

**RANCANG BANGUN SISTEM GENERATOR TERMoeLEKTRIK  
SEDERHANA SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *SEEBECK EFFECT***

**SKRIPSI**

Oleh:  
**ANSYORI**  
**NIM. 13640004**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2017**

**RANCANG BANGUN SISTEM GENERATOR TERMOELEKTRIK  
SEDERHANA SEBAGAI PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *SEEBECK EFFECT***

**SKRIPSI**

**Diajukan kepada:**

**Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:  
ANSYORI  
NIM. 13640004**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
2017**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

RANCANG BANGUN SISTEM GENERATOR TERMOELEKTRIK  
SEDERHANA SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *SEEBECK EFFECT*


SKRIPSI


Oleh:  
ANSYORI  
NIM. 13640004

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji  
Pada tanggal 19 September 2017

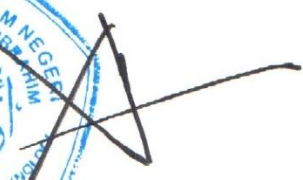

Pembimbing I

Pembimbing II

  
Farid Samsu Hananto, M.T  
NIP. 19740513 200312 1 001

  
Umaiatus Syarifah, M.A  
NIP. 19820925 200901 2 005

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika

  
  
S. Abdul Basid, M. Si  
NIP. 19650504199003 1 003

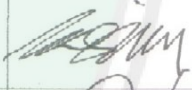
## HALAMAN PENGESAHAN

RANCANG BANGUN SISTEM GENERATOR TERMoeLEKTRIK  
SEDERHANA SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *SEEBECK EFFECT*

SKRIPSI


Oleh:  
ANSYORI  
NIM. 13640004

Telah disetujui dan disahkan  
Pada tanggal ..1.....November.....2017

Penguji Utama	<u>Irjan, M. Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Ketua Penguji	<u>Muthmainnah, M. Si</u> NIDT. 19860325 20160801 2 074	
Sekretaris Penguji	<u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Anggota Penguji	<u>Umayatus Syarifah, M.A</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika



  
Dr. Abdul Basid, M. Si  
NIP. 19650504199003 1 003

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ansyori

NIM : 13640004

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian: Rancang Bangun Sistem Generator Termoelektrik Sederhana  
Sebagai Pembangkit Listrik Dengan Menggunakan Metode  
*Seebeck Effect*

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsure-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur penjiplakan, maka saya bersedia untuk mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, .....  
Yang membuat pernyataan,



ANSYORI  
NIM. 13640004

## MOTTO

*Allah telah menciptakan manusia dengan ciptaan yang sama,  
Yang membuatnya berbeda adalah  
MEREKA MAU BERUSAHA atau TIDAK*

*Dzikir, Fikir, dan Amal Soleh*



## HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, penulis persembahkan kepada:

Ama dan Ina, **M. Tahir Hasan** dan **Siti Hawa**

Terima kasih atas segala cinta kasih serta sayang yang telah Ama dan Ina curahkan kepada anakmu ini, dukungan serta do'a yang selalu senantiasa mendampingi setiap langkah kaki dan setiap hela nafas dalam mencapai segala kesuksesan anakmu ini, yang selalu menjadi alasan kenapa diri ini tetap berdiri dan terus berjuang.

Abang ku, **Junaidin**

Terima kasih atas segala do'a dan dukungannya baik secara moril maupun secara moral. Engkau adalah sosok abang yang paling saya hormati. Segala jasmu, pengorbanan yang tanpa mengenal batas, kasih sayang yang tulus untuk adik-adikmu, serta hati yang kuat untuk tetap terus mengayomi kami, takkan pernah jiwa ini sedikpun terbesit untuk melupakannya.

Abang ku **Taufik** dan **Thiswan**, Kakak ku **Nurbaya**, dan Adik ku **Insan**  
Terima kasih atas Do'a dan dukungannya, serta kasih sayang yang selalu menyertai langkah ku

**Masfadilah.**

Terima kasih selalu memberi semangat dan senantiasa tulus menemani dalam mengerjakan dan menyelesaikan tugas akhir ini.

Sahabat/i ku sekaligus keluarga besar Fisika 2013, Sahabat/i Galileo 2013, Sahabat/i dan keluarga besar HMB UIN Malang, Sahabat/i GOLDEM (Isman Halis, M. Anas Mubarak, Nuha Yahya Muvid, Komarudin, M. Fitra Fiddiyansah, Chaidar Ahmad, Nuril Istiqomah, Lailatul Magfiroh, Dzawis S., Faza Nuzulun U. Neny Avinda)

Pak **Dr. M. Tirono M. Si** (Dosen Wali), Pak **Farid Samsu Hananto, M.T** (Dosen Pembimbing I), Ibu **Ummayatus Syarifah, M.A** (Dosen Pembimbing II), Pak **Irjan, M.Si** (Dosen Penguji I), Ibu **Mutmainnah M.Si** (Dosen Penguji II), Mas Rahmat, Mas Kusairi, dan Ibu Nurun Nayiroh (Laboran) serta Mbak Nia (admin Jurusan), dan segenap dosen-dosen fisika. Terima kasih atas bimbingan dan ilmu yang sangat bermanfaat yang senantiasa diberikan kepada saya.

Tutor terbaik, mas **M. Ulin Nuha** dan mas **Misbahul Munir**, serta **Aulya Rohmatul U.** dan **Veronica Surya A.**

Sahabat ELINS 2013, **Chaidar, Pendra, Veronica, Nindy, Nadiyah, Latifah, Cindy**, dan **Citra**. Terima kasih telah berbagi ilmu di ELINS.

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Wr. Wb*

*Alhamdulillahirobbil'alamiin*, puja dan puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. Yang telah melimpahkan rahmat, hidayah serta kasih sayang-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Generator Termoelektrik Sederhana Sebagai Pembangkit Listrik Dengan Menggunakan Metode *Seebeck Effect*” ini. Tidak lupa pula sholawat serta salam penulis panjatkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, yang telah menuntun manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang terang benderang, yang penuh dengan ilmu pengetahuan luar biasa saat ini.

Dengan ini penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya bantuan dari pihak-pihak yang terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan ini tidak lupa juga penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam kegiatan penelitian maupun dalam penyusunan penulisan skripsi ini.

Ucapan terima kasih yang sebesar-sebesarannya penulis ucapkan kepada:

1. Prof. Dr. H. Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang selalu memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Farid Samsu Hananto, M.T selaku dosen pembimbing skripsi ini yang memberikan banyak kesabaran, waktu dan ilmu dalam membimbing penulis agar skripsi ini tersusun dengan baik dan benar.
5. Umayyatus Syarifah, M.A selaku dosen pembimbing integrasi, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi Sains dan al-Quran serta Hadits.



6. Segenap Dosen, Laboran, dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan dan pengajaran.
7. Bapak dan ibu, kakak-kakak dan adikku serta keluarga yang selalu mendoakan serta memberi dukungan yang berharga.
8. Teman-teman fisika angkatan 2013, Sahabat/i cangkarok “Galileo”, teman-teman Elektronika Instrumentasi yang selalu memberikan dukungan.
9. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan motivasi dalam penulisan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis sangat menyadari masih ada banyak kekurangan dan kekeliruan dikarenakan keterbatasan kemampuan. Dengan kerendahan hati, segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat menambah khasanah pustaka dan bermanfaat bagi orang lain.

Malang, 22 Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN KEASLIAN TULISAN</b> .....	v
<b>MOTTO</b> .....	vi
<b>HALAMAN PERSEMABAHAN</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>ABSTRAK</b> .....	xvi
<b>ABSTRACT</b> .....	xvii
<b>المخلص</b> .....	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Manfaat Penelitian .....	6
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	
2.1 Cahaya .....	8
2.2 Generator Termoelektrik .....	13
2.2.1 Prinsip Kerja Termoelektrik .....	14
2.2.2 Sistem Konversi Energi Panas dengan Termoelektrik .....	16
2.3 Material Semikonduktor .....	20
2.3.1 Karakteristik Aluminium (Cu) .....	21
2.3.2 Karakteristik Seng (Zn) .....	23
2.3.3 Karakteristik Polivinil Clorida (PVC) .....	23
2.4 Efek Seebeck .....	24
2.5 Element Peltier .....	25
2.6 Lampu Halogen .....	28
2.7 Arduino .....	30
2.7.1 Hardware Arduino .....	30
2.7.2 Software Arduino (Arduino IDE) .....	31
2.8 Sensor Suhu (Temperatur) .....	31
2.8.1 Struktur Sensor LM35 .....	33
2.8.2 Karakteristik sensor suhu LM35 .....	33
2.9 LCD (Liquid Crystal Display) 1602 .....	34
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	36
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	36
3.3 Langkah Kerja Penelitian .....	37
3.3.1 Pembuatan Hardware .....	37
3.3.2 Pembuatan Software .....	37
3.3.3 Pengambilan Data .....	41

3.3.4 Pengolahan dan Analisis Data.....	42
<b>BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Hasil Penelitian.....	43
4.1.1 Pembuatan Alat Sensor Suhu.....	45
4.1.2 Pemograman Arduino.....	46
4.1.3 Pembuatan Sistem Generator Termoelektrik.....	47
4.1.4 Unjuk Kerja Alat.....	48
4.2 Pengambilan Data.....	50
4.2.1 Hasil Pengujian Sistem Generator Termoelektrik dengan Bahan Aluminium (Cu).....	51
4.2.2 Hasil Pengujian Sistem Generator Termoelektrik dengan Bahan Seng (Zn).....	54
4.2.3 Hasil Pengujian Sistem Generator Termoelektrik dengan Bahan Polivinil Clorida (PVC).....	57
4.2.4 Efesiensivitas Sistem Generator Termoelektrik.....	60
4.3 Pembahasan.....	61
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran.....	68
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rentang spektrum gelombang elektromagnetik .....	12
Gambar 2.2 Struktur pembangkit daya termoelektrik elemen peltier .....	15
Gambar 2.3 Proses perpindahan panas konduksi .....	17
Gambar 2.4 Proses perpindahan panas konveksi.....	19
Gambar 2.5 Elemen peltier .....	26
Gambar 2.6 Elemen peltier serang dua tipe semikonduktor .....	27
Gambar 2.7 Lampu halogen .....	29
Gambar 2.8 Arduino uno.....	31
Gambar 2.9 Sensor suhu LM35 .....	32
Gambar 2.10 Modul LCD 1602.....	34
Gambar 3.1 Diagram tahap dan alur penelitian.....	37
Gambar 3.2 Diagram alir pembuatan <i>hardware</i> sistem generator termoelektrik .....	37
Gambar 3.3 Starting arduino IDE.....	38
Gambar 3.4 Layar kerja pemrograman arduino.....	38
Gambar 3.5 Diagram pemrograman pembacaan suhu dengan menggunakan LCD.....	40
Gambar 4.1 Rancangan alat pembaca suhu .....	46
Gambar 4.2 Rancangan sistem generator termoelektrik .....	48
Gambar 4.3 Grafik hubungan perbedaan suhu dengan daya pada rancangan berbahan aluminium dengan peltier dirangkai seri pada jarak dengan lampu halogen sejauh 15 cm (a), dan 50 cm (b) .....	51
Gambar 4.4 Grafik hubungan perbedaan suhu dengan daya pada rancangan berbahan aluminium dengan peltier dirangkai paralel pada jarak dengan lampu halogen sejauh 15 cm (a), dan 50 cm (b) .....	52
Gambar 4.5 Grafik hubungan perbedaan suhu dengan daya pada rancangan berbahan aluminium dengan peltier tunggal pada jarak dengan lampu halogen sejauh 15 cm (a), dan 50 cm (b) .....	53
Gambar 4.6 Grafik hubungan perbedaan suhu dengan daya pada rancangan berbahan Seng dengan peltier seri pada jarak dengan lampu halogen sejauh 15 cm (a), dan 50 cm (b).....	54
Gambar 4.7 Grafik hubungan perbedaan suhu dengan daya pada rancangan berbahan Seng dengan peltier paralel pada jarak dengan lampu halogen sejauh 15 cm (a), dan 50 cm (b).....	55
Gambar 4.8 Grafik hubungan perbedaan suhu dengan daya pada rancangan berbahan Seng dengan peltier tunggal pada jarak dengan lampu halogen sejauh 15 cm (a), dan 50 cm (b).....	56
Gambar 4.9 Grafik hubungan perbedaan suhu dengan daya pada rancangan berbahan PVC dengan peltier seri pada jarak dengan lampu halogen sejauh 30 cm (a), dan 50 cm (b).....	57
Gambar 4.10 Grafik hubungan perbedaan suhu dengan daya pada rancangan berbahan PVC dengan peltier dirangkai paralel pada jarak dengan lampu halogen sejauh 30 cm (a), dan 50 cm (b) .....	58

Gambar 4.11 Grafik hubungan perbedaan suhu dengan daya pada rancangan  
berbahan PVC dengan peltier tunggal pada jarak dengan lampu  
halogen sejauh 30 cm (a), dan 50 cm (b).....59

Gambar 4.12 Grafik efisiensi maksimum dari rancangan sistem generator  
termoelektrik dari semua variasi perlakuan terhadap bahan.....60



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai konduktivitas termal berbagai zat.....	18
Tabel 2.2 Spesifikasi peltier TEC1-12706.....	27
Tabel 2.3 Spesifikasi kinerja dari peltier TEC1-12706 .....	27
Tabel 3.2 Data pengujian bahan alunium (rangkaian tunggal, seri dan paralel, r = 15 cm dan r = 50 cm, dan R = 120 ohm).....	41
Tabel 3.2 Data pengujian bahan Seng (rangkaian tunggal, seri dan paralel, r = 15 cm dan r = 50 cm, dan R = 120 ohm) .....	41
Tabel 3.3 Data pengujian bahan PVC (rangkaian tunggal, seri dan paralel, r = 30 cm dan r = 50 cm, dan R = 120 ohm) .....	42
Tabel 4.1 Data pengujian sistem pada rancangan berbahan Aluminium dengan peltier dirangkai seri setelah di rata-rata dari 3 pengulangan uji.....	51
Tabel 4.2 Data pengujian sistem pada rancangan berbahan aluminium dengan peltier dirangkai secara paralel setelah di rata-rata dari 3 pengulangan uji.....	52
Tabel 4.3 Data pengujian sistem pada rancangan berbahan aluminium dengan peltier tunggal setelah di rata-rata dari 3 kali pengulangan uji.....	53
Tabel 4.4 Data pengujian sistem pada rancangan berbahan seng dengan peltier dirangkai seri setelah di rata-rata dari 3 kali pengulangan uji. ....	54
Tabel 4.5 Data pengujian sistem pada rancangan berbahan seng dengan peltier dirangkai paralel setelah di rata-rata dari 3 kali pengulangan uji.....	55
Tabel 4.6 Data pengujian sistem pada rancangan berbahan seng dengan peltier tunggal setelah di rata-rata dari 3 kali pengulangan uji .....	56
Tabel 4.7 Data pengujian sistem pada rancangan berbahan PVC dengan peltier seri setelah di rata-rata dari 3 kali pengulangan uji. ....	57
Tabel 4.8 Data pengujian sistem pada rancangan berbahan PVC dengan peltier paralel setelah di rata-rata dari 3 kali pengulangan uji .....	58
Tabel 4.9 Data pengujian sistem pada rancangan berbahan PVC dengan peltier paralel setelah di rata-rata dari 3 kali pengulangan uji .....	59
Tabel 4.10. Efisiensi maksimum dari rancangan sistem generator termolektrik .....	60

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Penelitian

Lampiran 2 Data Hasil Penelitian Setelah Dirata-rata

Lampiran 3 Perhitungan Nilai Koefisien Seebeck dari Sistem

Lampiran 4 Foto Kegiatan Penelitian

Lampiran 5 Bukti Konsultasi Dosen Pembimbing



## ABSTRAK

Ansyori. 2017. **Rancang Bangun System Generator Termoelektrik Sederhana Sebagai Pembangkit Energi Listrik Dengan Menggunakan Metode Seebeck Effect**. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Farid Samsu Hananto, M.T (II) Umaiatus Syarifah, M.A

---

Kata kunci: Generator termoelektrik, Peltier, Efek Seebeck.

Generator termoelektrik adalah sebuah perangkat generator listrik yang mengkonversi energi panas menjadi energi listrik secara langsung. Berdasarkan metode efek seebeck yaitu “jika dua buah logam yang berbeda disambungkan salah satu ujungnya, kemudian diberikan suhu yang berbeda pada sambungan, maka akan terjadi perbedaan tegangan pada ujung yang satu dengan ujung yang lain”. Penelitian ini menggunakan peltier TEC1-12706. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh perbedaan suhu antara *hot plate* dengan *cooling plate* dari rancangan bahan *Polivinil Clorida* (PVC), bahan aluminium, dan bahan seng terhadap daya yang dihasilkan dari rancangan tersebut dengan variasi peltier yang dirangkai secara seri, paralel dan tunggal. Metode penelitian ini dilakukan secara eksperimental, yaitu untuk menguji system generator termoelektrik pada tiga variasi bahan dan variasi rangkaian peltier. Hasil penelitian menunjukkan bahwa cahaya lampu halogen dapat menjadi sumber energi listrik dengan kapasitas mikro yang cukup potensial. Duah buah peltier yang dirangkai secara seri menghasilkan  $V_{maks}$  sebesar 3,35 volt, dan daya listrik sebesar 0,199 watt ketika plat aluminium menyerap panas lampu halogen dengan perbedaan temperature antara sisi panas dan sisi dingin sebesar 12,67 C, pada rangkaian paralel sebesar 1,11 volt, pada peltier tunggal sebesar 1,45 volt. Sedangkan untuk rangkaian berbahan seng menghasilkan  $V_{maks}$  sebesar 2,04 volt pada rangkaian seri, 0,90 volt pada rangkaian paralel, dan 1,15 volt pada peltier tunggal. Pada PVC menghasilkan  $V_{maks}$  sebesar 0,45 volt pada rangkaian seri, 0,18 volt pada rangkaian paralel, dan 0,12 pada peltier tunggal. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa rancangan yang mampu menghasilkan tegangan dan daya listrik yang lebih besar adalah rancangan berbahan aluminium dengan peltier yang dirangkai secara seri



## ABSTRACT

Ansyori. 2017. **Design of a Simple Thermoelectric Generator System for Generating Electrical Energy Using the Effect Seebeck Method.** Essay. Department of Physics Faculty of Science and Technology State Islamic University Maulana Malik Ibrahim Malang. Counselor: (I) Farid Samsu Hananto, M.T (II) Umaiatus Syarifah, M.A

---

Keywords: Thermoelectric Generator, Peltier, Seebeck Effect.

The thermoelectric generator is an electrical generator device that converts heat energy into electrical energy directly by based on the seebeck effect method ie "if two different metals are connected to one end, then given different temperature at the junction, One end with the other tip". This research used peltier TEC1-12706. The purpose of this research is to know the influence of temperature difference between hot plate with cooling plate from design of Polyvinyl Chloride (PVC) material, aluminum material, and zinc (Zn) material to power generated from the design with variation of peltier in series, parallel and single. This research method is done experimentally, that is to test thermoelectric generator system on three variation of material and variation of peltier circuit. The results showed that halogen lamp light can be a source of electrical energy with a potential micro capacity. A peltier paired in series produces  $V_{max}$  of 3.35 volts and electrical power of 0.199 watts when the aluminum plate absorbs the heat of the halogen lamp with the temperature difference between the hot and cold sides of 12.67 C, in a parallel circuit of 1.11 Volt, on a single peltier of 1.45 volts. As for the zinc circuit produce  $V_{max}$  of 2.04 volts in the series circuit, 0.90 volts in parallel circuits, and 1.15 volts on single peltier. In PVC  $V_{max}$  yields 0.45 volts in the series circuit, 0.18 volts in parallel circuits, and 0.12 on a single peltier. From these results it can be concluded that the design capable of producing greater voltage and electrical power is the design of aluminum with peltier in series.

