.2645751	0.0259387	99.974061
22	2.2	0.7512952	0.0617503	99.93825
23	2.3	0.3844188	0.0288314	99.971169
24	2.4	2.2590558	0.1466919	99.853308
25	2.5	0.9404491	0.0515786	99.948421
26	2.6	1.4847372	0.0782814	99.921719
27	2.7	0.1452966	0.0066144	99.993386
28	2.8	0.0333333	0.0014045	99.998596
29	2.9	1.4047538	0.0518359	99.948164
30	3	0.5507571	0.0203984	99.979602
31	3.1	0.984	0.031	99.969
32	3.2	1.021	0.030	99.970
33	3.3	1.079	0.029	99.971
34	3.4	2.184	0.056	99.944
35	3.5	2.185	0.056	99.944
36	3.6	1.800	0.045	99.955
37	3.7	0.087	0.002	99.998
38	3.8	0.202	0.004	99.996
39	3.9	0.202	0.004	99.996
40	4	0.260	0.005	99.995

Tabel 9. Deviasi Tegangan pada Termoelektrik *Thin Film* Substrat Alumina dengan Perbedaan Temperatur 50°C

No	Hasil Pengukuran	$(X_n - \bar{X})$	$ (X_n - \bar{X}) $	$ (X_n - \bar{X}) ^2$
1	4.7	-0.26667	0.266667	0.071111
2	5.2	0.233333	0.233333	0.054444
3	5	0.033333	0.033333	0.001111
Rata-rata	4.96		0.177778	

a) Deviasi Rata-rata : $\left| \frac{\sum (X_n - \bar{X})}{n} \right| = 0.178$

b) Deviasi Standart $S = \sqrt{\frac{\sum (X_n - \bar{X})^2}{(n-1)}} = 0.25$

c) Hasil Akhir: $(\bar{X} \pm S_{\bar{X}})$
 $S_{\bar{X}} = S / \sqrt{3} = 0.145$
 $(\bar{X} \pm S_{\bar{X}}) = (4.96 \pm 0.145) \text{mV}$

Tabel 10. Deviasi Koefisien *Seebeck* pada Termoelektrik *Thin Film* Substrat Alumina dengan Perbedaan Temperatur 50°C

No	Hasil Perhitungan	$(X_n - \bar{X})$	$ (X_n - \bar{X}) $	$ (X_n - \bar{X}) ^2$
1	14.5	-0.83	0.825	0.682
2	16.1	0.72	0.722	0.522
3	15.5	0.1031	0.103	0.011
Rata-rata	15.38		0.55	

a) Deviasi Rata-rata : $\left| \frac{\sum (X_n - \bar{X})}{n} \right| = 0.55$

b) Deviasi Standart $S = \sqrt{\frac{\sum (X_n - \bar{X})^2}{(n-1)}} = 0.78$

c) Hasil Akhir: $(\bar{X} \pm S_{\bar{X}})$
 $S_{\bar{X}} = S / \sqrt{3} = 0.45$
 $(\bar{X} \pm S_{\bar{X}}) = (15.38 \pm 0.45) \mu\text{V/K}$

Tabel 11. Deviasi Daya Maksimum pada Termoelektrik *Thin Film* Substrat Alumina dengan Perbedaan Temperatur 50°C

No	Hasil Perhitungan	$(X_n - \bar{X})$	$ (X_n - \bar{X}) $	$ (X_n - \bar{X}) ^2$
1	0.144568	-0.01715	0.017147	0.000294
2	0.176963	0.015249	0.015249	0.000233
3	0.163613	0.001898	0.001898	3.6E-06
Rata-rata	0.161715		0.011431	

$$\text{a) Deviasi Rata-rata : } \left| \frac{\sum (X_n - \bar{X})}{n} \right| = 0.011$$

$$\text{b) Deviasi Standart } S = \sqrt{\frac{\sum (X_n - \bar{X})^2}{(n-1)}} = 0.016$$

$$\text{c) Hasil Akhir: } (\bar{X} \pm S_{\bar{X}})$$

$$S_{\bar{X}} = S / \sqrt{3} = 0.0094$$

$$(\bar{X} \pm S_{\bar{X}}) = (0.16 \pm 0.0094) \text{ nW}$$

Tabel 12. Deviasi Tegangan pada Termoelektrik *Thin Film* Substrat *Polyimide* dengan Perbedaan Temperatur 50°C

No	Hasil Pengukuran	$(X_n - \bar{X})$	$ (X_n - \bar{X}) $	$ (X_n - \bar{X}) ^2$
1	3.4	-0.5	0.5	0.25
2	4.4	0.5	0.5	0.25
3	3.9	0	0	0
Rata-rata	3.9		0.33	

$$\text{d) Deviasi Rata-rata : } \left| \frac{\sum (X_n - \bar{X})}{n} \right| = 0.33$$

$$e) \text{ Deviasi Standart } S = \sqrt{\frac{\sum (X_n - \bar{X})^2}{(n-1)}} = 0.5$$

$$f) \text{ Hasil Akhir: } (\bar{X} \pm S_{\bar{X}})$$

$$S_{\bar{X}} = S / \sqrt{3} = 0.289$$

$$(\bar{X} \pm S_{\bar{X}}) = (3.9 \pm 0.29) \text{ mV.}$$

Tabel 13. Deviasi Koefisien *Seebeck* pada Termoelektrik *Thin Film* Substrat *Polyimide* dengan Perbedaan Temperatur 50°C

No	Hasil Perhitungan	$(X_n - \bar{X})$	$ (X_n - \bar{X}) $	$ (X_n - \bar{X}) ^2$
1	10.526	-1.548	1.548	2.396
2	13.622	1.548	1.548	2.396
3	12.074	0.000	0.000	0.000
Rata-rata	12.074		1.032	

$$d) \text{ Deviasi Rata-rata: } \left| \frac{\sum (X_n - \bar{X})}{n} \right| = 1.032$$

$$e) \text{ Deviasi Standart } S = \sqrt{\frac{\sum (X_n - \bar{X})^2}{(n-1)}} = 1.55$$

$$f) \text{ Hasil Akhir: } (\bar{X} \pm S_{\bar{X}})$$

$$S_{\bar{X}} = S / \sqrt{3} = 0.894$$

$$(\bar{X} \pm S_{\bar{X}}) = (12.07 \pm 0.89) \mu\text{V/K.}$$

Tabel 14. Deviasi Daya Maksimum pada Termoelektrik *Thin Film* Substrat *Polyimide* dengan Perbedaan Temperatur 50°C

No	Hasil Perhitungan	$(X_n - \bar{X})$	$ (X_n - \bar{X}) $	$ (X_n - \bar{X}) ^2$
----	-------------------	-------------------	---------------------	-----------------------

1	0.0757	-0.0250	0.0250	0.0006
2	0.1267	0.0261	0.0261	0.0007
3	0.0995	-0.0011	0.0011	0.0000
Rata-rata	0.1006		0.0174	

d) Deviasi Rata-rata : $\left| \frac{\sum (X_n - \bar{X})}{n} \right| = 0.0174$

e) Deviasi Standart $S = \sqrt{\frac{\sum (X_n - \bar{X})^2}{(n-1)}} = 0.025$

f) Hasil Akhir: $(\bar{X} \pm S_{\bar{X}})$

$$S_{\bar{X}} = S / \sqrt{3} = 0.015$$

$$(\bar{X} \pm S_{\bar{X}}) = (0.1 \pm 0.015) \text{ nW.}$$

Lampiran 3 Dokumentasi Proses Fabrikasi



Gambar 1. Proses pencetakan desain pada masker *polyimide*



Gambar 2. Membersihkan substrat alumina dengan sabun



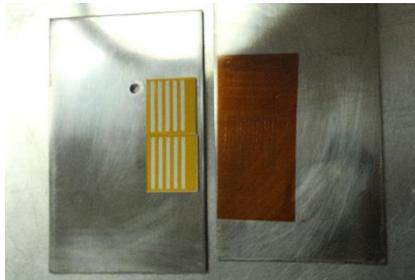
Gambar 3. Proses pembersihan substrat alumina dengan *ultrasonic cleaner*



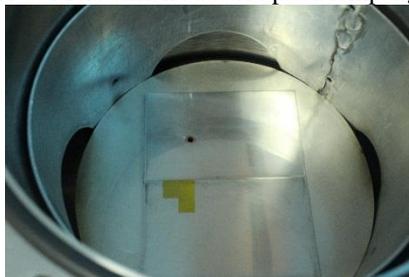
Gambar 4. Pembersihan sisa cairan *acetone* dengan *air compressor*