## المخلص

انصارى. ٢٠١٧. هندسة الجهاز المولّد الحرارة الكهربياء كالمنشّط الكهربياء باستخدام طريقة *Seebeck effect*. البحث الجامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (١) فريد سامسو حناط الماجستير، (٢) أمية الشريفة الماجستير

الكلمة الأساسية: حرارة الكهربياء، بلتيار، *Seebeck Effect*

مولّد الحرارة الكهربياء هو وسيلة من مولّد الكهربياء التي تحويل طاقة الحارّ إلى طاقة الكهربياء مباشرة. بناء على طريقة *Seebeck Effect* هي إذا كان سبيكتان مختلفتان يتشابك إحدى طرفها، ثمّ يعطى إليها درجة الحرارة المختلفة إلى مفصل فسوف تجري إلى إختلاف الإجهاد على طرف الواحد إلى طرف الأخرى. استخدم هذا البحث بلتيار ١٢٧.٠٦-TEC. الهدف من هذا البحث هو لمعرفة تأثير الإختلاف الدرجة الحرارة بين لوحة الساخنة (*hot plate*) و لوحة التبريد (*cooling plate*) من خطّة الأغراض البولفينيل الكلوريد (*PVC*)، و الألومنيوم، و الزنك نحو القدرة يتولّد من تلك الخطّة بالتشكيلة بلتيار التي متسلسل و يتوازي و ترتيب الفرديّ. منهج البحث هذا البحث هو بحث التجريبي وهو ليفحص الجهاز المولّد الحرارة الكهربياء في ثلاثة الأغراض المتنوّع والأغراض البلتيار. حصول البحث يدلّ أنّ ضوء المصباح الهالوجين يستطيع ان يتحوّل إلى طاقة الكهربياء بإمكان تحليل الدقيقى كامن. اثنين بلتيار التي متسلسل ينال غاية المقدار على ٣,٣٥ فولت و قدرة الكهربياء على ١,٩٩ واط إذا كان قرص الألومنيوم يتمسك بالحرارة المصباح الهالوجين باختلاف درجة الحرارة بين أنحاء الحارّ و أنحاء البرد على ١٢,٦٧ C, وعلى يتوازي ١,١١ فولت, وعلى بلتيار الفرديّ ١,٤٥ فولت. إقنا من ترتيب الأغراض الزنك ينال غاية المقدار على ٢,٠٤ فولت على متسلسل, و ٠,٩٠ فولت على ترتيب يتوازي, و ١,١٥ فولت على ترتيب الفرديّ. ثمّ على *PVC* ينال غاية المقدار على ٠,٤٥ فولت على متسلسل, و ٠,١٨ فولت على ترتيب يتوازي, و ٠,١٢ فولت على ترتيب الفرديّ. إنتاج هذا البحث يستطيع أن يتمّ أنّ الخطّة التي يقدر أن يكسب أكبر الإجهاد و قدرة الكهربياء هو خطّة من أغراض الألومنيوم بالبلتيار متسلسل.

# **BAB I PENDAHULUAN**

## **1.1 Latar Belakang**

Indonesia adalah negara yang sangat terkenal dengan potensi alam yang sangat luar biasa. Banyak sumber daya alam yang perlu perhatian dari pemerintah untuk dikembangkan. Dalam beberapa tahun terakhir banyak isu-isu lingkungan masyarakat tentang energi ilmiah dan telah membawa kepentingan untuk penelitian teknologi yang canggih. Melihat dari perspektif sosial-ekonomi, seperti tingkatan konsumsi energi berbanding lurus dengan pembangunan ekonomi dan jumlah penduduk di suatu negara, laju pertumbuhan penduduk di dunia hari ini menunjukkan bahwa permintaan energi cenderung meningkat. Salah satu energi yang dibutuhkan manusia untuk menunjang kebutuhan sehari-hari ialah energi listrik, telah banyak industri-industri yang mengembangkan energi listrik seperti di PLTN, PLTA, dan pembangkit listrik yang lain. Pengembangan alat pembangkit listrik ini sangat dibutuhkan pemahaman terkait desain alat yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang optimal. Telah banyak pengembangan energi alternatif pembangkit listrik yang telah diproduksi, seperti solar sel, yang mampu mengkonversi panas matahari menjadi energi listrik. Energi listrik tidak hanya dapat diciptakan dengan panas matahari, salah satunya ada di mesin pembakaran internal yang sangat efisien. Substansi energi panas tersedia dari gas buang pada mesin otomotif modern. Dua-pertiga dari energi pembakaran di dalam kendaraan hilang sebagai limbah panas, yang 40% dalam bentuk gas panas. Perkembangan terbaru dan teknologi pada pemanfaatan kembali limbah panas dari

gas buang di *Internal Combustion Engine* (ICE). Ini termasuk *Thermoelectric Generator* (TEG), *Organic Rankine Cycle* (ORC), *six-stroke engine* IC siklus dan perkembangan baru di ilmu teknologi yaitu *turbo charger*. Menjadi salah satu perangkat baru yang menjanjikan untuk pemulihan limbah panas otomotif.

Generator termoelektrik akan menjadi salah satu perangkat yang paling penting dan luar biasa di masa depan. Pembangkit listrik generator termoelektrik adalah sebuah perangkat *solid state* yang melakukan konversi energi langsung dari energi panas karena gradien suhu menjadi energi listrik berdasarkan *Seebeck Effect*. Siklus listrik termoelektrik, dengan pembawa muatan (elektron) yang berfungsi sebagai fluida kerja, mengikuti hukum dasar termodinamika dan erat menyerupai siklus kekuatan konvensional mesin panas.

Teknologi termoelektrik bekerja dengan mengkonversi energi panas menjadi listrik secara langsung (generator termoelektrik), atau sebaliknya dari listrik menghasilkan dingin (pendingin termoelektrik). Untuk menghasilkan listrik, material termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Dari rangkaian itu akan dihasilkan sejumlah listrik sesuai dengan jenis bahan yang dipakai.

Kerja pendingin termoelektrik pun tidak jauh berbeda. Jika material termoelektrik dialiri listrik, panas yang ada di sekitarnya akan terserap. Dengan demikian, untuk mendinginkan udara, tidak diperlukan kompresor pendingin seperti halnya di mesin-mesin pendingin konvensional.

Penelitian sebelumnya yang diteliti oleh M. L. Olsen, dkk (2013), tentang "*A high-temperature, high-efficiency solar thermoelectric generator prototype*",

menjelaskan bahwa *Solar Thermoelectric Generator system* (STEGs) memiliki potensi untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik dengan efisiensi yang lebih besar dari 15%. Penelitian ini meneliti terkait desain sistem termoelektrik yang diperlukan yaitu dengan teknologi optik, dan ekonomi kelayakan pendekatan sistem generator termoelektrik. STEGs adalah sebuah mesin panas *solid-state* yang mengkonversi sinar matahari langsung menjadi listrik DC melalui efek termoelektrik. STEGs terdiri dari tiga subsistem, yaitu: *Solar absorber*, *Thermoelectric Generator (TEG)*, dan sistem manajemen panas (isolasi, penukar panas, ruang vakum, dll). Penelitian ini akan mengintegrasikan beberapa *state-of-the-art teknologi* untuk mencapai efisiensi yang tinggi, solar-selektif peredam suhu tinggi, dan rongga termal. Peneliti menguji STEGs di *High Flux Solar Furnace* (HFSF) dan melakukan analisis kerugian dan analisis seumur hidup untuk mengoptimalkan operasi prototipe.

Penelitian ini bertujuan untuk menunjukkan efisiensi dari spesifik STEGs sebesar 15%, dimana yang sebelumnya teknologi STEGs telah mencapai efisiensi yang terbatas (~5%) karena efisiensi mesin carnot rendah dari kecilnya penurunan suhu dan keterbatasan untuk bahan yang digunakan. Mencapai efisiensi yang ditargetkan memerlukan perangkat *high-ZT thermoelectric* dengan mengembangkan tingkat konsentrasi optik yang tinggi dan efisien energi surya memanaskan konversi untuk menghasilkan perbedaan suhu yang besar di seluruh perangkat. Rancangan prototipe bertujuan meningkatkan bahan penyerap selektif surya dan rongga isolasi termal untuk memastikan tinggi absorbtivitas radiasi matahari sementara meminimalkan kehilangan panas. Masalah konsentrasi surya

yang diperlukan untuk STEG akan dipenuhi dengan menyesuaikan output *High Flux Solar Furnace* (HFSF).

Penelitian sebelumnya juga dilakukan oleh Andrea Montecucco, dkk. (2014) tentang “*The effect of temperature mismatch on thermoelectric generators electrically connected in series and parallel*”. Pada Penelitian ini mereka menganalisis dampak dari ketidakseimbangan termal pada listrik yang dihasilkan di modul dan sistem tingkat generator termoelektrik dalam array. Beberapa modul termoelektrik dapat dihubungkan secara seri atau paralel (membentuk array) untuk menghasilkan arus atau tegangan yang dibutuhkan. Variabilitas kinerja elektro-termal dan mekanik klem tekanan modul *Thermoelectric Generator* (TEG) sendiri juga cukup untuk menghasilkan perbedaan suhu yang signifikan. Akibatnya, ketika beroperasi setiap generator termoelektrik dalam array akan memiliki titik operasi listrik yang berbeda dimana energi maksimum dapat diekstraksi dan masalah output daya menurun akan timbul.

Penelitian Selanjutnya dilakukan oleh Z.B. Tang, dkk. (2015) tentang “*A research on thermoelectric generator's electrical performance under temperature mismatch conditions for automotive waste heat recovery system*”. Pada Penelitian ini, membahas tentang generator termoelektrik dengan memulihkan energi yang berguna dengan fungsi modul termoelektrik yang dapat mengkonversi energi limbah panas menjadi listrik. Dioperasikan yang sebenarnya, modul termoelektrik terhubung dan dioperasikan di bawah kondisi perbedaan suhu dan kemudian masalah output daya menurun menyebabkan akibat distribusi gradien temperatur homogen pada permukaan *heat exchanger*. Dalam studi kasus ini, sistem tes

modul individu telah dilakukan untuk menguji dan menganalisis dampak ketidakseimbangan termal pada output daya listrik pada modul dan sistem. Variabilitas perbedaan suhu dan besar tekanan juga diuji dalam pengukuran modul individu. Dari output daya dibandingkan saat ini dan ditunjukkan dalam garis lurus untuk tekanan mekanik yang berbeda ketika perbedaan suhu antara permukaan dari TEM adalah  $\nabla T = 260\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $350\text{ }^{\circ}\text{C}$  pada sisi panas dan  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  pada sisi dingin). Maksimum listrik daya  $4.19\text{ W}$  dengan  $0,72\text{ Mpa}$  tekanan mekanis pada TEM, yang sesuai dengan  $180\text{ kg}$  pada permukaan  $50*50\text{ mm}^2$ . Dibandingkan dengan kondisi  $120\text{ kg}$  dan  $60\text{ kg}$ , daya output maksimum berkurang menjadi  $4,08\text{ W}$  dan  $3,85\text{ W}$ ,  $2,6\%$  dan  $8,1\%$  kurang dari yang asli. Disimpulkan bahwa tekanan mekanik yang tepat diterapkan pada modul untuk meningkatkan kinerja listrik dari TEM dan tekanan yang tepat kinerja yang lebih baik. Hasil eksperimen sistem menjelaskan fenomena termoelektrik generator penurunan output daya di bawah kondisi suhu serasi dan kerja pada suhu yang terbatas. Situasi ini ditingkatkan dengan isolasi termal pada modul dan terbukti efektif.

Dari beberapa literatur tersebut, rencana penelitian tentang *“Rancang bangun sistem generator termoelektrik sederhana sebagai pembangkit listrik dengan menggunakan metode seebeck effect”* ini, akan diteliti terkait efisiensi rancang bangun generator termoelektrik yang memanfaatkan bahan yang sederhana untuk bisa mengkonversi energi panas menjadi energi listrik. Sumber panas yang digunakan pada penelitian ini yaitu lampu halogen dan sinar matahari. Lampu halogen yang dapat dikontrol outputnya agar mendapatkan pancaran yang

sama ke setiap bahan atau sinar matahari yang difokuskan ke bagian penerima panas pada rancangan hingga diperoleh perbedaan suhu panas dan suhu dingin yang akan dikonveksikan menjadi energi listrik dengan metode efek seebeck. Sehingga nantinya mampu memberikan salah satu rekomendasi alat penghasil listrik yang sederhana, murah dan higienis.

### 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh perbedaan suhu antara *hot plate* dengan *cooling plate* terhadap daya yang dihasilkan dari rancangan tersebut?
2. Bagaimanakah perbedaan antara rancangan generator termoelektrik yang menggunakan bahan *Polivinil Clorida* (PVC), bahan aluminium, dan bahan seng (Zn) terhadap output daya listrik yang dihasilkan oleh rancangan tersebut?

### 1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh perbedaan suhu antara *hot plate* dengan *cooling plate* terhadap daya yang dihasilkan dari rancangan tersebut.
2. Untuk mempelajari perbedaan antara rancangan generator termoelektrik yang menggunakan bahan *Polivinil Clorida* (PVC), bahan aluminium, dan bahan seng terhadap output daya listrik yang dihasilkan oleh rancangan tersebut.

### 1.4 Manfaat Penelitian

1. Untuk membuat prototipe generator termoelektrik yang digunakan sebagai sumber energi listrik



2. Agar dapat tercipta sebuah alat alternatif sebagai penghasil energi listrik dengan pemanfaatan sumber energi yang ramah lingkungan.



## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1 Cahaya

Dalam kehidupan sehari-hari kita telah mengenal beberapa jenis cahaya, seperti cahaya matahari dan cahaya lampu. Cahaya penting dalam kehidupan, sebab tanpa adanya cahaya tidak mungkin ada kehidupan. Jika bumi tidak mendapat cahaya dari matahari, maka bumi akan gelap gulita dan dingin sehingga tidak mungkin ada kehidupan. Para ahli telah meneliti cahaya untuk mengetahui sifat-sifat dan karakteristik cahaya. Ada dua pendapat mengenai cahaya, yaitu cahaya dianggap sebagai gelombang dan cahaya dianggap sebagai partikel. Setiap pendapat ini mempunyai alasan masing-masing dan keduanya telah dibuktikan secara eksperimen.

Berdasarkan penelitian-penelitian lebih lanjut, cahaya merupakan suatu gelombang elektromagnetik yang dalam kondisi tertentu dapat berkelakuan seperti suatu partikel. Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang tidak memerlukan medium untuk merambat, sehingga cahaya dapat merambat tanpa memerlukan medium. Oleh karena itu, cahaya matahari dapat sampai ke bumi dan memberi kehidupan di dalamnya. Cahaya merambat dengan sangat cepat, yaitu dengan kecepatan  $3 \times 10^8$  m/s, artinya dalam waktu satu sekon cahaya dapat menempuh jarak 300.000.000 m atau 300.000 km. (Sunardi, 2012).

Allah SWT berfirman dalam (Surah an-Nur): (35):

اللَّهُ نُورُ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ مِثْلُ نُورِهِ كَمِشْكَاةٍ فِيهَا مِصْبَاحٌ الْمِصْبَاحُ فِي زُجَاجَةٍ  
الزُّجَاجَةُ كَأَنَّهَا كَوْكَبٌ دُرِّيٌّ يُوقَدُ مِنْ شَجَرَةٍ مُبَارَكَةٍ زَيْتُونَةٍ لَّا شَرْقِيَّةٍ وَلَا غَرْبِيَّةٍ يَكَادُ زَيْتُهَا

يُضِيءُ وَلَوْ لَمْ تَمْسَسْهُ نَارٌ نُّورٌ عَلَيَّ نُورٌ يَهْدِي اللَّهُ لِنُورِهِ مَنْ يَشَاءُ وَيَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَالَ  
لِلنَّاسِ وَاللَّهُ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ

“Allah (Pemberi) cahaya (kepada) langit dan bumi. perumpamaan cahaya Allah, adalah seperti sebuah lubang yang tak tembus[1039], yang di dalamnya ada pelita besar. pelita itu di dalam kaca (dan) kaca itu seakan-akan bintang (yang bercahaya) seperti mutiara, yang dinyalakan dengan minyak dari pohon yang berkahnya, (yaitu) pohon zaitun yang tumbuh tidak di sebelah timur (sesuatu) dan tidak pula di sebelah barat(nya)[1040], yang minyaknya (saja) Hampir-hampir menerangi, walaupun tidak disentuh api. cahaya di atas cahaya (berlapis-lapis), Allah membimbing kepada cahaya-Nya siapa yang Dia kehendaki, dan Allah memperbuat perumpamaan-perumpamaan bagi manusia, dan Allah Maha mengetahui segala sesuatu”(Q.S. an-Nuur: 35).

Firman Allah SWT: “Pelita itu di dalam kaca,” cahaya tersebut memancar dalam kaca yang bening. Ubay bin Ka’ab dan para ulama lainnya mengatakan: “Maksudnya adalah perumpamaan hati seorang Mukmin.” Firman Allah: “(Dan) kaca itu seakan-akan bintang (yang bercahaya) seperti mutiara,” sebagian qari’ membacanya **دُرٌّ** tanpa *hamzah* di akhir kata, yakni seakan-akan bintang seperti mutiara. Sebagian lainnya membaca **دُرِّيٌّ** dan **دُرِّيٌّ** atau **دَرِّيٌّ** dengan *kasrah* dan *dhammah* huruf daal dan dengan *hamzah*, diambil dari kata **الدَّرَّةُ**, artinya lontaran. Karena bintang apabila dilontarkan akan lebih bercahaya daripada kondisi-kondisi lainnya. Bangsa Arab menyebut bintang-bintang yang tidak diketahui namanya dengan sebutan **دَرَارِي**. Ubay bin Ka’ab mengatakan: “Yakni bintang-bintang yang bercahaya.” (Katsir, 2016).

Firman Allah SWT; “Seperti sebuah lubang yang tak tembus (an-Nur: 35)”. Ibnu Abbas, Mujahid, dan lain-lainnya mengatakan bahwa yang dimaksud dengan *misykat* ialah tempat lentera. Diriwayatkan dari Mujahid, bahwa *misykat*

ialah besi gantungan lampu besar. Tetapi pendapat yang pertamalah yang paling utama, yaitu yang mengatakan bahwa *misykat* adalah tempat lampu. Karena itu, disebutkan setelahnya: “*yang di dalamnya ada pelita besar.*” Yakni pelita yang menyala atau cahaya yang menyala dalam lampu itu. Ubay ibnu Ka’b mengatakan bahwa yang dimaksud dengan *misbah* ialah cahaya.

Ayat di atas membicarakan mengenai cahaya Allah. Allah mengumpamakan “cahaya” Nya sebagai sesuatu yang tidak sama dengan cahaya yang diketahui pada masa ayat ini diturunkan. Digambarkan bahwa cahayaNya ini seperti suatu ceruk (lubang atau cekungan) yang tak tembus (*kamisykaatin*) yang di dalamnya ada pelita atau lampu dimana pelita ini berada dalam suatu kaca yang mengakibatkan kaca ini terlihat seperti bintang yang terang di langit malam. Pelita itu sendiri digambarkan seperti dinyalakan oleh minyak yang berasal dari pohon yang diberkati yaitu zaitun, dimana minyaknya menerangi tanpa tersentuh api. Gambaran ayat di atas, di zaman sekarang ini kita mengenal cahaya pelita itu adalah lampu listrik, namun lampu tersebut tidak dipanaskan menggunakan minyak dan api, tetapi menggunakan filamen dan listrik sebagai pengganti minyak dan api, dimana filamen tersebut jika dialiri listrik mampu berpendar dan bercahaya seperti bintang yang cemerlang dimalam hari.

Cahaya matahari merupakan gabungan cahaya dengan spektrum warna yang berbeda-beda. Pada tahun 1873, J.C. Maxwell secara teori menjabarkan kemungkinan adanya gelombang elektromagnetik di alam yang menjalar dengan kecepatan sebesar kecepatan cahaya. Kemudian secara eksperimen Heinrich Hertz pada tahun 1888, dengan memakai osilasi dipol listrik, berhasil memperoleh

gelombang elektromagnetik, yakni gelombang mikro, yang ternyata dapat dipantulkan, dibiaskan, difokuskan dengan lensa dan seterusnya sebagaimana lazimnya cahaya. Sejak itu, cahaya diyakini sebagai gelombang elektromagnetik transversal. Gelombang elektromagnetik ialah gelombang medan listrik dan kuat medan magnet di setiap titik yang dilalui gelombang elektromagnetik itu berubah-ubah terhadap waktu secara periodis dan perubahan itu dijalankan sepanjang arah menjalarnya gelombang (Soedjojo, 1992).

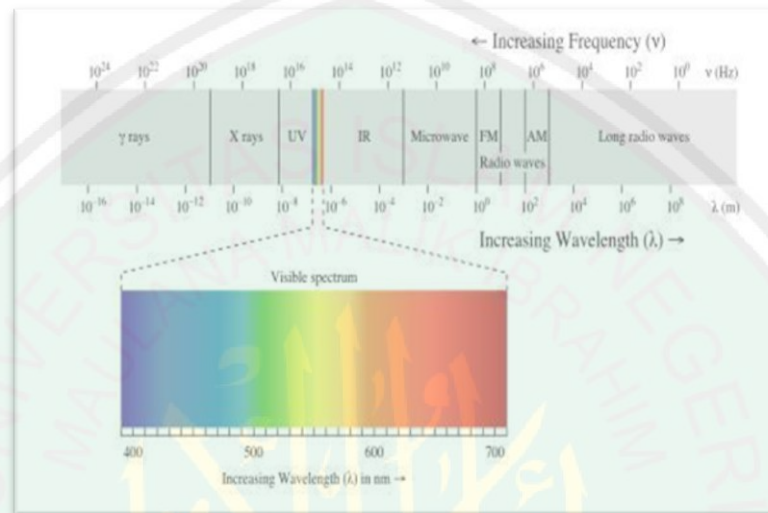
Gelombang elektromagnetik meliputi cahaya, gelombang radio, gelombang mikro, inframerah, cahaya tampak, ultraviolet, sinar X dan sinar gamma (Tipler, 2001). Berbagai jenis gelombang elektromagnetik tersebut hanya berbeda dalam panjang gelombang dan frekuensinya, yang dihubungkan dengan persamaan:

$$f = c/\lambda \quad (2.1)$$

dimana  $f$  = frekuensi (Hz),  $c$  = kecepatan cahaya (m/s), dan  $\lambda$  = panjang gelombang (m). Cahaya merupakan sebagian dari gelombang elektromagnetik yang dapat dilihat mata dengan komponennya yaitu cahaya merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila dan ungu.

Panjang gelombang cahaya berada pada kisaran antara  $0,2 \mu\text{m}$  sampai dengan  $0,5 \mu\text{m}$ , yang bersesuaian dengan frekuensi antara  $6 \times 10^{15}$  Hz hingga  $20 \times 10^{15}$  Hz (Ekajati dan Priyambodo, 2010). Dua properti cahaya yang paling jelas dapat langsung dideskripsikan dengan teori gelombang untuk cahaya adalah intensitas (atau kecerahan) dan warna. Intensitas cahaya merupakan energi yang dibawanya persatuan waktu dan sebanding dengan kuadrat amplitudo gelombang. Warna cahaya berhubungan dengan panjang gelombang atau frekuensi cahaya

tersebut. Cahaya tampak yaitu cahaya yang sensitif pada mata kita jatuh pada kisaran 400 nm sampai 750 nm. Kisaran ini dikenal sebagai spektrum tampak, dan di dalamnya terdapat warna ungu sampai merah (Giancoli, 2001).



Gambar 2.1 Rentang spektrum gelombang elektromagnetik (<http://www.google.co.id>)

Cahaya matahari merupakan gabungan cahaya dengan panjang gelombang dan spektrum warna yang berbeda-beda (Sears, 1949)

Spektrum gelombang elektromagnetik meliputi gelombang radio dan televisi, gelombang mikro, gelombang inframerah, gelombang tampak (*visible light*), gelombang ultraviolet, sinar X dan sinar gamma. Spektrum gelombang elektromagnetik tersebut hanya bagian yang sangat kecil yang dapat ditangkap oleh indera penglihatan yaitu cahaya tampak (*visible light*) (gambar 2.1). Pada gambar 2.1 dapat dilihat perbedaan panjang gelombang dan frekuensi dari cahaya tampak menimbulkan warna yang berbeda yaitu merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila dan ungu yang disebut juga spektrum tampak. Daya tembus dari setiap spektrum tampak tersebut pada kolom air yang sama adalah berbeda-beda

(Nybakken. 1988). Spektrum cahaya yang memiliki panjang gelombang pendek memiliki daya tembus yang lebih dalam dibandingkan gelombang panjang. Pada air jernih gelombang yang sedikit diserap adalah gelombang pendek. Cahaya mempunyai dua sifat yaitu sifat gelombang dan sifat partikel. Sifat partikel cahaya umumnya dinyatakan dalam foton atau kuantum, yaitu suatu paket energi yang mempunyai ciri tersendiri, yang masing-masing foton mempunyai panjang gelombang tertentu. Energi dalam tiap foton berbanding terbalik dengan panjang gelombang. Jadi panjang gelombang ungu dan biru mempunyai energi foton yang lebih tinggi dari pada cahaya jingga (orange) dan merah (Pramesti, 2007)

## **2.2 Generator Termoelektrik**

Teknologi termoelektrik bekerja dengan mengonversi energi panas menjadi listrik secara langsung (generator termoelektrik), atau sebaliknya, dari listrik menghasilkan dingin (pendingin termoelektrik). Untuk menghasilkan listrik, material termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Prototipe yang dirancang akan menghasilkan sejumlah listrik sesuai dengan jenis bahan yang dipakai. Kerja pendingin termoelektrik pun tidak jauh berbeda. Jika material termoelektrik dialiri listrik, panas yang ada di sekitarnya akan terserap. Dengan demikian, untuk mendinginkan udara, tidak diperlukan kompresor pendingin seperti halnya di mesin-mesin pendingin konvensional. Untuk keperluan pembangkitan listrik tersebut umumnya bahan yang digunakan adalah bahan semikonduktor. Semikonduktor adalah bahan yang mampu menghantarkan arus listrik namun tidak sempurna. Semikonduktor yang digunakan adalah semikonduktor tipe-n dan

tipe-p. Bahan semikonduktor yang digunakan adalah bahan semikonduktor ekstrinsik. Persoalan untuk termoelektrik adalah untuk mendapatkan bahan yang mampu bekerja pada suhu tinggi (Klara, 2016: 120).

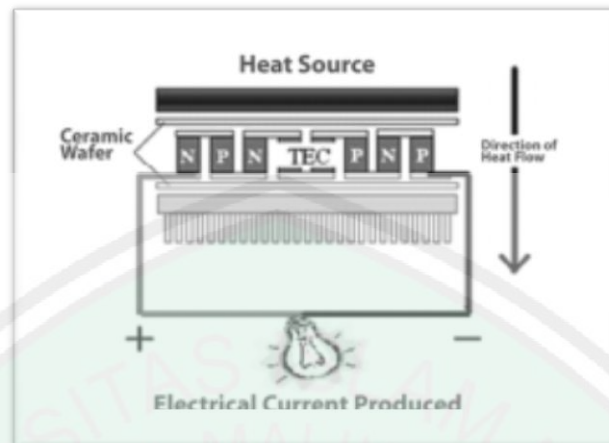
Pada dasarnya generator termoelektrik terdiri dari tiga komponen dasar, yaitu (Vasquez, dkk, 2002):

- a. Struktur penompang, yaitu tempat dimana modul termoelektrik diletakkan, sebagian peneliti meletakkan di dalam aliran gas buang dan beberapa dengan hanya memanfaatkan panas dinding saluran gas buang untuk menghindari adanya *back pressure* aliran gas buang.
- b. Modul termoelektrik, yang tergantung pada jangkauan suhu, material termoelektrik yang dapat digunakan dapat berupa bahan *silicon ghermanium*, *lead telluride*, dan *bismuth telluride*.
- c. Sistem disipasi panas, yang mengatur transmisi panas melalui modul termoelektrik

### 2.2.1 Prinsip Kerja Termoelektrik

Generator termoelektrik adalah suatu pembangkit listrik yang didasarkan pada efek seebeck, yang pertama kali ditemukan tahun 1821 oleh Thomas Johann Seebeck. Thomas menghubungkan tembaga dan besi dalam sebuah rangkaian. Di antara kedua logam tersebut lalu diletakkan jarum kompas. Ketika sisi logam tersebut dipanaskan, jarum kompas ternyata bergerak. Hal ini terjadi oleh karena aliran listrik yang terjadi pada logam yang menimbulkan medan magnet. Medan magnet inilah yang menggerakkan jarum kompas tersebut. Fenomena tersebut kemudian dikenal dengan efek seebeck.





Gambar 2.2 Struktur pembangkit daya termoelektrik (Putra, 2009)

Gambar 2.2 menunjukkan struktur TEG yang terdiri dari suatu susunan elemen tipe-n (material dengan kelebihan elektron) dan tipe-p (material dengan kekurangan elektron). Panas masuk pada satu sisi dan dibuang dari sisi yang lainnya, menghasilkan suatu tegangan yang melewati sambungan termoelektrik. Besarnya tegangan yang dihasilkan sebanding dengan gradien temperatur. Modul termoelektrik adalah sirkuit terintegrasi dalam bentuk solid yang menggunakan tiga prinsip termodinamika yang dikenal sebagai efek Seebeck, Peltier dan Thompson. Konstruksinya terdiri dari pasangan material semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang membentuk termokopel yang memiliki bentuk seperti *sandwic* hantar dua wafer keramik tipis. Modul ini dapat digunakan untuk menghasilkan panas dan dingin di masing-masing sisinya jika arus listrik digunakan biasanya diaplikasikan sebagai sistem pendingin. Misalnya kotak pendingin vaksin atau untuk menghasilkan listrik ketika panas dan dingin digunakan sebagai perbedaan temperaturnya (Putra, 2017).

*Heat sink* digunakan untuk membantu meningkatkan pelepasan kalor pada sisi dingin sehingga meningkatkan efisiensi dari modul tersebut. Potensi

pembangkitan daya dari modul termoelektrik tunggal akan berbeda-beda bergantung pada ukuran, konstruksi dan perbedaan temperaturnya. Perbedaan temperatur yang makin besar antara sisi panas dan sisi dingin modul akan menghasilkan tegangan dan arus yang lebih besar. Modul-modul termoelektrik dapat juga disambungkan bersama baik secara seri ataupun paralel seperti baterai untuk menghasilkan tegangan atau arus listrik. Tiap modul mampu menghasilkan tegangan rata-rata 1-2V DC dan bahkan sampai 5V DC bergantung pada variasi delta temperaturnya, tetapi umumnya satu modul termoelektrik menghasilkan 1,5-2V DC (Putra, 2009).

### **2.2.2 Sistem Konversi Energi Panas dengan Termoelektrik**

Kalor mengalir dengan sendirinya dari suatu benda yang temperaturnya lebih tinggi ke benda lain dengan temperatur yang lebih rendah. Bagaimanapun, fluida kalor tidak perlu dideteksi. Abad ke-19 ditemukan bahwa berbagai fenomena yang berhubungan dengan kerja dan energi. Pertama dilihat bahwa suatu satuan yang umum untuk kalor, yang masih digunakan sekarang dinamakan kalori (kal) dan didefinisikan sebagai kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur 1 gram air sebesar 1 °C (Giancoli, 2001: 489).

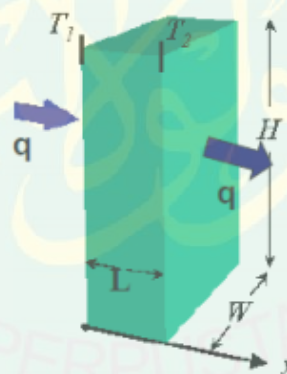
Perpindahan panas dari suatu zat ke zat yang lain sering kali terjadi dalam proses industri. Pada kebanyakan pekerjaan, diperlukan pemasukan atau pengeluaran panas untuk mencapai dan mempertahankan keadaan yang dibutuhkan sewaktu proses panas berlangsung. Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai perpindahan energi akibat adanya perbedaan suhu pada satu

permukaan dengan lingkungan sekitarnya. Perpindahan panas terjadi dengan tiga cara, yaitu: secara induksi, konveksi, dan radiasi (F. Keith, 1986).

### 1. Perpindahan panas konduksi

Konduksi merupakan proses perpindahan panas yang terjadi pada media padat tak tembus cahaya, seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.3. Laju perpindahan panas konduksi per satuan luas permukaan perpindahan panas berbanding lurus dengan gradien suhu normal, atau dalam bahasa matematik dapat ditulis sebagai (Mulyadi, Memet. 2014):

$$\frac{Q_{cond}}{A_{cond}} \approx \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.2)$$



Gambar 2.3 Proses perpindahan panas konduksi (Mulyadi, Memet. 2014)

Jika dimasukkan konstanta proporsional atau tetapan kesebandingan diperoleh:

$$Q_{cond} = -k \cdot A_{cond} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.3)$$

dimana  $\frac{\partial T}{\partial x}$  adalah gradien suhu ke arah perpindahan panas antara dua tempat, dan

k adalah konduktivitas termal zat.

Pada umumnya bahan yang dapat menghantarkan arus listrik dengan sempurna (logam) merupakan penghantar yang baik juga untuk kalor dan sebaliknya. Selanjutnya bila diandaikan sebatang besi atau sembarang jenis logam dan salah satu ujungnya diulutkan ke dalam api, energi akan memindahkan sebagian energi kepada molekul dan elektron yang membangun bahan tersebut. Molekul dan elektron merupakan alat pengangkutan kalor di dalam bahan, aliran elektron akan memainkan peranan penting (Koestur, 2002).

Tabel 2.1 Nilai konduktivitas termal berbagai zat (Sardjito, 2003: 173).

No	Jenis Zat (20 °C)	Konduktivitas termal (°C)
1	Aluminium	200
2	Kuningan	110
3	Tembaga	390
4	Timbal	35
5	Perak	410
6	Besi	80
7	Baja	46
8	Asbes	0,008
9	Beton	0,80
10	Gabus	0,17
11	Kaca	0,80
12	Kayu rata-rata	0,08
13	Air	0,60
14	Es	1,70
15	Udara	0,024
16	Hidrogen	0,14
17	Oksigen	0,023

## 2. Perpindahan panas konveksi

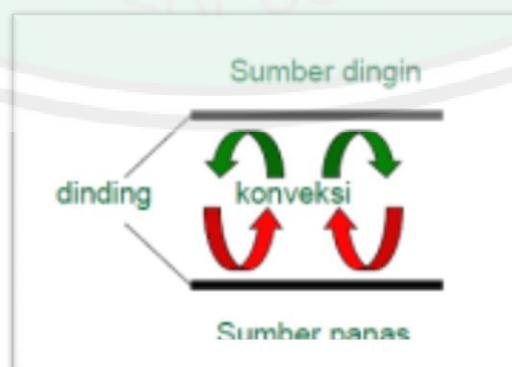
Konveksi merupakan perpindahan kalor yang disertai dengan perpindahan massa medianya, dan media konveksi adalah fluida. Konveksi terjadi karena adanya perbedaan kecepatan fluida bila suhunya berbeda, yang tentunya berakibat pada perbedaan berat jenis (satuan volume). Fluida yang bersuhu tinggi akan

memiliki berat jenis yang lebih kecil bila dibandingkan dengan fluida sejenisnya yang bersuhu rendah. Karena itu, maka fluida yang bersuhu tinggi akan naik membawa energi. Hal inilah yang berakibat pada terjadinya perpindahan kalor konveksi (Sardjito, 2002: 177)

Ilustrasi perpindahan panas konveksi diberikan pada gambar 2.4, benda yang bersuhu tinggi akan mendingin lebih cepat bila ditaruh di dalam udara yang mengalir dibandingkan bila ditempatkan di udara yang tenang. Kita katakan bahwa panas dikonveksikan ke udara sekitar dan proses ini dinamakan perpindahan panas secara konveksi. Contoh gerakan makroskopis dalam fluida, partikel fluida dalam gerakannya memberikan panas yang dibawa. Laju perpindahan panas didefinisikan sebagai:

$$q = h \cdot A(T_c - T_h) \quad (2.3)$$

dimana  $h$  adalah koefisien proses konveksi ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ),  $A$  adalah luas permukaan perpindahan panas ( $m^2$ ),  $T_c$  adalah suhu dingin ( $^\circ C$ ), dan  $T_h$  adalah suhu panas ( $^\circ C$ ).



Gambar 2.4 Proses perpindahan panas konveksi  
(informasifisika.blogspot.co.id)

### 3. Perpindahan panas radiasi

Perpindahan panas dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah, bila benda dipisahkan dalam ruang (ruang hampa) berkat fenomena analogi pancaran sinar dan gelombang elektromagnetik (radiasi matahari). Proses perpindahan kalor tanpa zat perantara disebut radiasi atau pancaran. Kalor diradiasikan dalam bentuk gelombang elektromagnetik, gelombang radio, atau gelombang cahaya. Misalnya radiasi panas dari api apabila kita berdiam diri didekat api unggun, kita merasa hangat. Kemudian, ketika kita memasang selemba tirai di antara api dan kita, maka radiasi akan terhalang oleh tirai itu. Dengan demikian, kita dapat mengatakan bahwa kalor dari api unggun atau matahari dapat dihalangi oleh tabir sehingga kalor tidak dapat merambat. Ada beberapa benda yang dapat menyerap radiasi kalor atau menghalanginya. Alat yang digunakan untuk mengetahui atau menyelidiki adanya radiasi disebut termoskop.

#### 2.3 Material Semikonduktor

Material semikonduktor menjadi komponen yang penting dalam termoelektrik sebagai pengubah energi panas menjadi energi listrik. Terdapat dua jenis material semikonduktor, yaitu tipe-p dan tipe-n. Material semikonduktor disebut tipe-p jika memiliki pembawa muatan yang bernilai positif sedangkan tipe-n jika memiliki pembawa muatan yang bernilai negatif (Zeng, Y.J., dkk. 2007).

Efek termoelektrik adalah peristiwa pengkonversian secara langsung dari energi panas menjadi energi listrik atau sebaliknya karena beda suhu suatu

material. Material generator termoelektrik terbuat dari bahan semikonduktor yang terdiri dari tipe-p dan tipe-n. Material tipe-p adalah material yang kekurangan elektron (hole) dan material tipe-n kelebihan elektron. Ketika material tersebut diberikan beda suhu, maka elektron akan bergerak dari sisi bersuhu panas ke sisi yang bersuhu lebih dingin. Pengkonversian energi karena beda suhu menjadi energi listrik disebut sebagai efek seebeck. Konduktor pada termokopel yang merupakan dua logam yang berbeda dan dinotasikan sebagai material X dan Y. Apabila pada termokopel B diberikan panas sebesar  $T_h$  dan termokopel A lebih dingin pada suhu  $T_c$ , maka akan timbul tegangan ( $V_o$ ) pada terminal T1 dan T2. Tegangan itu disebut sebagai EMF (*Electromotive Force*) dan ditunjukkan sebagai berikut (Sugiyanto, 2014:101. Vol.7 No.2):

$$V = (\alpha_{XY}) \cdot (T_h - T_c) \quad (2.5)$$

dengan:

- V : Tegangan (volt)
- $\alpha_{XY}$  : koefisien Seebeck material X dan Y (volt/°K)
- $T_h$  : Suhu termokopel yang panas (°K)
- $T_c$  : Suhu termokopel yang dingin (°K)

### 2.3.1 Karakteristik Aluminium (Cu)

Ayat yang menjelaskan mengenai logam terkandung dalam Surat ar-Rad ayat 17 sebagai berikut:

أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَالَتْ أَوْدِيَةٌ بِقَدَرِهَا فَاحْتَمَلَ السَّيْلُ زَبَدًا رَابِيًا وَمِمَّا يُوقِدُونَ عَلَيْهِ فِي النَّارِ ابْتِغَاءَ حُلْيَةٍ أَوْ مَتَاعٍ زَبَدٌ مِثْلُهُ كَذَلِكَ يَضْرِبُ اللَّهُ الْحَقَّ وَالْبَاطِلَ فَأَمَّا الزَّبَدُ فَيَذْهَبُ جُفَاءً وَأَمَّا مَا يَنْفَعُ النَّاسَ فَيَمْكُثُ فِي الْأَرْضِ كَذَلِكَ يَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَالَ

*"Allah telah menurunkan air (hujan) dari langit, maka mengalirlah air di lembah-lembah menurut ukurannya, maka arus itu membawa buih yang mengambang. Dan dari apa (logam) yang mereka lebur dalam api untuk membuat perhiasan atau alat-alat, ada (pula) buihnya seperti buih arus itu. Demikianlah Allah membuat perumpamaan (bagi) yang benar dan yang bathil. Adapun buih itu, akan hilang sebagai sesuatu yang tak ada harganya; adapun yang memberi manfaat kepada manusia, maka ia tetap di bumi. Demikianlah Allah membuat perumpamaan-perumpamaan.[770]" (Q.S. ar-Rad: 17).*

Firman Allah SWT: "dan dari apa (logam) yang mereka leburkan dalam api untuk membuat perhiasan atau alat-alat". Mengandung perumpamaan yakni barang logam seperti emas atau perak yang dileburkan di dalam api untuk membuat perhiasan, atau logam yang berupa tembaga, besi, aluminium dan Seng yang dileburkan untuk membuat peralatan. Maka sesungguhnya dari leburan logam itu keluar pula buih seperti apa yang ada pada arus air di lembah.

Allah mengumpamakan yang benar dan yang bathil dengan air dan buih atau dengan logam yang mencair dan buihnya, yang benar sama dengan air dan logam murni yang bathil sama dengan buih air dan buih logam yang akan hancur dan tak ada gunanya bagi manusia.

Aluminium merupakan logam yang paling banyak ditemukan di kerak bumi (8,10 %), tetapi tidak pernah ditemukan secara bebas di alam. Aluminium juga ditemukan di granit dan mineral-mineral lainnya.

Aluminium mempunyai masa jenis  $2,7 \text{ kg/cm}^3$ , titik leleh lebih dari  $658 \text{ }^\circ\text{C}$  dan tidak korosif. Daya hantar aluminium sebesar  $35 \text{ m/ohm.mm}^3$  atau kira-kira 61,4 % dari daya hantar tembaga, tahanan listriknya sebesar 64,94 %, hantaran listrik koefisien temperatur yaitu 0,0042 per  $^\circ\text{C}$ . Aluminium mudah dibentuk karena lunak, kekuatan tariknya hanya  $9 \text{ km/mm}^3$ . Untuk itu jika



aluminium digunakan sebagai penghantar yang dimensinya cukup besar, selalu diperkuat dengan baja atau paduan aluminium (yulianti, 2016: 28).