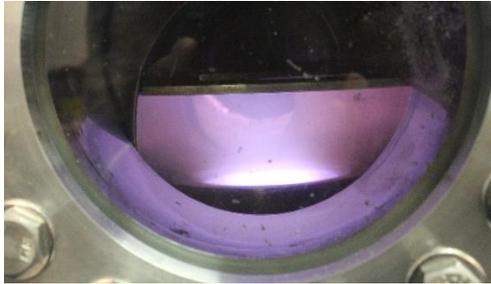
Gambar 5. Penempelan dan pelepasan bagian masker pada substrat yang akan di *sputtering*



Gambar 6. Meletakkan substrat pada lempeng anoda



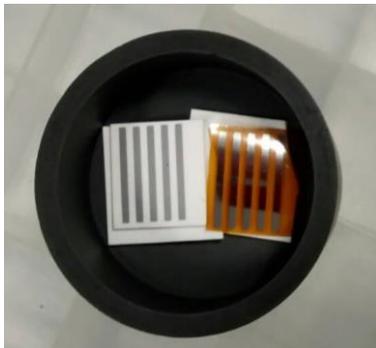
Gambar 7. Peletakkan lempeng anoda yang telah terdapat substrat pada *vacuum chamber*



Gambar 8. Proses *sputtering* material target AgSbTe



Gambar 9. Hasil setelah proses *sputtering* material AgSbTe



Gambar 10. Peletakan substrat pada batang besi untuk proses *annealing*



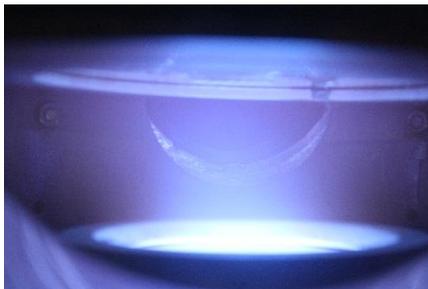
Gambar 11. Proses *Annealing*



Gambar 12. Menempelkan masker untuk bagian material silver



Gambar 13. Peletakkan substrat pada lempeng anoda untuk proses *sputtering* material silver



Gambar 14. Proses *sputtering* material silver (Ag)

Lampiran 4 Rangkaian Alat Pengukuran



Gambar 15. Proses pengukuran modul termoelektrik thin film tipe-p

Lampiran 5 Dokumentasi Kegiatan

Gambar 16. Bersama seluruh peneliti di Thermoelectric Research Center, Sakon Nakhon Rajabhat University



Gambar 17. Foto bersama Prof Tosawat Seetawan dan Anggota Thin Film Research Laboratory.



Gambar 18. Foto bersama Dr. Athorn Vora-ud selaku Kepala Thin Film Research Laboratory, Sakon Nakhon Rajabhat University.



Gambar 19. Foto bersama Watchara Chao-moo, M.Sc (kiri) dan Somporn Thaowankaew, M.Sc (kanan)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis yaitu Alfu Alfin Nadhifatul Ummah, dengan nama panggil Alfu. Penulis dilahirkan di bangkalan pada 10 Oktober 1995. Penulis merupakan anak dari Ahmad Zainullah dan Heny Lestari, anak pertama dari dua bersaudara. Riwayat pendidikan penulis yaitu TK Bustanul Atfal Aisyiah Socah (200-2002), SDN Socah 4 (2002-2008),

SMPN 1 Bangkalan (2008-2011), SMAN 1 Bangkalan (2011-2014). Tahun 2014, penulis Diterima di Departemen Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur SNMPTN. Penulis mengambil bidang minat Instrumentasi Elektronika. Selama perkuliahan, penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMASIKA) ITS sebagai staff BSO Physics Summit (2015-2016), staff ahli BSO Physics Summit (2016-2017). Diluar kampus penulis juga aktif di organisasi World Merit Indonesia Council Surabaya pada tahun 2017 sampai saat ini sebagai staff Event. Aktifitas lainnya yaitu sebagai Asisten Dosen Fisika Dasar 1 dan Asisten Laboratorium Fisika Dasar 2. Prestasi yang pernah diraih yaitu PKM terdani 2018. Motto hidup penulis yaitu " Selalu bermanfaat bagi masyarakat sekitar". Penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat dan dapat dikembangkan lebih lanjut. Kritik dan saran dapat dikirim ke alfualfin10@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”