### 2.3.2 Karakteristik Seng (Zn)

Pemurnian diperoleh secara elektrolisis dari bahan oksidasi seng (ZnO). Penemuan mencapai kadar 97,75 % Zn. Warnanya abu-abu muda dengan titik cair 419 °C dan titik didih 906 °C. Daya mekanis tidak kuat, seng dipakai sebagai pelindung dari karat karena lebih tahan terhadap karat dari pada besi. Pelapisan dengan seng dilakukan dengan cara galvanis seperti pada tembaga. Seng juga mudah dituang, dan sering dipakai sebagai pencampur bahan lain yang sukar dituang, misalnya tembaga. Dalam teknik listrik seng banyak dipakai untuk bahan selongsong elemen kering (kutub negatifnya), batang-batang (elektroda) elemen galvanis. Tahanan jenisnya yaitu 0,12 ohm.mm<sup>2</sup>/m. Dalam perdagangan, seng dijual dalam bentuk pelat yang rata atau bergelombang, dan juga dalam bentuk kawat dan tuangan dalam bentuk balok (Vogel, 1990).

### 2.3.3 Karakteristik Polivinil Clorida (PVC)

Polivinil adalah salah satu jenis plastik yang dibuat secara termoplastik. Salah satu contohnya yang paling banyak digunakan adalah *Polivinil Clorida* (PVC). Sifat PVC adalah keras, kaku dan sedikit rapuh, dapat melunak pada pemanasan 80 °C tanpa titik lebur yang tajam. Jika suhu diturunkan maka PVC akan menjadi rapuh dan jika massanya dinaikkan maka sifat liatnya semakin besar. PVC murni sangat stabil terhadap minyak tumbuhan, minyak mineral, alkohol dan senyawa anorganik. Bahan yang bersifat basa kuat dan bersifat

mengoksidasi dapat mempengaruhinya. PVC dihasilkan dari dua jenis bahan baku utama, yaitu minyak bumi dan garam dapur (NaCl). Bahan baku minyak bumi diolah melalui proses pemecahan molekul yang disebut *cracking* menjadi berbagai macam zat termasuk etilena. Garam dapur diolah melalui proses elektrolisa menjadi natrium hidroksida dan gas klor (Putranto, dody. 2009).

Kandungan klor (Cl) dalam PVC diketahui memberikan sifat-sifat yang unik bagi bahan ini. Tidak seperti umumnya bahan plastik yang merupakan 100% turunan dari minyak bumi, sekitar 50% berat PVC adalah dari komponen klor-nya, yang menjadikannya sebagai bahan plastik yang paling sedikit mengkonsumsi minyak bumi dalam proses pembuatannya. Relatif rendahnya komponen minyak bumi dalam PVC menjadikannya secara ekonomis lebih tahan terhadap krisis minyak bumi yang akan terjadi di masa datang serta menjadikannya sebagai salah satu bahan yang paling ramah lingkungan (Putranto, Dody. 2009).

#### **2.4 Efek Seebeck**

Salah satu piranti yang menghasilkan energi dari panas adalah elemen Peltier. Pembangkit listrik termal ini atau disebut juga elemen seebeck berbentuk identik dengan elemen peltier. Pada elemen ini memanfaatkan efek seebeck untuk membangkitkan energi listrik jika terdapat perbedaan suhu pada elemen (Lovell, 1981).

Konsep seebeck menggambarkan bahwa jika dua buah material logam (biasanya semi konduktor) yang tersambung berada di lingkungan dengan dua temperatur berbeda, maka di material tersebut akan mengalir arus listrik atau gaya

gerak listrik. Konsep ini apabila diterapkan pada kendaraan bermotor dengan gas buang pada mesin motor bakar berkisar antara 200-300 °C dan temperatur lingkungan berkisar antara 30-35 °C, akan menghasilkan gaya gerak listrik yang kemudian dapat digunakan untuk menggerakkan motor listrik atau disimpan di dalam baterai. Apabila dapat diterapkan di kendaraan hibrid, konsumsi bahan bakar pada kendaraan bermotor akan semakin irit. Berdasarkan penjelasan ini, tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan potensi pembangkit daya termoelektrik yang memanfaatkan panas gas buang kendaraan bermotor untuk diterapkan pada kendaraan hibrid (G. Min, 1994:497).

## 2.5 Element Peltier

Elemen peltier atau pendingin termoelektrik (*thermoelectric cooler*) adalah alat yang dapat menimbulkan perbedaan suhu antara kedua sisinya jika dialiri arus listrik searah pada kedua kutub materialnya, dalam hal ini semikonduktor.

Elemen peltier adalah merupakan bagian terpenting dari generator termoelektrik, kedua sisi yang terbuat dari keramik memiliki fungsi sebagai sisi panas dan sisi dingin yang kemudian menghasilkan arus positif dan negatif. Jika nilai tegangan (V) dan arus (I) telah didapatkan, besar daya peltier dapat dihitung berdasarkan persamaan (Klara, 2016: 120-121):

$$P = I \times V \quad (2.6)$$

dimana P adalah daya (Watt), dan I adalah arus (Ampere) dan V adalah tegangan (Volt). Dan dapat juga ditentukan jika nilai arus (I), tegangan (V) dan

banyaknya kalor yang masuk ( $Q_{hot}$ ). Diperoleh nilai efisiensi maksimal peltier ( $E_{maks}$ ) (Klara, 2016):

$$E_{maks} = \text{efisiensi ( \% )} \quad (2.7)$$

Menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E = \frac{I \times V}{Q_{hot}} \times 100 \% \quad (2.8)$$



Gambar 2.5 Elemen peltier (www.laboneinside.com)

Pada gambar 2.5 di atas menunjukkan bentuk fisik dari elemen peltier. Dalam hal refrigerasi, keuntungan utama dari elemen peltier adalah adanya bagian yang bergerak atau cairan yang bersirkulasi, dan ukurannya kecil serta bentuknya mudah direkayasa. Sedangkan kekurangannya terletak pada faktor efisiensi daya yang rendah dan biaya perancangan sistem yang masih sangat mahal. Namun, kini banyak peneliti yang sedang mencoba mengembangkan elemen peltier yang murah dan efisien.

Spesifikasi bagian peltier TEC1-12706 dijelaskan pada tabel berikut ini:

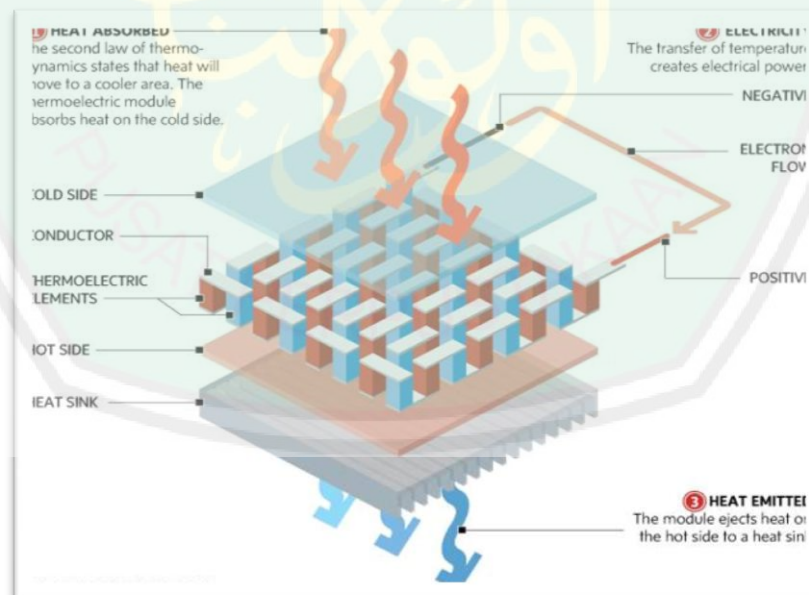
Tabel 2.2 Spesifikasi bagian peltier TEC1-12706

No	Spesifikasi	Nilai
1	Model	TEC1-12706
2	Ukuran	40x40 mm
3	Operasi tegangan dan arus	0-15,2 V dan 0-6 A
4	Operasi suhu	(-30)-70 °C
5	Konsumsi daya maksimal	60 Watt

Spesifikasi kinerja peltier TEC1-12706 dijelaskan pada tabel berikut ini:

Tabel 2.3 Spesifikasi kinerja peltier TEC1-12706

No	kinerja spesifikasi sisi suhu panas (°C)	25°C	50°C
1	Qmax (watt)	50	57
2	Delta Tmax (°C)	66	75
3	Imax (Ampere)	6,4	6,4
4	Vmax (volt)	14,4	16,4
5	Modul resistansi (Ohm)	1,98	2,30



Gambar 2.6 Elemen peltier dua tipe semikonduktor  
(www.amazon.com)

Gambar 2.6 di atas menunjukkan elemen peltier serangkaian dua tipe semikonduktor (tipe yang dihubungkan secara seri). Pada setiap sambungan antara

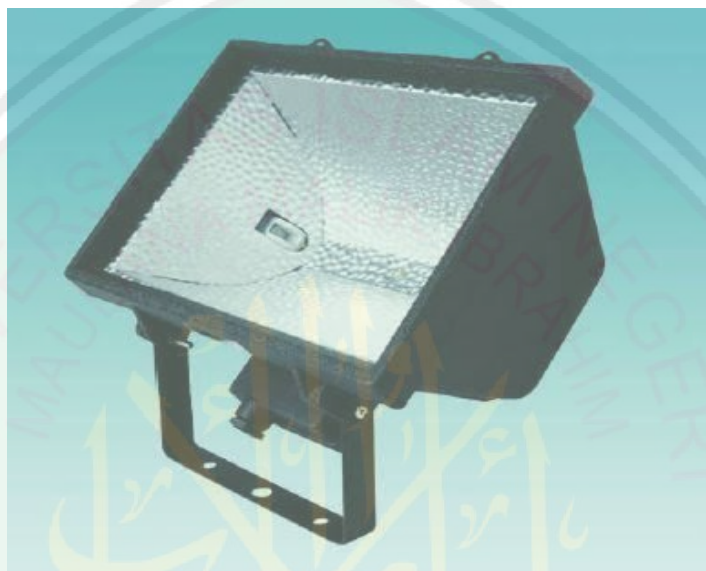
dua tipe semikonduktor tersebut dihubungkan dengan konduktor yang terbuat dari tembaga. Interkoneksi konduktor tersebut diletakkan masing-masing di bagian atas dan di bagian bawah semikonduktor. Konduktor bagian atas ditujukan untuk membuang kalor dan konduktor bagian bawah ditujukan untuk menyerap kalor. Pada kedua bagian interkoneksi ditempelkan pelat yang terbuat dari keramik bertujuan untuk memusatkan kalor yang berasal dari konduktor.

## 2.6 Lampu Halogen

Lampu halogen adalah sebuah lampu pijar yang dimana sebuah filamen wolfram disegel didalam sampul transparan. Putaran halogen menambah umur dari bola lampu dan mencegah penggelapan kaca sampul dengan mengangkat serbuk wolfram dari bola lampu bagian dalam kembali ke filamen. Lampu halogen dapat mengoperasikan filamennya pada suhu yang lebih tinggi dari lampu pijar biasa tanpa pengurangan umur. Lampu ini memberikan efisiensi yang lebih tinggi dari lampu pijar biasa (10-30), dan juga memancarkan cahaya dengan yang lebih tinggi (Anonymous, 2015).

Lampu halogen ini memiliki kawat pijar tungsten seperti lampu pijar biasa yang digunakan di rumah, tetapi bola lampunya diisi dengan gas halogen. Atom tungsten menguap dari kawat pijar panas dan bergerak naik ke dinding pendingin bola lampu. Atom tungsten, oksigen dan halogen bergabung pada dinding bola lampu membentuk molekul oksihalida tungsten. Suhu dinding lampu menjaga oksihalida tungsten dalam keadaan uap. Molekul bergerak ke arah kawat pijar panas dimana suhu tinggi memecahnya menjadi terpisah-pisah. Atom tungsten disimpan kembali pada daerah pendingin kawat pijar, bukan di tempat yang sama

dimana atom diuapkan. Pemecahan biasanya terjadi dekat sambungan antara kawat pijar tungsten dan kawat timah molibdenum dimana suhu turun secara tajam (Wibiyanti, 2008: 15-16).



Gambar 2.7 Lampu halogen (indotrading.com, 2015)

Fungsi dari halogen dalam lampu adalah untuk membalik reaksi kimia penguapan wolfram dari filamen. Pada lampu pijar biasa, serbuk wolfram biasanya ditimbun pada bola lampu. Putaran halogen menjaga bola lampu bersih dan keluaran cahaya tetap konstan hampir seumur hidup. Pada suhu sedang, halogen bereaksi dengan wolfram yang menguap, wolfram (V) bromin yang terbentuk dibawa berputar oleh pengisi gas lembam. Pada suatu saat ini akan mencapai daerah bersuhu tinggi (filamen yang memijar), dimana ini akan berpisah, melepaskan wolfram dan membebaskan halogen untuk mengulangi proses. Untuk membuat reaksi tersebut, suhu keseluruhan bola lampu harus lebih tinggi daripada lampu pijar biasa. Karena gelas kuarsa sangat kuat, tekanan gas dapat ditingkatkan, sehingga mengurangi laju penguapan dari filamen,

memungkinkan untuk beroperasi pada suhu yang lebih tinggi untuk umur yang sama, sehingga menambah efisiensi dan keluaran cahaya. Wolfram yang diupkan dari bagian filamen yang lebih panas tidak selalu dikembalikan pada tempatnya semula, jadi bagian tertentu dari filamen menjadi sangat tipis dan akhirnya gagal (Anonymous, 2017).

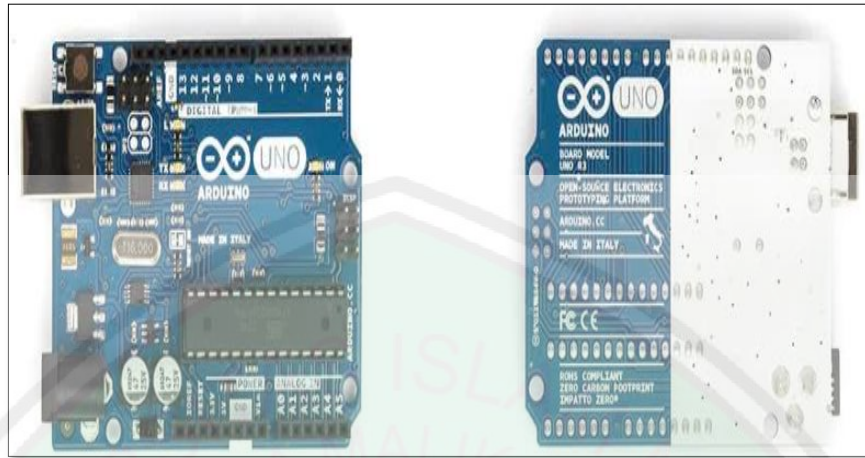
## 2.7 Arduino

Arduino memiliki dua bagian utama yaitu *board* arduino, yang merupakan *hardware* yang digunakan untuk menjalankan *project* yang telah dibangun, dan *Arduino IDE*, adalah *software* yang dapat dijalankan di PC. Arduino IDE digunakan untuk membuat “*sketch*” (sebuah program kecil komputer) yang dapat diunggah ke *board* arduino. “*Sketch*” yang telah dibuat akan mengendalikan kerja *board* Arduino (Banzi, 2009).

### 2.7.1 Hardware Arduino

Board arduino adalah *board mikrokontroler* kecil yang mempunyai kemampuan komputer dalam chip kecil (mikrokontroler). Chip ini sekitar 1000 kali lebih hebat dari *Macbook*, tapi arduino mempunyai harga yang jauh lebih murah dan sangat bermanfaat untuk membangun perangkat yang menarik (Banzi, 2009).





Gambar 2.8 Arduino Uno (<http://www.arduino.cc>).

Pada gambar di atas terlihat *chip* hitam dengan 28 kaki, *chip* tersebut adalah IC mikrokontroler 328, jantung dari *board* arduino uno. Tim arduino telah menempatkan komponen-komponen yang dibutuhkan oleh mikrokontroler untuk bekerja dengan baik dan dapat berkomunikasi dengan PC (Banzi, 2009).

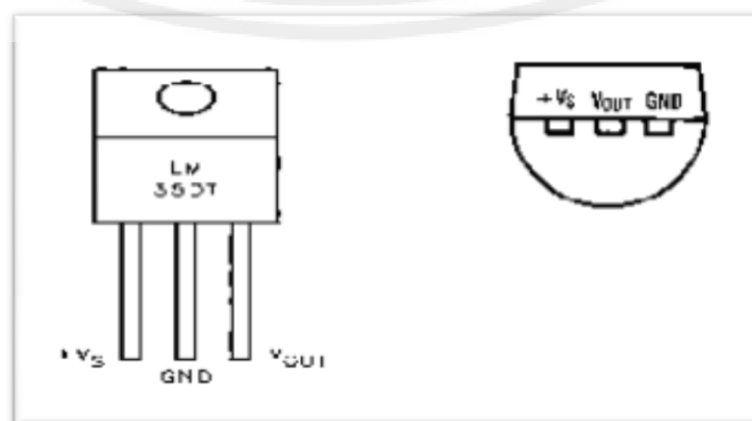
### 2.7.2 Software Arduino (Arduino IDE)

Arduino IDE adalah singkatan dari (*Integrated Development Environment*) merupakan program spesial yang bekerja di PC yang dapat membantu pengguna *board* arduino untuk menulis “*Sketch*” untuk board arduino dalam model bahasa yang sederhana menurut *Processing Language*. Keajaiban terjadi ketika tombol *upload* ditekan, *code* yang telah ditulis diterjemahkan ke dalam bahasa C (yang pada umumnya sangat susah untuk pemula untuk melakukannya), dan akan melewati *avr-gcc compiler* dan pada akhirnya akan menjadi bahasa yang dapat dimengerti oleh mikrokontroler (Banzi, 2009).

## 2.8 Sensor Suhu (Temperatur)

Sensor suhu LM35 adalah komponen elektronika yang memiliki fungsi untuk mengubah suhu dalam bentuk besaran listrik. Sensor suhu LM35 yang dipakai dalam penelitian ini berupa komponen elektronika, elektronika yang diproduksi oleh *National Semiconductor*, LM35 memiliki keakuratan tinggi dan kemudahan perancangan jika dibandingkan dengan sensor suhu yang lain, LM35 juga mempunyai keluaran impedansi yang rendah dan linieritas yang tinggi sehingga dapat dengan mudah dihubungkan dengan rangkaian kendali khusus serta tidak memerlukan penyetelan lanjutan. Meskipun tegangan sensor ini dapat mencapai 30 volt akan tetapi yang diberikan ke sensor adalah sebesar 5 volt, sehingga dapat digunakan dengan catu daya tunggal dengan ketentuan bahwa LM35 hanya membutuhkan arus sebesar 60  $\mu\text{A}$  hal ini berarti LM35 mempunyai kemampuan menghasilkan panas (*self-heat*) dari sensor yang dapat menyebabkan kesalahan pembacaan yang rendah yaitu kurang dari 0,5  $^{\circ}\text{C}$  pada suhu 25  $^{\circ}\text{C}$  (Andriboko, 2015).

### 2.8.1 Struktur Sensor LM35



Gambar 2.9 Sensor suhu LM35 (Andriboko, 2015)

Pada gambar 2.9 menunjukkan bentuk dari LM35 tampak depan dan tampak bawah. 3 pin LM35 menunjukkan fungsi masing-masing pin diantaranya, pin 1 berfungsi sebagai sumber tegangan keluaran atau  $V_{out}$  dengan jangkauan kerja dari 0 volt sampai dengan 1,5 volt sampai 30 volt. Keluaran sensor ini akan naik sebesar 10 mV setiap derajat celcius.

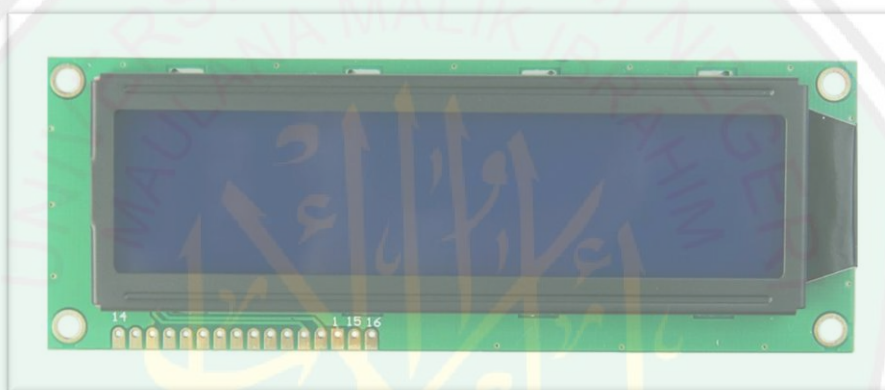
### 2.8.2 Karakteristik sensor suhu LM35

Sensor suhu LM35 memiliki karakteristik sebagai berikut. Memiliki sensitivitas suhu, dengan faktor skala linier antara tegangan dan suhu 10 mV/°C, sehingga dapat dikalibrasi langsung dalam celsius, memiliki ketepatan atau akurasi kalibrasi yaitu 0,5 °C pada suhu 25 °C, memiliki jangkauan maksimal operasi suhu antara -55 °C - 150 °C, bekerja pada tegangan 4 sampai 30 volt, memiliki arus rendah yaitu kurang dari 60  $\mu$ A, memiliki pemanasan sendiri yang rendah (*Low-heating*) yaitu kurang dari 0,1 °C pada udara diam, memiliki impedansi keluaran yang rendah yaitu 0,1 W untuk beban 1 mA, memiliki ketidaklinieran hanya sekitar  $\pm 1/4$  °C (Andriboko, 2015).

Sensor LM35 memiliki kelebihan-kelebihan sebagai berikut: dikalibrasi langsung dalam celsius; memiliki faktor skala linear +10.0 mV/°C; memiliki ketepatan 0,5 °C pada suhu +25 °C jangkauan maksimal suhu antara -55 °C sampai +150 °C cocok untuk aplikasi jarak jauh; harga yang cukup murah; bekerja pada tegangan catu 4 sampai 30 volt memiliki arus *drain* kurang dari 60  $\mu$ A pemanasan sendiri yang lambat (*low self-heating*), 0,08°C di udara diam; ketidaklinearan hanya sekitar  $\pm 1-4$  °C dan memiliki impedansi keluaran yang kecil 0,1 W untuk beban 1 mA (Andriboko, 2015).

## 2.9 LCD (*Liquid Crystal Display*) 1602

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah modul penampil yang banyak digunakan karena tampilannya menarik. LCD 1602 merupakan modul LCD dengan tampilan 2x16 (2 baris x 16 kolom) dengan konsumsi daya rendah. Modul tersebut dilengkapi dengan mikrokontroler yang didesain khusus untuk mengendalikan LCD.



Gambar 2.10 Modul LCD 1602 (Andriboko, 2015)

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah suatu komponen yang berfungsi sebagai tampilan suatu data baik karakter huruf ataupun grafik (contoh LCD dapat dilihat pada gambar 2.10). Di pasaran tampilan LCD sudah tersedia dalam bentuk modul yaitu tampilan LCD beserta rangkaian pendukungnya termasuk ROM dan lain-lain seperti pada gambar 2.10. LCD mempunyai pin data, kontrol catu daya, dan pengatur kontras tampilan. Fungsi dari pin-pin LCD yaitu, pin data dapat dihubungkan dengan bus data dari rangkaian lain seperti mikrokontroler dengan lebar data 8bit, pin RS (*Register Select*) berfungsi sebagai indikator atau yang menentukan jenis data yang masuk, apakah data atau perintah. Logika *low* menunjukkan yang masuk adalah perintah, sedangkan logika *high* menunjukkan

data, Pin R/W (*Read Write*) berfungsi sebagai instruksi pada modul jika *low* tulis data, sedangkan *high* baca data, pin E (*Enable*) digunakan untuk memegang data baik masuk atau keluar, pin VLCD berfungsi mengatur kecerahan tampilan (kontras) dimana pin ini dihubungkan dengan trimpot 5 k $\Omega$ , jika tidak digunakan maka pin tersebut bisa dihubungkan ke *ground*, sedangkan tegangan catu daya ke LCD sebesar 5 volt (Andriboko, 2015: 58)



## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.4 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian tentang “*Rancang Bangun Sistem Generator Termoelektrik Sederhana Sebagai Pembangkit Listrik dengan Menggunakan Metode Seebeck Effect*” ini dilaksanakan mulai pada tanggal 3 Maret 2017 sampai tanggal 15 Juli 2017 di Laboratorium Medan Magnet Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

### **3.5 Alat dan Bahan Penelitian**

1. Aluminium
2. Pipa PVC
3. Seng
4. Peltier TEC1-12706
5. Lampu halogen
6. Arduino uno
7. LCD 16x2 cm
8. Sensor suhu
9. Multimeter digital
10. Pasta termal
11. Komponen elektronika pendukung: resistor, transistor, kapasitor, *Header*, kabel penghubung (merah dan hitam)
12. *Software*: Arduino IDE



Pada gambar tersebut menjelaskan rancangan alat yang akan dibuat. Lampu halogen yang digunakan sebagai sumber panas untuk menggantikan sinar matahari yang dipancarkan secara langsung ke bagian panas rancangan, dan pada bagian dinginnya diberikan air sebagai insulator. Pada rancangan dipasang sensor LM35 untuk mendeteksi gradien suhu, yang kemudian hasilnya akan ditampilkan di LCD, dan tegangan dan arus yang dihasilkan akan dibaca melalui multimeter digital.

Untuk menunjang kinerja dari hardware yang akan dibuat, maka dibutuhkan sebuah PC untuk mengirim program ke rancangan. PC digunakan sebagai perangkat *hardware* untuk menjalankan *software* yang mengontrol *hardware* sistem generator termoelektrik. Sebagai *processor* digunakan arduino uno. Arduino uno merupakan pengembangan *board* mikrokontroler yang menggunakan IC mikrokontroler dari ATMEL, Atmega256. arduino uno merupakan *board* pengembangan mikrokontroler 16bit yang mempunyai kanal ADC (*Analog to Digital Converter*) atau *analog read* (Arduino) sebanyak 16. Dengan jumlah kanal sebanyak 16, *board* arduino uno mampu untuk menjalankan antarmuka sensor sebanyak 2 yang disusun secara larik dan dijalankan secara bersamaan.

### **3.3.2 Pembuatan Software**

Pembuatan *software* sistem generator termoelektrik ini menggunakan pemrograman Arduino IDE, dengan tujuan untuk mengontrol dan menampilkan perbedaan suhu yang dideteksi oleh sensor suhu, kemudian suhu tersebut diinput



dan diolah oleh Arduino IDE dan ditampilkan di LCD 1602 untuk mempermudah pembacaan suhu yang aktif pada rangkaian.



Gambar 3.3 Starting Arduino IDE (Tangkapan layar laptop)

```

File Edit Sketch Tools Help
lm35555 $
#include <LiquidCrystal.h>;
#define Sensor_Suhu A0
int Vin;
float Temperature;
float TF;
LiquidCrystal lcd(2, 3, 4, 5, 6, 7);

void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("Temperature: ");
}
void loop() {
  Vin = analogRead(A0);
  Temperature=(500*Vin)/1023;
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(Temperature);
  lcd.print(" C. ");
  delay(1000);
}

```

Gambar 3.4 Layar kerja pemograman arduino (Tangkapan layar laptop)



### 3.3.3 Pengambilan Data

Pengambilan data penelitian ini dicatat di dalam tabel-tabel berikut ini;

Tabel 3.1 Data pengujian bahan aluminium (rangkaian tunggal, seri dan paralel,  $r = 15$  cm, dan  $r = 50$  cm dan  $R = 120$  ohm)

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tc ( $^{\circ}\text{C}$ )	DT ( $^{\circ}\text{C}$ )	V (Volt)	I (A)	P (Watt)
1	Aluminium (Pengujian 1)							
2	Aluminium Pengujian (2)							
3	Aluminium (Pengujian 3)							

Tabel 3.2 Data pengujian bahan Seng (rangkaian tunggal, seri dan paralel,  $r = 15$  cm dan  $r = 50$  cm, dan  $R = 120$  ohm)

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tc ( $^{\circ}\text{C}$ )	DT ( $^{\circ}\text{C}$ )	V (Volt)	I (A)	P (Watt)
1	Seng (Pengujian 1)							
2	Seng (Pengujian 2)							
3	Seng (Pengujian 3)							

Tabel 3.3 Data pengujian bahan PVC (rangkain tunggal, seri dan paralel, r = 30 cm dan r = 50 cm, dan R = 120 ohm)

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	DT (°C)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)
1	PVC (Pengujian 1)							
2	PVC (Pengujian 2)							
3	PVC (Pengujian 3)							

### 3.6 Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan data pada penelitian ini yaitu dilakukan secara manual, dimana untuk menghitung *output* daya yang dihasilkan oleh tiap rancang dan menganalisa rancangan dari bahan mana yang memiliki efisiensi yang tinggi. Untuk menghitung daya (P) yang dihasilkan oleh rancangan generator termoelektrik dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$P = V \times I$$

dengan P adalah daya (Watt), V adalah tegangan keluaran (volt), dan I adalah arus (A)

Untuk menghitung nilai efisiensi dari generator termoelektrik dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$E = \frac{I \times V}{Q_{hot}} \times 100 \%$$

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini bertujuan menciptakan salah satu alat alternatif pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi panas lampu halogen sebagai pengganti energi panas matahari untuk dikonveksikan menjadi energi listrik. Penelitian ini dilakukan di dalam ruangan laboratorium. Tujuan khusus dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi bahan (Aluminium, Seng, dan PVC) terhadap efisiensi konduktivitas panasnya untuk membangkitkan energi listrik ketika di pancarkan cahaya lampu halogen yang diberikan kepada variasi bahan tersebut, dan mengetahui gradien suhu antara suhu panas dan suhu dingin yang dihasilkan oleh bahan-bahan tersebut terhadap pancaran cahaya lampu halogen dengan variasi jarak dan waktu yang sama. Parameter yang diukur pada penelitian ini meliputi suhu panas dan suhu dingin dari bahan, arus dan tegangan serta daya yang dihasilkan oleh sistem generator termoelektrik sederhana.

Pada penelitian ini digunakan mikrokontroler berbasis arduino yang terdiri dari dua bagian yaitu bagian hardware (Arduino Uno) yang digunakan sebagai pengolah masukan dari beberapa sensor dan beberapa masukan lainnya, dan software (Arduino IDE) yang digunakan sebagai program atau sistem perintah dengan menuliskan *sketch* dalam Bahasa C yang akan di *upload* ke hardware Arduino Uno. Sebagai inputan kedalam arduino uno, pada penelitian ini juga digunakan dua buah sensor LM35 sekaligus dalam sekali pengukuran untuk mempermudah pembacaan suhu yang diukur.

Pada penelitian ini dilakukan empat pengukuran yaitu pengukuran suhu, tegangan dan arus, serta daya. Pengukuran pertama adalah pengukuran suhu dingin ( $T_c$ ) yang dipasang pada bagian dingin sistem generator termoelektrik dan Suhu panas ( $T_h$ ) yang dipasang pada bagian panas sistem generator termoelektrik dengan menggunakan sensor LM35 yang bersumber dari pancaran cahaya lampu halogen. Hasil yang terbaca oleh sensor dihitung dan diproses oleh mikrokontroler kemudian hasilnya akan ditampilkan melalui LCD 1602 dalam bentuk digital. Pengukuran yang kedua adalah mengukur nilai tegangan (V) dan Arus (I) yang dihasilkan sistem generator termoelektrik dengan menggunakan multimeter digital. Bagian dingin sistem generator termoelektrik digunakan air sebagai insulator agar tetap dingin dan menjaga gradien suhu antara dua bagian sistem. Dipasang juga beberapa komponen pendukung seperti bodi sensor dari akrilik dan kotak hitam, serta beberapa kabel penghubung.

Sistem kontrol yang digunakan adalah arduino. *Board* arduino adalah board mikrokontroler yang mempunyai kemampuan dalam chip kecil (*mikrokontroler*). Chip ini sekitar 1000 kali lebih hebat dari *Macbook*, tetapi Arduino mempunyai harga yang jauh lebih murah dan sangat bermanfaat untuk membangun perangkat yang menarik. Dengan chip hitam dengan 28 kaki, chip tersebut adalah IC Mikrokontroler 328, yang merupakan bagian yang sangat penting dari *board* Arduino Uno. Tim Arduino telah menempatkan komponen-komponen yang dibutuhkan oleh mikrokontroler untuk bekerja dengan baik dan dapat berkomunikasi dengan PC. Selanjutnya digunakan Arduino IDE.

Arduino IDE adalah singkatan dari (*Integrated Development Environment*) yang merupakan program spesial yang bekerja di PC yang dapat membantu pengguna *board* arduino untuk menulis “*Sketch*” yang akan dikirim ke *board* arduino dalam model bahasa yang sederhana menurut *Processing language* ([www.processing.org](http://www.processing.org)). Ketika tombol *Upload* ditekan, *code* yang telah ditulis di terjemahkan ke dalam bahasa C (yang pada umumnya sangat susah untuk pemula untuk melakukannya), dan akan melewati *avr-gcc compiler* dan pada akhirnya akan menjadi bahasa yang dapat dimengerti oleh mikrokontroler.

#### **4.1.1 Pembuatan Alat Sensor Suhu**

Semua komponen sensor maupun alat yang digunakan pada penelitian ini adalah komponen elektronika yang mempunyai nilai aliran listrik, dan rentan sekali terhadap goyangan maupun benda-benda lain yang dapat merusak rangkaian tersebut. Sehingga digunakan tempat yang sesuai dengan kebutuhan alat tersebut. Pada penelitian ini digunakan akrilik dan kotak hitam sebagai tempat rangkaian elektronika dan beberapa alat pendukung lainnya, agar aman dari pengaruh terjadinya kerusakan. Kotak yang digunakan pada penelitian ini berbahan dasar plastik, sehingga tidak mudah pecah. Pembuatan sensor ini berfungsi untuk mempermudah pembacaan nilai suhu yang dihasilkan oleh rancangan. Sensor yang digunakan adalah sensor LM35. Dalam hal ini, komponen utama yang digunakan adalah sebuah modul arduino yang berfungsi memprogram/mengolah suhu yang dideteksi oleh sensor dan sebuah LCD yang digunakan sebagai penampil nilai suhu yang dibaca oleh sensor. Berikut adalah hasil pembuatan alat pembaca suhu:



Gambar 4.1 Rancangan alat pembaca suhu

#### 4.1.2 Pemrograman Arduino

Sistem mikrokontroler berbasis arduino ini, terletak pada IC Atmega 328 yang memegang kendali utama dalam operasi semua kegiatan perangkat sensor maupun intruksi-intruksi lain yang berhubungan dengan sistem. Tidak hanya itu, komunikasi perkembangan pada arduino ini juga mampu menampilkan monitor langsung dari nilai pembacaan sensor, sehingga penggunaan arduino ini sangat efisien dan praktis untuk pengoprasian sebuah alat otomasi. Intruksi dan olah data menggunakan software Arduino IDE yang di dalamnya terdapat *sketch* atau *coding instruction* sebagai pembacaan sensor maupun pengolahan data yang diterima. *Sketch* pemograman yang akan dimasukkan ke arduino IDE untuk rancangan pembaca sensor suhu adalah sebagai berikut:

```
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd (12, 11, 5, 4, 3, 2);

const int Th = A0;
const int Tc = A1;
```



```

void setup()
{
  lcd.createChar(1, degree);
  lcd.begin(16, 2);
}
void loop()
{
  int value = analogRead(Th);
  int hasil = analogRead(Tc);
  lcd.setCursor(0, 1);
  float millivolts = (value / 1024.0) * 5000;
  float millivolt = (hasil / 1024.0) * 5000;
  float celsius = millivolts / 10;
  float celcius = millivolt / 10;
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Th ");
  lcd.print(celcius);
  lcd.write(1);
  lcd.print(" C");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Tc ");
  lcd.print(celsius);
  lcd.write(1);
  lcd.print(" C");
  delay (500);
}

```

#### 4.1.3 Pembuatan Sistem Generator Termoelektrik

Pembuatan sistem generator termoelektrik ini merupakan rangkaian utama yang digunakan untuk mengkonversi energi panas menjadi energi listrik. Dalam pembuatan sistem ini, ada tiga bahan yang digunakan sebagai *hot plate* dan *cooling plate* yaitu: Aluminium (Cu), Seng (Zn), dan Polivinil Clorida (PVC). Satu rangkaian terdapat masing-masing dua buah plat dengan ukuran masing-masing 30 cm x 30 cm untuk bagian *hot plate*, dan 10 cm x 6 cm untuk bagian *colling plate*. Di antara dua plat tersebut diletakkan peltier yang akan mengkonversi energi panas menjadi energi listrik. Bagian *hot plate* adalah untuk

menerima panas dari cahaya lampu halogen, sedangkan bagian lainnya (*colling plate*) untuk bagian dingin rangkaian. Bagian dingin generator dipasang sebuah kotak aluminium berisi air sebagai insulator agar suhu bagian dinginnya tetap lebih rendah dari suhu panasnya. Gambar 4.2 menjelaskan hasil dari rancangan sistem generator termoelektrik yang sudah siap digunakan.



Gambar 4.2 Rancangan sistem generator termoelektrik

#### 4.1.4 Unjuk kerja Alat

Desain alat ini dirancang dengan memanfaatkan panas dari cahaya lampu halogen 1000 watt sebagai pengganti energi matahari yang dikonversikan menjadi energi listrik. Pancaran cahaya lampu halogen dipaparkan dengan variasi jarak antara 15 cm dan 30 cm (untuk aluminium dan seng), 30 cm dan 50 cm (untuk Polivinil Clorida (PVC)) sehingga *hot plate* generator termoelektrik (Aluminium,

seng, dan PVC) akan menyerap panas secara maksimal yang kemudian diteruskan ke peltier. Rancangan generator termoelektrik diletakkan secara lurus di bawah lampu halogen agar semua bagian *hot plate* nya menerima panas secara bersamaan. Bagian *cooling plate* telah dipasang kotak aluminium berisi air untuk menjaga suhu tetap dingin, sehingga dapat memberikan perbedaan suhu antara dua bagian plat.

Pengukuran suhu dari tiap bagian plat digunakan sensor yang telah dibuat, dimana salah satu sensor diletakkan di bagian *hot plate*, dan satunya lagi diletakkan di bagian *cooling plate*, kemudian suhu yang telah diukur akan ditampilkan di LCD. Secara bersamaan setelah cahaya lampu halogen dipaparkan, rancangan generator termoelektrik akan menghasilkan arus dan tegangan. Pengukuran nilai arus dan tegangan digunakan multimeter digital. Sistem generator termoelektrik bekerja berdasarkan perbedaan suhu panas dan dingin. Semakin besar perbedaan suhu antara dua bagian, maka akan semakin besar pula nilai arus dan tegangan yang dihasilkan oleh rancangan tersebut. Bagian *cooling plate* akan mengalami kenaikan suhu karena adanya radiasi panas dari bagian *hot plate* dan karena peltier juga akan mengalami panas, sehingga panas tersebut akan tersalurkan ke bagian dingin rancangan. Panas berpindah dari suhu yang tinggi ke suhu yang lebih rendah sesuai dengan teori perpindahan panas (Giancolli, 2011) bila dua benda atau lebih terjadi kontak termal maka akan terjadi aliran kalor dari benda yang memiliki temperatur yang lebih tinggi ke benda yang bertemperatur rendah.

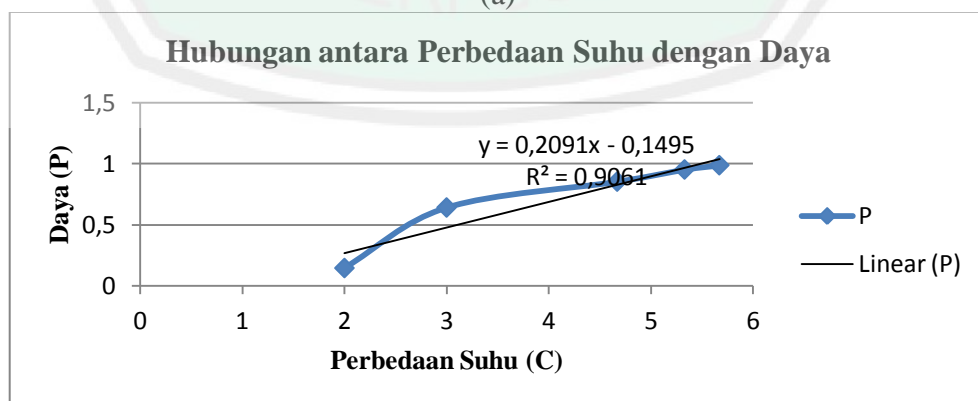
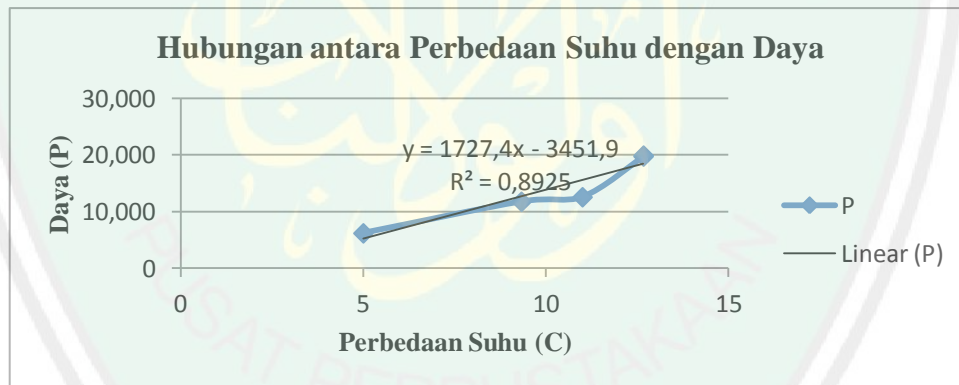
## 4.2 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan pada tiga variasi bahan yaitu aluminium (Al), Seng (Zn) dan Polivinil Clorida (PVC) yang dipapari cahaya lampu halogen 1000 watt selama sepuluh menit pengukuran dengan rentang waktu dua menit tiap pengukuran. Dengan dua variasi jarak paparan cahaya pada tiap bahan yang digunakan yaitu sejauh 15 cm, 30 cm (*untuk aluminium dan seng*) dan 30 cm 50 cm (*untuk Polivinil Clorida (PVC)*) dari sistem generator termoelektrik. Variasi terakhir adalah variasi rangkaian peltier yang terdiri dari rangkaian tunggal (satu Peltier), rangkaian seri (dua buah peltier), dan rangkaian Paralel (dua buah peltier). Pengukuran kenaikan suhu diukur tiap pertambahan waktu selama dua menit awal sampai menit ke sepuluh sehingga terdapat 5 hasil data pengukuran, untuk menghitung waktunya menggunakan stopwact HP. Sebelum pengukuran, pastikan semua alat baik dari sensor, sistem generator termoelektrik, dan multimeter digital serta lampu halogen dalam keadaan siap, dan sensor suhu telah terkalibrasi. Sensor suhu diatur pada nilai suhu ruangan kemudian dipasang pada bagian panas dan dingin dari sistem untuk mengetahui suhu awal pada sistem, setelah itu sensor suhu secara otomatis akan terkalibrasi. Setelah sensor terkalibrasi, dimulai pengukuran pada suhu awal dari sistem dengan menggunakan salah satu dari tiga bahan tersebut, kemudian didata nilai keluaran dari sensor yang ditampilkan pada LCD, dan nilai tegangan serta arus yang ditampilkan di multimeter digital setiap 2 menit pengukuran selama 10 menit.

#### 4.2.1 Hasil Pengujian Sistem Generator Termoelektrik Dengan Bahan Aluminium (Cu)

Tabel 4.1 Data pengujian sistem pada rancangan berbahan Aluminium dengan peltier dirangkai seri setelah di rata-rata dari 3 pengulangan.

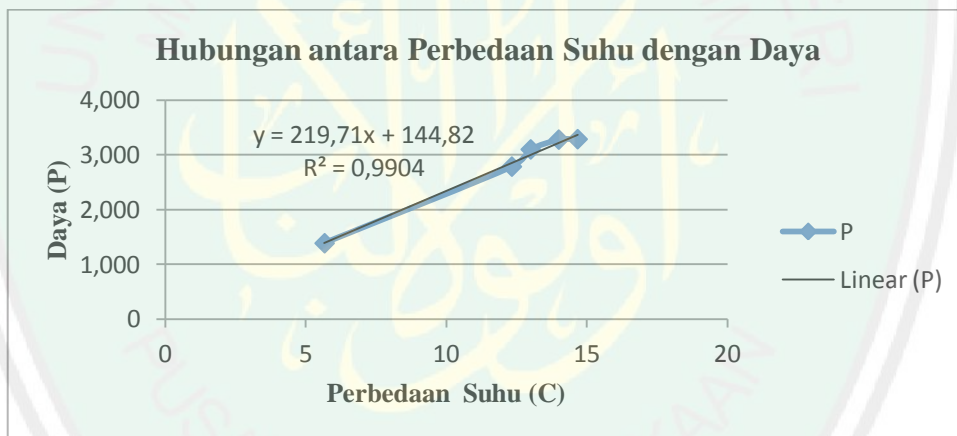
No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	ΔT (°C)	V (Volt)	I (mA)	P (Watt)
1	Aluminium rangkaian seri, r = 15 cm, R = 120 ohm	2	38,67	33,67	5	1.55	4,01	6,215
		4	50,33	41	9,33	2.15	5,48	11,782
		6	59,33	46,67	12,67	3.32	5.95	19,754
		8	64	51,33	12,67	3.35	5.95	19,932
		10	67	56	11	2.22	5.67	12,587
2	Aluminium rangkaian seri, r = 50 cm, R = 120 ohm	2	32,67	30,67	2	0,25	0,58	0,145
		4	38	35	3	0,50	1,28	0,640
		6	41	36,33	4,67	0,60	1,42	0,852
		8	43,33	37,67	5.67	0,64	1.54	0,986
		10	45,67	40,33	5.33	0,63	1.51	0,951



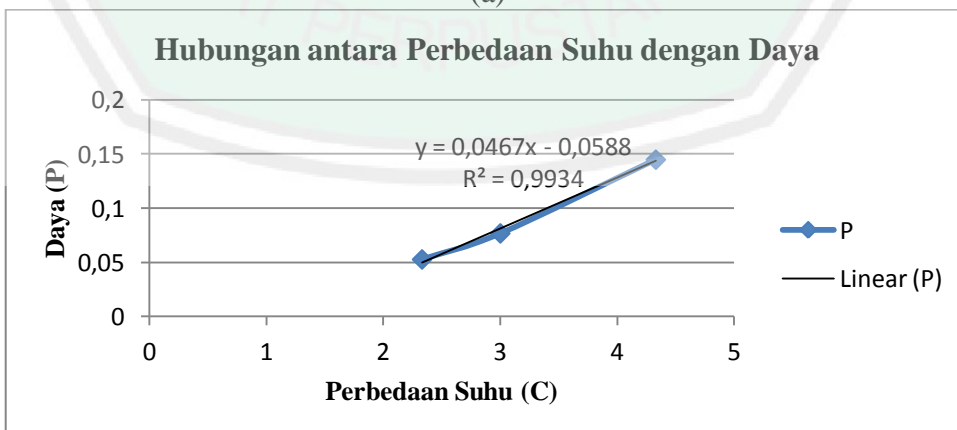
Gambar 4.3 Grafik hubungan perbedaan suhu dengan daya pada rancangan berbahan aluminium dengan peltier dirangkai seri pada jarak dengan lampu halogen sejauh 15 cm (a), dan 50 cm (b).

Tabel 4.2 Data pengujian sistem pada rancangan berbahan aluminium dengan peltier dirangkai secara paralel setelah di rata-rata dari 3 pengulangan.

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	ΔT (°C)	V (Volt)	I (mA)	P (Watt)
1	Aluminium rangkaian paralel, r = 15 cm, R= 120 ohm	2	39,33	33,67	5,67	0,70	1,98	1,386
		4	53,33	41	12,33	1,02	2,73	2,785
		6	62	47,33	14,67	1,11	2,96	3,286
		8	67	553	14	1,10	2,98	3,278
		10	71	58	13	1,08	2,87	3,099
4	Aluminium rangkaian paralel, r = 50 cm, R= 120 ohm	2	36,33	34	2.33	0,12	0,44	0,053
		4	39,67	36,67	3	0,14	0,55	0,077
		6	41,67	38,67	3	0,21	0,63	0,132
		8	44,33	40	4,33	0,21	0,66	0,139
		10	46	41,33	4,33	0,22	0,66	0,145



(a)

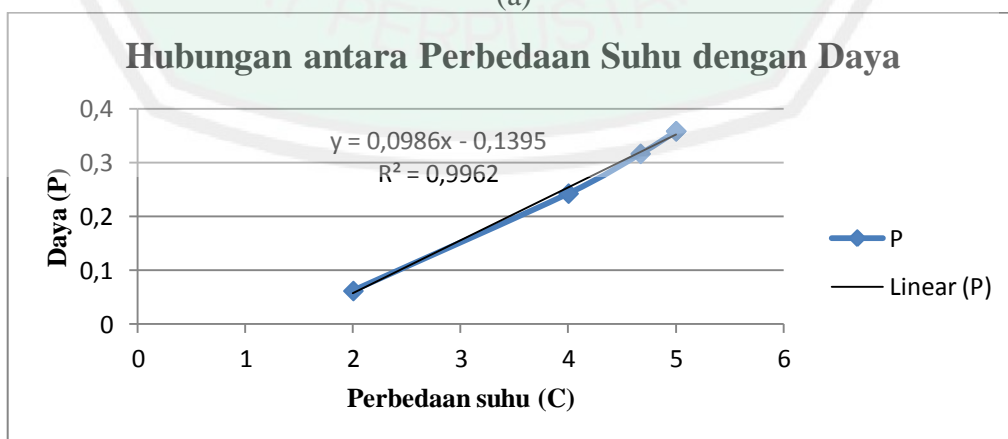
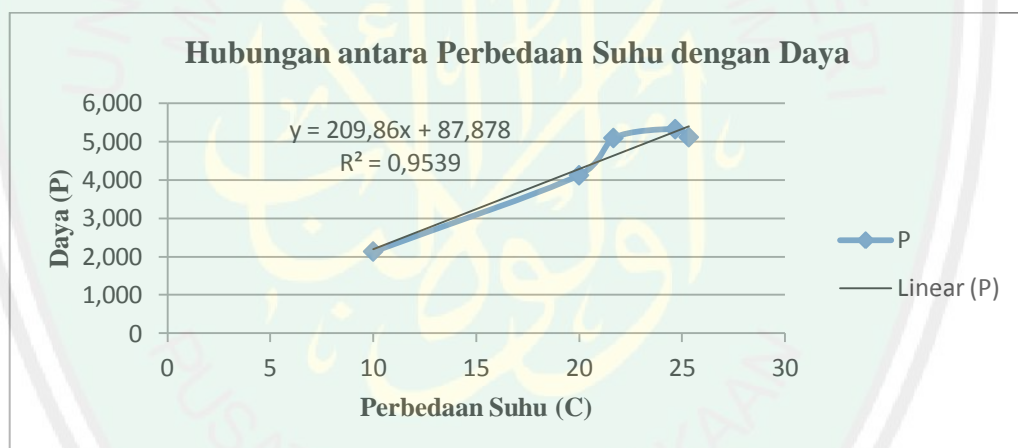


(b)

Gambar 4.4 Grafik hubungan perbedaan suhu dengan daya pada rancangan berbahan aluminium dengan peltier dirangkai paralel pada jarak dengan lampu halogen sejauh 15 cm (a), dan 50 cm (b)

Tabel 4.3 Data pengujian sistem pada rancangan berbahan aluminium dengan peltier tunggal setelah di rata-rata dari 3 kali pengulangan.

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	ΔT (°C)	V (Volt)	I (mA)	P (Watt)
1	Aluminium rangkaian tunggal, r = 15 cm R = 120 ohm	2	43,67	33,67	10	0,9	2,37	2,133
		4	58,67	38,67	20	1,26	3,27	4,120
		6	65	43,33	21,67	1,41	3,61	5,090
		8	72	47,33	24,67	1,45	3,67	5,321
		10	75,67	50,33	25,33	1,42	3,60	5,112
2	Aluminium rangkaian tunggal, r = 50 cm R = 120 ohm	2	33	31	2	0,16	0,39	0,062
		4	39	35	4	0,32	0,76	0,243
		6	42	37,33	4,67	0,36	0,88	0,317
		8	43	38	5	0,39	0,92	0,359
		10	44	39,33	5	0,39	0,92	0,359

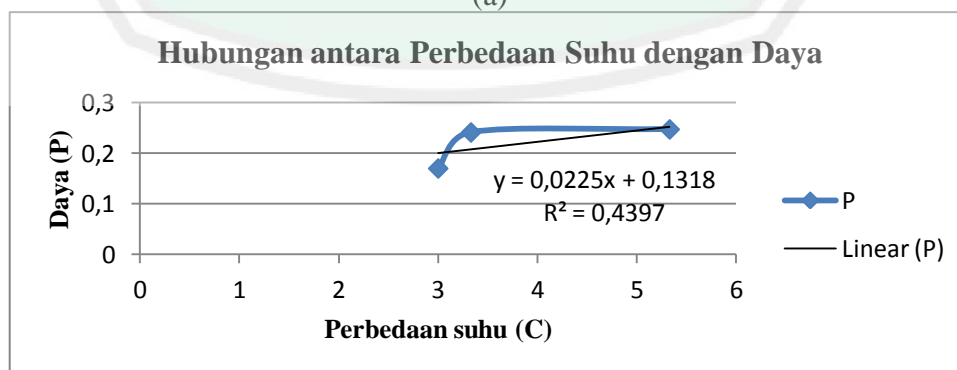
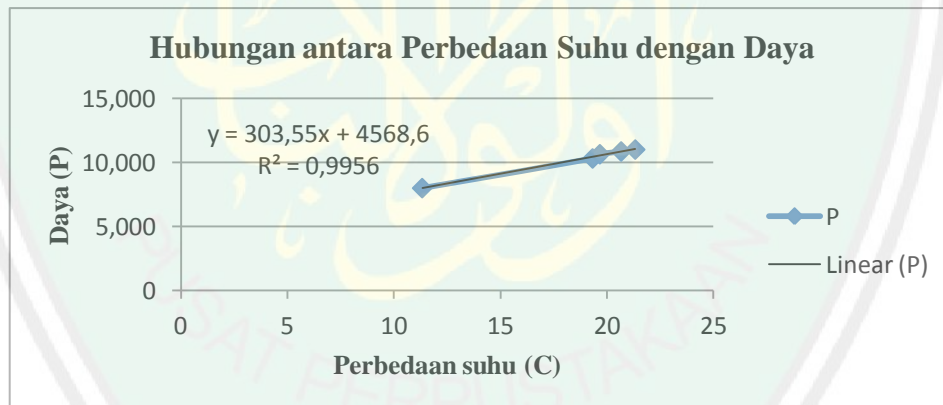


Gambar 4.5 Grafik hubungan perbedaan suhu dengan daya pada rancangan berbahan aluminium dengan peltier tunggal pada jarak dengan lampu halogen sejauh 15 cm (a), dan 50 cm (b)

#### 4.2.2 Hasil Pengujian Sistem Generator Termoelektrik Dengan Bahan Seng (Zn)

Tabel 4.4 Data pengujian sistem pada rancangan berbahan seng dengan peltier dirangkai seri setelah di rata-rata dari 3 kali pengulangan.

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	ΔT (°C)	V (Volt)	I (mA)	P (Watt)
1	Seng Peltier dirangkai seri, r = 15 cm, R = 120 ohm	2	46,67	35,33	11,33	1,73	4,63	8,010
		4	63,67	44	19,67	2,01	5,30	10,653
		6	73,33	52	21,33	2,04	5,40	11,016
		8	77,67	57	20,67	2,02	5,38	10,868
		10	81,67	62,33	19,33	1,97	5,24	10,323
2	Seng Peltier dirangkai seri, r = 50 cm R = 120 ohm	2	37,33	34,33	3	0,23	0,74	0,170
		4	43,33	40	3,33	0,29	0,90	0,261
		6	46,67	41,33	5,33	0,29	0,91	0,264
		8	48	42,67	5,33	0,28	0,88	0,247
		10	49	43,67	5,33	0,28	0,86	0,241

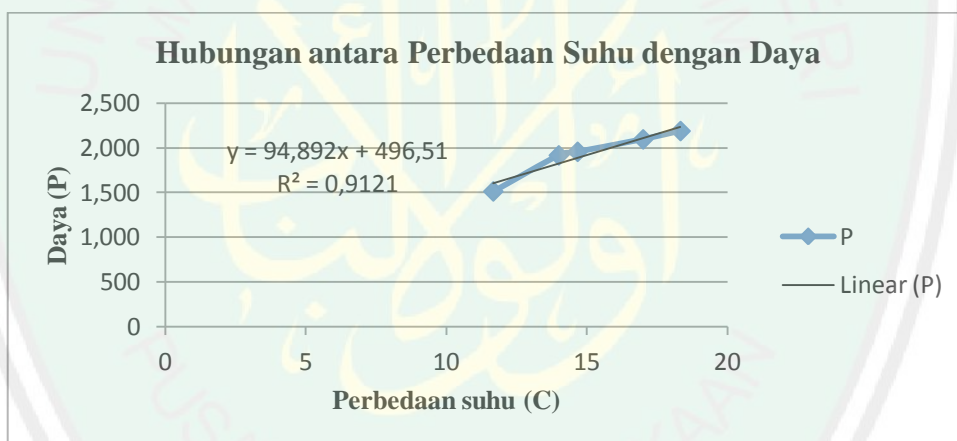


Gambar 4.6 Grafik hubungan perbedaan suhu dengan daya pada rancangan berbahan Seng dengan peltier seri pada jarak dengan lampu halogen sejauh 15 cm (a), dan 50 cm (b)

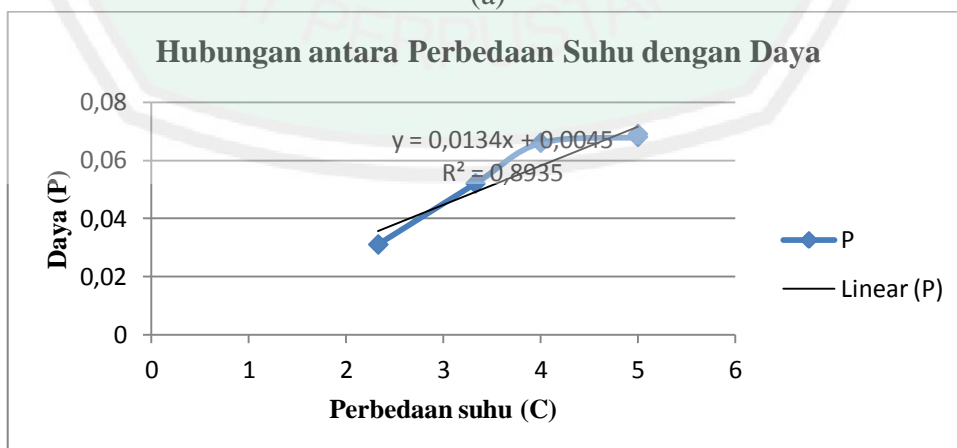


Tabel 4.5 Data pengujian sistem pada rancangan berbahan seng dengan peltier dirangkai paralel setelah di rata-rata dari 3 kali pengulangan.

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	ΔT (°C)	V (Volt)	I (mA)	P (Watt)
1	Seng rangkaian paralel, r = 15 cm, R= 120 ohm	2	53,33	42,67	11,67	0,76	1,99	1,512
		4	65,67	51,67	14	0,84	2,28	1,915
		6	74	59,33	14,67	0,85	2,30	1,955
		8	79,33	61	18,33	0,90	2,43	2,187
		10	82	65	17	0,88	2,38	2,094
2	Seng rangkaian paralel, r = 50 cm, R= 120 ohm	2	35,33	3,67	2,33	0,10	0,30	0,030
		4	43	39,67	3,33	0,13	0,40	0,052
		6	45	41	4	0,15	0,44	0,066
		8	47	42	5	0,15	0,46	0,069
		10	47,67	42,67	5	0,15	0,45	0,068



(a)

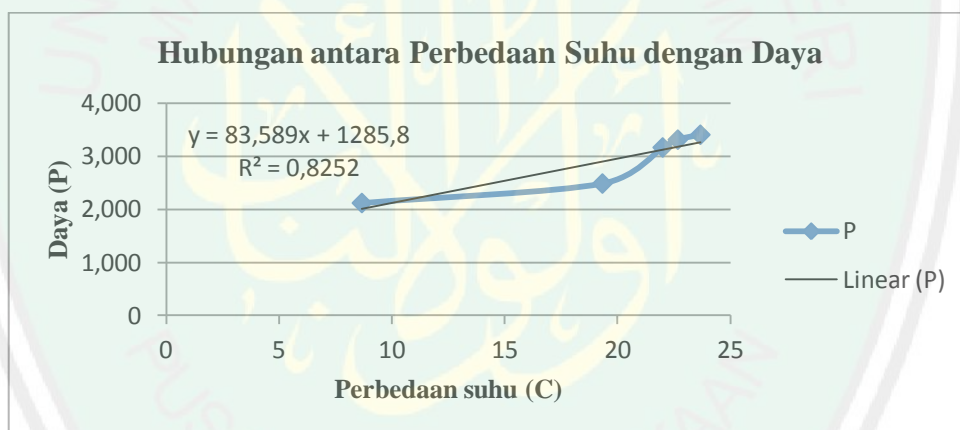


(b)

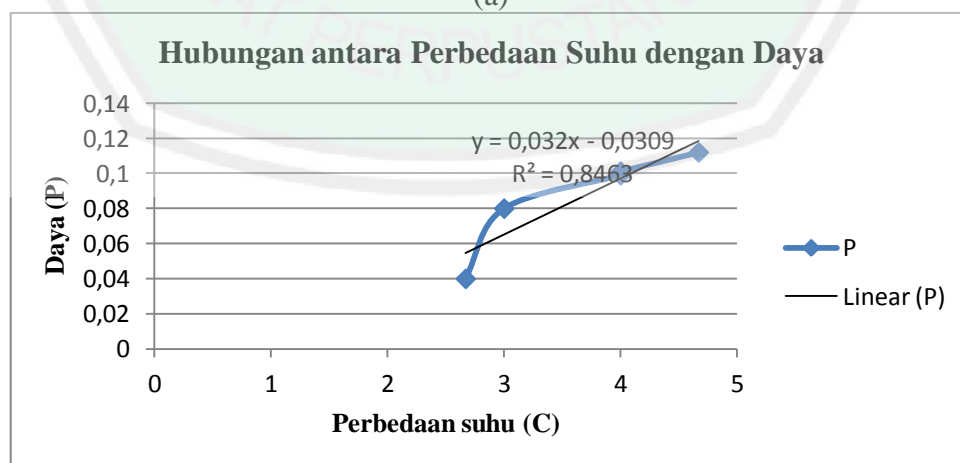
Gambar 4.7 Grafik hubungan perbedaan suhu dengan daya pada rancangan berbahan Seng dengan peltier dirangkai paralel pada jarak dengan lampu halogen sejauh 15 cm (a), dan 50 cm (b)

Tabel 4.6 Data pengujian sistem pada rancangan berbahan seng dengan peltier tunggal setelah di rata-rata dari 3 kali pengulangan.

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	ΔT (°C)	V (Volt)	I (mA)	P (Watt)
1	Seng rangkaian paralel, r = 15 cm R = 120 ohm	2	45,67	37	8,67	0,89	2,38	2,118
		4	63,67	44,33	19,33	1,09	2,28	2,485
		6	72	49,33	22,67	1,13	2,93	3,311
		8	77,33	53,67	23,67	1,15	2,96	3,404
		10	79,67	57,67	22	1,11	2,85	3,164
2	Seng rangkaian tunggal, r = 50 cm R = 120 ohm	2	36,33	33,67	2,67	0,13	0,31	0,040
		4	42,33	39,33	3	0,17	0,53	0,090
		6	45,33	41,33	4	0,18	0,55	0,099
		8	46,33	42,33	4	0,18	0,56	0,101
		10	48	43,33	4,67	0,19	0,59	0,112



(a)



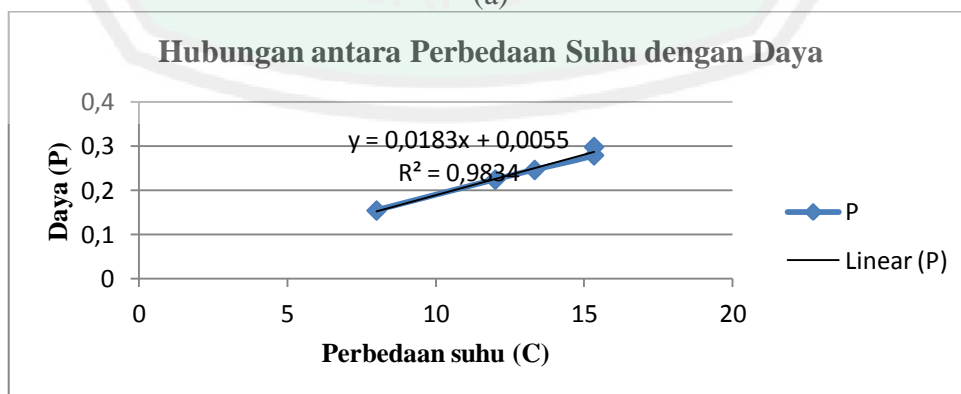
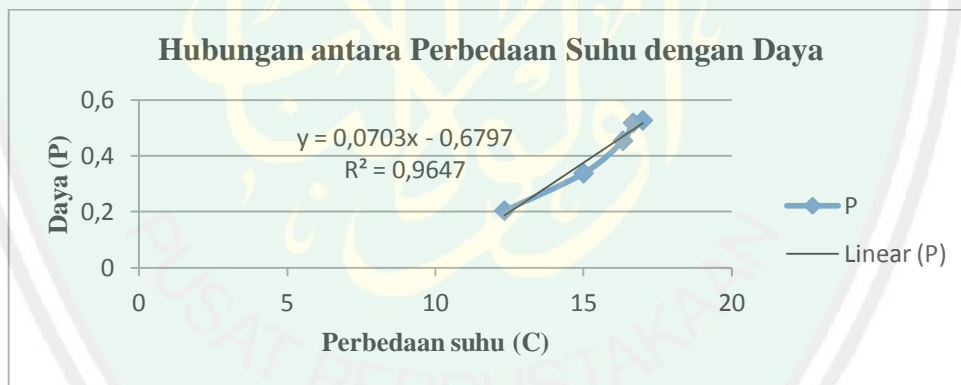
(b)

Gambar 4.8 Grafik hubungan perbedaan suhu dengan daya pada rancangan berbahan Seng dengan peltier tunggal pada jarak dengan lampu halogen sejauh 15 cm (a), dan 50 cm (b)

#### 4.2.3 Hasil Pengujian Sistem Generator Termoelektrik Dengan Bahan Polivinil Clorida (PVC)

Tabel 4.7 Data pengujian sistem pada rancangan berbahan *Polivinil Clorida* (PVC) dengan peltier seri setelah di rata-rata dari 3 kali pengulangan.

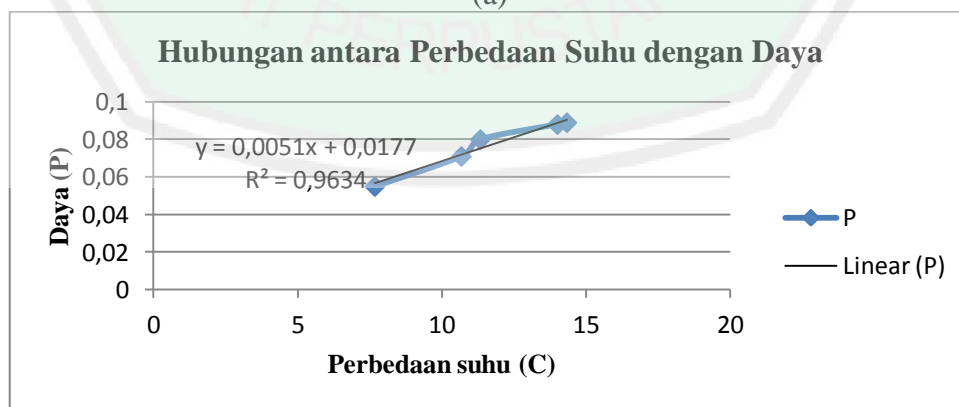
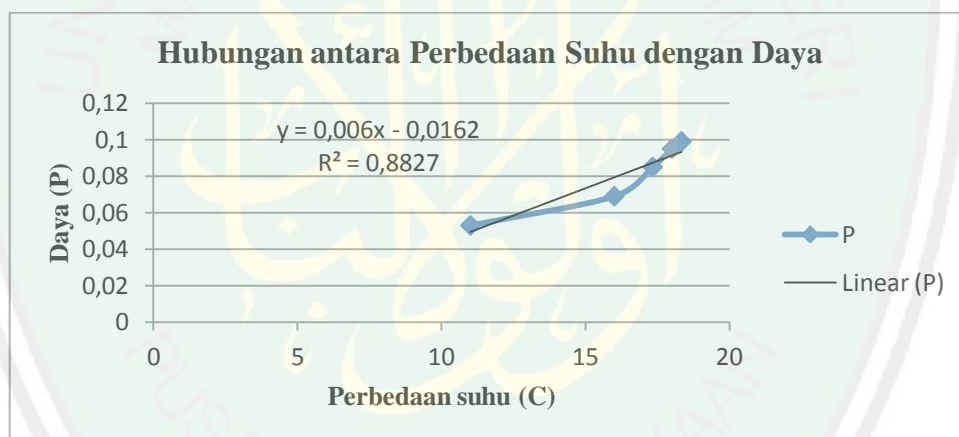
No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	ΔT (°C)	V (Volt)	I (mA)	P (Watt)
1	PVC rangkaian seri, r = 30 cm R= 120 ohm	2	49	36,67	12,33	0,28	0,73	0,204
		4	68	53	15	0,36	0,94	0,338
		6	78,33	61,67	16,33	0,42	1,08	0,454
		8	84,67	68	16,67	0,45	1,15	0,518
		10	88,67	71,67	17	0,45	1,17	0,527
2	PVC rangkaian seri, r = 50 cm R= 120 ohm	2	44,67	36,67	8	0,22	0,70	0,154
		4	61	48,33	12	0,27	0,83	0,224
		6	70,67	57,33	13,33	0,28	0,88	0,266
		8	78,33	63	15,33	0,31	0,96	0,298
		10	81	65,67	15,33	0,30	0,93	0,279



Gambar 4.9 Grafik hubungan perbedaan suhu dengan daya pada rancangan berbahan PVC dengan peltier dirangkai seri pada jarak dengan lampu halogen sejauh 30 cm (a), dan 50 cm (b)

Tabel 4.8 Data pengujian sistem pada rancangan berbahan *Polivinil Clorida* (PVC) dengan peltier paralel setelah di rata-rata dari 3 kali pengulangan.

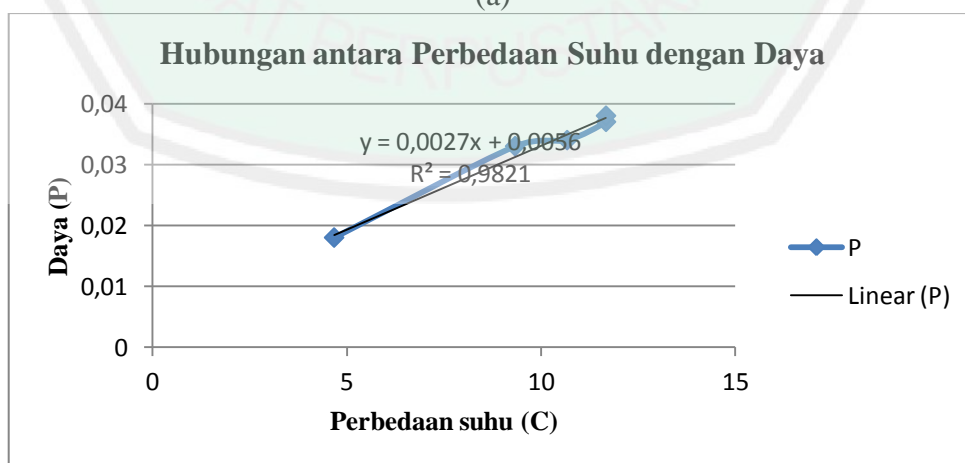
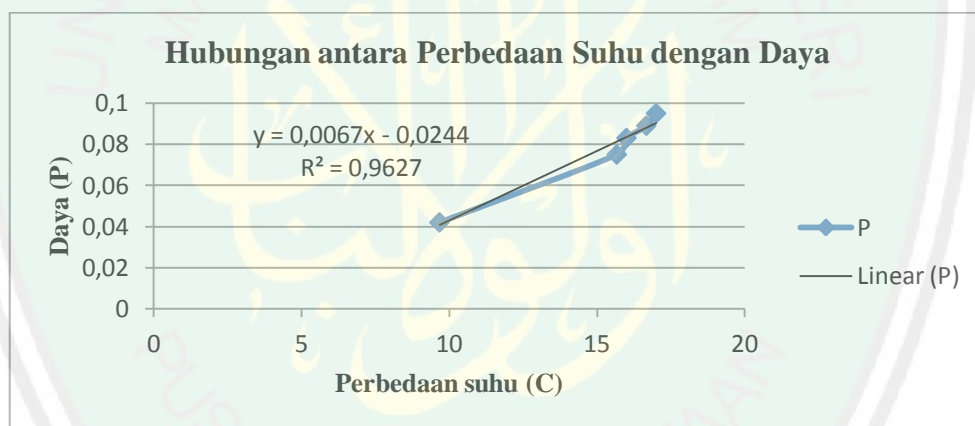
No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	ΔT (°C)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)
1	PVC rangkaian paralel, r = 30 cm R = 120 ohm	2	48	37	11	0,13	0,41	0,053
		4	67,67	51,67	16	0,15	0,46	0,069
		6	79,33	60,33	18,33	0,18	0,55	0,099
		8	83	65	18	0,18	0,53	0,095
		10	87,67	70,33	17,33	0,17	0,50	0,085
2	PVC rangkaian paralel, r = 50 cm R = 120 ohm	2	45,33	37,67	7,67	0,13	0,42	0,055
		4	60,33	49,67	10,67	0,15	0,47	0,071
		6	67,33	56	11,33	0,17	0,52	0,088
		8	76,33	62,33	14	0,17	0,52	0,088
		10	79,33	65	14,33	0,16	0,50	0,080



Gambar 4.10 Grafik hubungan perbedaan suhu dengan daya pada rancangan berbahan PVC dengan peltier dirangkai paralel pada jarak dengan lampu halogen sejauh 30 cm (a), dan 50 cm (b)

Tabel 4.9 Data pengujian sistem pada rancangan berbahan *Polivinil Clorida* (PVC) dengan peltier tunggal setelah di rata-rata dari 3 kali pengulangan

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	ΔT (°C)	V (Volt)	I (mA)	P (Watt)
1	PVC rangkaian tunggal, r = 30 cm R = 120 ohm	2	47,33	37,67	9,67	0,12	0,36	0,042
		4	67	50,67	16	0,17	0,49	0,083
		6	78,67	59,67	16,67	0,17	0,51	0,089
		8	82	64,67	17	0,18	0,53	0,095
		10	86,33	70,67	15,67	0,16	0,47	0,075
2	PVC rangkaian tunggal, r = 50 cm R = 120 ohm	2	37,33	32,67	4,67	0,08	0,23	0,018
		4	49,67	40,33	9,33	0,11	0,30	0,033
		6	58	47	10,67	0,11	0,31	0,034
		8	61,33	49,67	11,67	0,12	0,31	0,037
		10	63,33	51,67	11,67	0,12	0,31	0,037



Gambar 4.11 Grafik hubungan perbedaan suhu dengan daya pada rancangan berbahan PVC dengan peltier tunggal pada jarak dengan lampu halogen sejauh 30 cm (a), dan 50 cm (b)

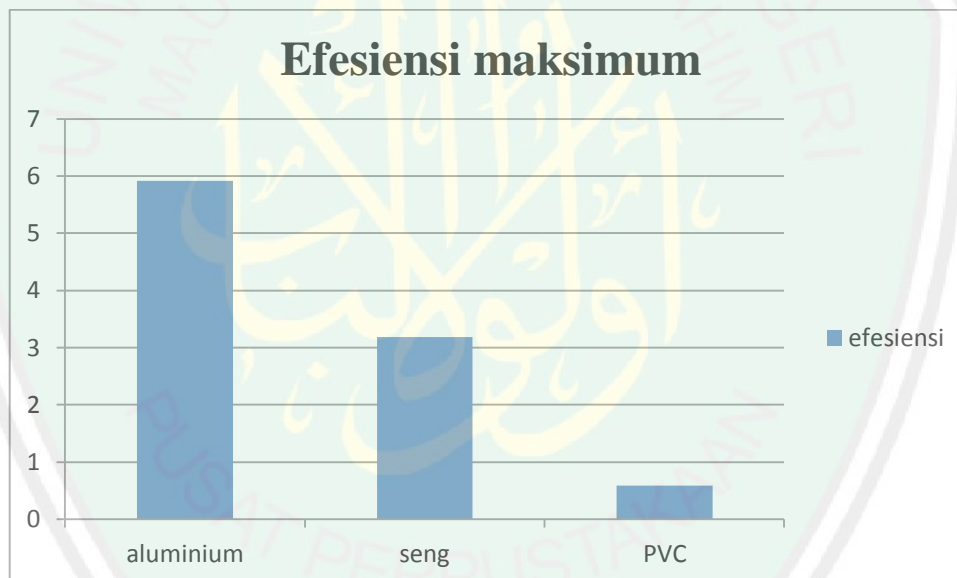
#### 4.2.4 Efisiensi Sistem Generator Termoelektrik

Untuk menentukan efisiensi maksimum dari sistem generator termoelektrik dapat digunakan rumus berikut:

$$E = \left( \frac{I \times V}{T_h} \right) \times 100\% \quad 4.1$$

Tabel 4.10 Efisiensi maksimum dari rancangan sistem generator termoelektrik

No	Bahan	Th (°C)	V	I	Efisiensi (%)
1	Aluminium	64	3,35	5,95	5,91
2	Seng	73,33	2,04	5,40	3,18
3	PVC	88,67	0,45	1,17	0,59



Gambar 4.12 Efisiensi maksimum dari rancangan sistem generator termoelektrik terhadap semua variasi perlakuan terhadap bahan.

Grafik tersebut menjelaskan bahwa, rancangan sistem generator menggunakan bahan aluminium memiliki efisiensi lebih tinggi yaitu sebesar 5,91 % dibandingkan dengan sistem yang menggunakan bahan seng yang hanya memiliki efisiensi sebesar 3,18 %, dan PVC memiliki efisiensi sebesar 0,59 %.

### 4.3 Pembahasan

Hubungan antara perbedaan temperatur dengan output daya yang dihasilkan oleh rancangan sistem generator termoelektrik dengan menggunakan bahan aluminium (Cu), seng (Zn), dan *Polivinil Clorida* (PVC) dalam masing-masing 3 variasi rangkaian peltier dapat dilihat pada Gambar 4.3 sampai gambar 4.11. Gambar 4.3 (a dan b) menggunakan rancangan berbahan aluminium dengan peltier yang dirangkai secara seri, gambar 4.4 (a dan b) menggunakan rancangan dengan peltier yang dirangkai secara parallel, gambar 4.5 (a dan b) menggunakan rancangan dengan peltier yang dirangkai secara tunggal, dengan variasi jarak masing-masing 15 cm dan 30 cm dari lampu halogen selama 10 menit. Gambar 4.5 sampai gambar 4.7 adalah grafik hubungan antara perbedaan suhu dengan daya yang dihasilkan oleh rancangan berbahan seng. Gambar 4.8 sampai gambar 4.10 adalah grafik uji hubungan antara perbedaan suhu dengan daya pada rancangan dengan bahan Polivinil Clorida (PVC). Pada PVC diberikan perlakuan dengan variasi jarak antara generator termoelektrik dan lampu halogen sejauh 30 cm dan 50 cm, hal ini dikarenakan ketika diberikan jarak 15 cm, PVC mengalami *over heat* sehingga menyebabkan plat PVC meleleh.

Hasil grafik-grafik tersebut dapat dilihat bahwa hubungan antara perbedaan suhu dengan daya yang dihasilkan oleh sistem generator termoelektrik berbanding lurus dan bersifat linier. Ketika rancangan menghasilkan perbedaan suhu yang semakin besar, maka daya yang dihasilkan juga semakin besar. Gambar 4.3 menjelaskan bahwa pada rancangan dengan duah buah peltier yang dirangkai secara seri, terlihat bahwa pada pengujian sistem dengan jarak generator

termoelektrik dan lampu halogen sejauh 15 cm, suhu panas lebih cepat merambat ke medium panas rancangan dibandingkan dengan pengujian dengan jarak 50 cm. hal ini menyebabkan perbedaan efektifitas output daya yang dihasilkan lebih besar. Gambar 4.4 menjelaskan bahwa rancangan dengan dua buah peltier dirangkai secara paralel dengan perbandingan perbedaan suhu yang hampir sama dengan rancangan dengan peltier yang dirangkai secara seri, tetapi menghasilkan arus, tegangan dan daya yang lebih sedikit. Gambar 4.5 menjelaskan bahwa rancangan dengan hanya menggunakan satu peltier (tunggal), menghasilkan arus maksimal sebesar 3,67 mA, dan tegangan maksimal sebesar 1,45 volt pada pengujian sistem dengan jarak generator termoelektrik dan lampu halogen sejauh 15 cm.

Gambar 4.6 sampai gambar 4.8 menunjukkan bahwa hubungan antara perbedaan suhu dengan daya yang dihasilkan oleh rancangan berbahan seng. Pengujian sistem termoelektrik dengan menggunakan plat seng, nilai arus dan tegangan yang dihasilkan lebih sedikit daripada rancangan berbahan aluminium, hal ini dipengaruhi sifat konduktivitas panas dari tiap bahan, dimana konduktivitas aluminium lebih besar dari seng. Nilai arus maksimal yang dihasilkan pada rancangan berbahan seng dari tiga variasi rangkaian peltier adalah 5,40 mA dan tegangan maksimal sebesar 2,04 volt dengan daya maksimal sebesar  $11,016 \times 10^{-2}$  watt atau 0,11016 watt pada rancangan dengan peltier yang dirangkai seri.

Gambar 4.9 sampai gambar 4.11 menunjukkan hubungan antara perbedaan suhu dengan daya yang dihasilkan pada rancangan sistem generator termoelektrik



dengan menggunakan bahan *Polyvinil Clorida* (PVC). Rancangan dengan peltier yang dirangkai secara seri pada perbedaan suhu sebesar 15,33 °C menghasilkan tegangan maksimal sebesar 0,31 volt, arus maksimal sebesar 0,96 mA dengan daya sebesar 0,298 Watt. Rancangan sistem dengan peltier yang dirangkai secara paralel pada perbedaan suhu 18 °C menghasilkan tegangan maksimal sebesar 0,18 volt, arus maksimal sebesar 0,54 mA, dan daya maksimal sebesar 0,970 Watt. Kemudian rancangan dengan peltier tunggal pada perbedaan suhu 17 °C menghasilkan tegangan maksimal sebesar 0,18 volt, arus maksimal sebesar 0,53 mA, dengan daya sebesar 0,950 Watt. Pada rancangan sistem berbahan PVC ini menghasilkan keluaran tegangan, arus, maupun daya yang lebih sedikit dibandingkan dengan bahan aluminium dan seng, meskipun menghasilkan perbedaan suhu yang besar. Hal ini disebabkan karena PVC yang berbahan dasar plastik, sehingga ketika diberikan panas dengan suhu yang tinggi, maka struktur dari PVC akan berubah (PVC akan meleleh), sehingga ketika PVC meleleh, akan ada celah antara PVC dengan peltier sehingga suhu tidak tersalurkan dengan baik.

Hasil penelitian pada setiap pengujian sistem pada menit ke-10, perbedaan suhu dari sistem semakin sedikit, hal ini disebabkan karena *colling plate* rancangan mengalami pemanasan sehingga suhu di sisi dingin mendekati suhu di sisi panas, dan air yang dimasukkan dalam kotak aluminium menjadi panas juga, sehingga arus dan tegangan serta daya listrik yang dihasilkan juga mengalami penurunan.

Hasil-hasil penelitian tersebut menjelaskan bahwasannya semakin dekat jarak antara lampu halogen dengan sistem generator termoelektrik, maka semakin

cepat pula *hot plate* mengalami pemanasan yang menyebabkan perbedaan suhu antara *hot plate* dengan *cooling plate* lebih besar, sehingga dapat menghasilkan arus dan tegangan serta daya listrik yang lebih besar pula. Perbedaan rancangan sistem generator termoelektrik pada tiga variasi rangkaian peltier, ketika dua buah peltier yang dirangkai secara seri menghasilkan arus dan tegangan serta daya yang lebih besar, dimana tegangan maksimal sebesar 1,55 volt dan tegangan maksimal sebesar 3,35 volt, arus minimum sebesar 4,01 mA dan arus maksimal sebesar 5,95 mA, serta daya maksimal  $19,932 \times 10^{-2}$  watt atau 0,199 watt. Daya listrik yang dihasilkan oleh sistem generator termoelektrik tidak terlalu besar, maka perlu penambahan beberapa peltier untuk menghasilkan daya listrik yang lebih besar. Jika 2 buah peltier dirangkai secara seri menghasilkan tegangan sebesar 3,35 volt, maka untuk mendapatkan tegangan sebesar 12 volt, harus menambahkan 6 buah peltier lagi yang dirangkai secara seri.

Berdasarkan analisis dari modul termoelektrik yang digunakan, dapat diketahui bahwa semakin tinggi input energi panas yang masuk ke dalam sebuah modul termoelektrik maka akan semakin besar pula output arus dan tegangan listrik keluaran yang dihasilkan. Pada kasus pengujian sistem ini, ketika cahaya lampu halogen dipancarkan ke aluminium pada jarak 15 cm dengan peltier yang dirangkai secara seri, perbedaan suhu dari sistem sebesar  $12,67^{\circ}\text{C}$  menghasilkan tegangan listrik keluaran maksimal sebesar 3,35 V. Energi panas yang mengalir pada aluminium berinteraksi dengan modul termoelektrik. Keluaran tegangan listrik ini terjadi karena adanya perbedaan suhu antara sisi panas dengan sisi dingin dari modul termoelektrik (peltier) tersebut. Suhu pada bagian *colling palte*

pasti akan mengalami panas, untuk mengurangi pemansan pada bagian *colling plate* perlu ditambahkan air.

Penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai salah satu contoh untuk menciptakan sebuah alat yang dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif, dengan proses yang sederhana dan dari bahan-bahan yang bisa dijangkau oleh semua orang, apabila dibuat dan dikembangkan dalam skala pabrik, akan menghasilkan sistem yang lebih bagus dan sangat efisien. Manusia memiliki akal untuk mengembangkan potensi yang ada dalam dirinya untuk mengembangkan potensi alam yang ada di sekitarnya, kemudian bisa dimanfaatkan menjadi sebuah sistem yang sangat fungsional untuk manusia lainnya. Allah SWT berfirman dalam Surat al-Baqarah ayat 269:

يُؤْتِي الْحِكْمَةَ مَنْ يَشَاءُ ۚ وَمَنْ يُؤْتَ الْحِكْمَةَ فَقَدْ أُوتِيَ خَيْرًا كَثِيرًا ۗ وَمَا يَذَّكَّرُ إِلَّا أُولُو الْأَلْبَابِ

“Dia Memberikan hikmah kepada siapa yang Dia Kehendaki. Barangsiapa diberi hikmah, sesungguhnya dia telah diberi kebaikan yang banyak. Dan tidak ada yang dapat mengambil pelajaran kecuali orang-orang yang mempunyai akal sehat.” (Q.S. al-Baqarah: 269).

Dalam Tafsir Ibnu Katsir, ayat tersebut dijelaskan perkalimat, diantaranya: *Yu'til hikmata may yasyā-u* (Allah Menganugerahkan hikmah kepada siapa yang Dikehendaki-Nya), yakni Menganugerahkan kenabian kepada Muhammad saw.. Ada yang berpendapat, menganugerahkan penafsiran al-Quran. Menurut pendapat yang lain, kesesuaian antara perkataan, perbuatan, dan pemikiran. *Wa may yu'tal hikmata* (dan barangsiapa yang dianugerahi hikmah), yakni kesesuaian antara perkataan, perbuatan, dan pemikiran. *Fa qad ūtiya* (berarti ia benar-benar telah

dianugerahi) dan dikaruniai. *Khairang katsīrā, wa mā yadz-dzakkaru* (karunia yang banyak. Dan tiada yang dapat mengambil pelajaran), yakni tak ada yang dapat mengambil pelajaran dari perumpamaan-perumpamaan al-Quran. Menurut pendapat yang lain, tidak ada yang dapat mengambil pelajaran dari hikmah itu. *Illā ulul albāb* (kecuali orang-orang yang berakal), yakni orang-orang yang mempunyai nalar.

Dari ayat tersebut menunjukkan bahwa Allah menganugerahkan hikmah kepada siapapun yang dikehendaki-Nya. Barang siapa yang dianugerahi hikmah, berarti ia benar-benar telah dianugerahi karunia yang banyak. Dan tiada yang dapat mengambil pelajaran kecuali orang-orang yang berakal.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Penelitian tentang rancang bangun sistem generator termoelektrik sederhana sebagai pembangkit energi listrik dengan menggunakan metode *seebeck effect* ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengaruh perbedaan temperatur antara *hot plate* dengan *cooling plate* terhadap daya yang dihasilkan dari rancangan tersebut sangat berkaitan, dimana ketika semakin perbedaan temperatur (T) antara sisi dingin dengan sisi panas dari rancangan, maka semakin besar pula arus dan tegangan serta daya listrik yang dihasilkan.
2. Perbedaan antara rancangan generator termoelektrik yang menggunakan bahan *Polivinil Clorida* (PVC), bahan aluminium, dan bahan seng terhadap output daya listrik yang dihasilkan oleh rancangan tersebut. Dari ketiga bahan tersebut, ketika dua buah peltier yang dirangkai secara seri menghasilkan  $V_{maks}$  sebesar 3,35 volt, dan daya listrik sebesar 0,199 watt ketika plat aluminium menyerap panas lampu halogen dengan perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin sebesar  $12,67\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pada rangkaian paralel sebesar 1,11 volt, pada peltier tunggal sebesar 1,45 volt. Sedangkan untuk rangkaian berbahan seng menghasilkan tegangan maksimal sebesar 2,04 volt pada rangkaian seri, 0,90 volt pada rangkaian paralel, dan 1,15 volt pada peltier tunggal. Pada PVC menghasilkan tegangan maksimal sebesar 0,45 volt pada rangkaian seri, 0,18 volt pada

rangkaian paralel, dan 0,12 pada peltier tunggal. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa rancangan yang mampu menghasilkan tegangan dan daya listrik yang lebih besar adalah rancangan berbahan aluminium dengan peltier yang dirangkai secara seri.

## 5.2 Saran

Saran untuk penelitian ini yang bisa penulis sampaikan kepada pembaca, insulator yang digunakan adalah air, ketika cahaya lampu halogen dipancarkan maka air itu lama kelamaan akan panas, sehingga akan mempengaruhi suhu di sisi dingin. Agar suhu dingin tetap dalam keadaan dingin, airnya diganti dengan yang baru atau bisa ditambahkan dengan es batu. Semakin rendah suhu di sisi dingin, dan semakin panas suhu di sisi panas, maka akan semakin besar arus dan tegangan serta daya listrik yang dihasilkan. Semoga bermanfaat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andriboko, Armansyah, dkk. 2015. *Peningkatan Kinerja Komputer Dengan Kestabilan Temperatur Terkendali Berbasis Mikrokontroler*. Manado: Jurusan Teknik Elektro-FT, UNSRAT.
- Banzi, Massimo. 2009. *Getting Started with Arduino*. USA: Dale Doughety
- Ekajati, Murdaka, B, dan Priyambodo, Tri Kuntoro. 2010. *Fisika Dasar Listrik Magnet, Optika, Fisika Modern*. Yogyakarta: Andi
- F. Keith dan A. Priyono.1998. *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas, edisi ke-3*. Jakarta: Erlangga
- G. Min, D.M. Roe, 1994. *Handbook of thermoelectrics, Peltier devices as generator*, CRC Press LLC, Florida, 1994, p.479.
- Giancoli, Douglas, C. 2001. *Fisika Jilid 1*. Jakarta: Erlangga
- Giancoli, Douglas, C. 2001. *Fisika Edisi Kelima Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Katsir, Ibnu. 2016. <http://pustakaimamsyafii.com/tafsir-ibnu-katsir-qs-an-nur-35.html>. Diakses pada tanggal 27 November 2017.
- Klara, Sherly dan Sutrisno, 2016. *Pemanfaatan Panas Gas Buang Mesin Diesel Sebagai Energi Listrik*. Volume 14, No. 1. Hal. 113-128. Makassar
- Koestur, Raldi Artono. 2002. *Perpindahan Kalor Untuk Mahasiswa Teknik*. Jakarta: UI Press
- Lovell M. C., Avery A. J., Vernon M. W. 1981. *Physical Properties of Material*. Cambridge: Van Nostrand Reinhold Company University Press
- N. Putra, H. Hardanu, P.A. Sugiarto, F.N. Iskandar. 2007. *Proceedings of 10th Quality in Research*. Depok: IMM-28.
- Nybakken, J. W. 1988. *Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologis*. Jakarta: Gramedia.
- Pramesti, R. 2007. *Mata Kuliah Biologi Dasar*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro.
- Putra, Nandy. Dkk. 2009. *Potensi Pembangkit Daya Termoelektrik Untuk Kendaraan Hibrid*. VOL. 13, NO. 2. MAKARA. Depok: Fakultas Teknik, UI.

- Putranto, dody. 2009. *Polivinil Clorida*.  
<http://kimiadahsyat.blogspot.co.id/2009/07/polivinilclorida-pvc.html>  
Diakses pada tanggal 1 Februari 2017
- Sardjito. 2002. *Fisika Terapan untuk Politeknik Fisika dan Termofisika*.  
Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian pada masyarakat:  
Departemen Pendidikan Nasional
- Sears, F. W. 1949. *Optics*. Japan: Addison-Wesley Publishing Company.
- Soedjo, Peter. 1992. *Azas-azas Ilmu Fisika jilid 3 Optika*. Yogyakarta: Gajah  
Mada University Press.
- Sugiyanto, Soeadgihardo Siswantoro. 2014. *Pemanfaatan Panas Pada Kompor  
Gas Lpg Untuk Pembangkitan Energi Listrik Menggunakan Generator  
Thermoelektrik*. Volume 7 Nomor 2. Hal. 100-105. Yogyakarta.
- Sunardi, dkk. 2012. *Fisika Berbasis Pendidikan Karakter Bangsa*. Bandung:  
Srikandi Empat Widya Utama.
- Tippler, Paul A. 2001. *Fisika untuk Sain dan Teknik Edisi ke-3 jilid 2*. Jakarta:  
Erlangga.
- Vasquez, J., dkk. 2002. *State of the Art of Thermoelectric Generator Based on  
Heat Recovered from the Exhaust Gases of Automobiles*. Spain: Pamplona
- Vogel. 1990. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimakro*.  
Jakarta: Kalman Media Pustaka.
- Wibiyanti, Puspa Indah. 2008. *Kajian Pencahayaan pada Industri Kecil Pakaian  
Jadi dan Pembuatan Tas di Perkampungan Industri Kecil*. FKM UI.
- Yulianti, Devi. 2016. *Analisis Kelistrikan Sel Volta Memanfaatkan Logam  
Bekas*. Lampung: Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan IPA Universitas  
Lampung.
- Zeng, Y. J., dkk. 2007. *Study on the Hall Effect and Photoluminescence of N-  
Doped P-Type ZnO Thin Film*. Materials Letters. Vol. 61 pp.41-44.





# LAMPIRAN

**Lampiran 1: Data Hasil Pengamatan**Data pengujian (rangkaian seri,  $r = 15 \text{ cm}$ , dan  $R = 120 \text{ ohm}$ )

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tc ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	V (Volt)	I (mA)
1	Aluminium	2	39	34	5	1,62	4,20
		4	51	41	10	2,19	5,62
		6	59	46	13	2,41	6,18
		8	64	51	13	2,43	6,22
		10	67	55	12	2,33	5,98
2	Aluminium	2	38	33	5	1,52	3,89
		4	50	40	10	2,15	5,48
		6	59	46	13	2,32	5,96
		8	64	51	13	2,35	5,82
		10	67	56	11	2,15	5,48
3	Aluminium	2	39	34	5	1,53	3,93
		4	50	42	8	2,12	5,33
		6	60	48	12	2,24	5,72
		8	64	52	12	2,27	5,81
		10	67	57	10	2,19	5,54

Data pengujian (rangkaian seri,  $r = 50 \text{ cm}$ , dan  $R = 120 \text{ ohm}$ )

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tc ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	V (Volt)	I (A)
1	Aluminium	2	32	31	1	0,24	0,57
		4	38	35	3	0,51	1,28
		6	41	36	5	0,62	1,45
		8	43	38	5	0,64	1,54
		10	45	40	5	0,63	1,52
2	Aluminium	2	33	30	3	0,25	0,57
		4	38	35	3	0,49	1,29
		6	41	36	5	0,58	1,40
		8	43	37	6	0,63	1,53
		10	46	41	5	0,62	1,50
3	Aluminium	2	33	31	2	0,26	0,59
		4	38	35	3	0,50	1,28
		6	41	37	4	0,60	1,41
		8	44	38	6	0,64	1,55
		10	46	40	6	0,63	1,52

Data pengujian (rangkaian paralel,  $r = 15 \text{ cm}$ , dan  $R = 120 \text{ ohm}$ )

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tc ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	V (Volt)	I (A)
1	Aluminium	2	40	33	7	0,68	1,98
		4	54	41	13	0,99	2,70
		6	63	47	16	1,12	3,06
		8	68	53	15	1,12	3,04
		10	71	57	14	1,05	2,88
2	Aluminium	2	40	35	5	0,67	1,81
		4	54	42	12	0,99	2,60
		6	63	49	14	1,06	2,74
		8	67	54	13	1,09	2,81
		10	72	59	13	1,06	2,72
3	Aluminium	2	38	33	5	0,74	2,14
		4	52	40	12	1,07	2,88
		6	60	46	14	1,15	3,08
		8	66	52	14	1,15	3,07
		10	70	58	12	1,14	3,01

Data pengujian (rangkaian paralel,  $r = 50 \text{ cm}$ , dan  $R = 120 \text{ ohm}$ )

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tc ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	V (Volt)	I (A)
1	Aluminium	2	36	34	2	0,12	0,43
		4	40	37	3	0,14	0,55
		6	42	39	3	0,21	0,64
		8	44	40	4	0,21	0,66
		10	45	41	4	0,21	0,65
2	Aluminium	2	37	35	2	0,13	0,45
		4	40	37	3	0,14	0,55
		6	41	38	3	0,20	0,62
		8	44	40	4	0,21	0,66
		10	47	42	5	0,22	0,67
3	Aluminium	2	36	33	3	0,12	0,43
		4	39	36	3	0,14	0,54
		6	42	39	3	0,21	0,63
		8	45	40	5	0,22	0,66
		10	46	41	4	0,22	0,66

Data pengujian (rangkaian tunggal,  $r = 15 \text{ cm}$ , dan  $R = 120 \text{ ohm}$ )

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tc ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	V (Volt)	I (A)
1	Aluminium	2	44	33	11	0,91	2,40
		4	57	37	20	1,25	3,22
		6	62	41	21	1,36	3,51
		8	68	45	23	1,44	3,64
		10	73	48	25	1,42	3,63
2		2	43	31	12	0,94	2,46
		4	59	37	22	1,34	3,45
		6	68	41	27	1,46	3,75
		8	73	45	28	1,47	3,75
		10	77	48	29	1,44	3,67
3		2	44	37	7	0,85	2,24
		4	60	42	18	1,20	3,13
		6	65	48	17	1,41	3,57
		8	75	52	23	1,43	3,61
		10	77	55	22	1,39	3,50

Data pengujian (rangkaian tunggal,  $r = 50 \text{ cm}$ , dan  $R = 120 \text{ ohm}$ )

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tc ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	V (Volt)	I (A)
1	Aluminium	2	33	31	2	0,16	0,39
		4	39	35	4	0,32	0,76
		6	42	37	5	0,37	0,89
		8	43	38	5	0,39	0,92
		10	44	39	5	0,39	0,93
2		2	33	31	2	0,16	0,39
		4	39	35	4	0,32	0,76
		6	42	37	5	0,37	0,89
		8	43	38	5	0,39	0,92
		10	44	40	5	0,38	0,91
3		2	33	31	2	0,16	0,39
		4	39	35	4	0,32	0,76
		6	42	38	4	0,35	0,86
		8	43	38	5	0,39	0,92
		10	44	39	5	0,39	0,93

Data pengujian bahan seng (rangkaian seri,  $r = 15 \text{ cm}$ , dan  $R = 120 \text{ ohm}$ )

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tc ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	V (Volt)	I (A)
1	Seng	2	47	37	10	1,66	4,50
		4	63	45	18	1,98	5,23
		6	73	53	20	2,02	5,36
		8	77	58	19	1,99	5,33
		10	81	63	18	1,90	5,09
2	Seng	2	46	33	13	1,75	4,66
		4	64	44	20	2,02	5,30
		6	74	54	20	2,03	5,40
		8	77	59	18	2,04	5,46
		10	82	63	19	2,00	5,30
3	Seng	2	47	36	11	1,77	4,73
		4	64	43	21	2,03	5,38
		6	73	49	24	2,06	5,44
		8	79	54	25	2,02	5,36
		10	82	61	21	2,01	5,33

Data pengujian bahan seng (rangkaian seri,  $r = 50 \text{ cm}$ , dan  $R = 120 \text{ ohm}$ )

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tc ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	V (Volt)	I (A)
1	Seng	2	37	34	3	0,22	0,73
		4	44	40	4	0,29	0,90
		6	47	42	5	0,29	0,90
		8	48	43	5	0,28	0,87
		10	49	44	5	0,27	0,84
2	Seng	2	38	35	3	0,23	0,76
		4	43	40	3	0,29	0,90
		6	47	41	6	0,30	0,92
		8	48	43	5	0,29	0,89
		10	49	44	5	0,28	0,87
3	Seng	2	37	34	3	0,23	0,74
		4	43	40	3	0,29	0,91
		6	46	41	5	0,29	0,90
		8	48	42	6	0,28	0,88
		10	49	43	6	0,28	0,86

Data pengujian bahan seng (rangkaian paralel,  $r = 15$  cm, dan  $R = 120$  ohm)

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	$\Delta T$ (°C)	V (Volt)	I (A)
1	Seng	2	53	39	14	0,70	1,95
		4	74	49	25	0,82	2,20
		6	86	59	27	0,92	2,40
		8	87	59	28	0,93	2,50
		10	89	63	26	0,93	2,48
2	Seng	2	60	45	15	0,78	2,01
		4	78	53	25	0,85	2,32
		6	85	59	26	0,88	2,39
		8	89	62	27	0,89	2,40
		10	91	65	26	0,85	2,29
3	Seng	2	60	44	16	0,79	2,02
		4	78	53	25	0,85	2,33
		6	86	60	26	0,88	2,39
		8	89	62	27	0,89	2,40
		10	91	67	24	0,86	2,36

Data pengujian bahan seng (rangkaian paralel,  $r = 50$  cm, dan  $R = 120$  ohm)

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	$\Delta T$ (°C)	V (Volt)	I (A)
1	Seng	2	36	33	3	0,10	0,30
		4	43	40	3	0,13	0,40
		6	45	41	4	0,15	0,45
		8	47	42	5	0,15	0,46
		10	47	43	4	0,14	0,43
2		2	36	33	3	0,10	0,30
		4	43	40	3	0,13	0,40
		6	45	41	4	0,15	0,45
		8	47	42	5	0,15	0,46
		10	48	43	5	0,16	0,45
3		2	37	33	4	0,10	0,30
		4	43	39	4	0,13	0,40
		6	45	41	4	0,14	0,45
		8	47	42	5	0,15	0,46
		10	48	42	6	0,15	0,45

Data pengujian bahan seng (rangkaiannya tunggal,  $r = 15$  cm, dan  $R = 120$  ohm)

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	$\Delta T$ (°C)	V (Volt)	I (A)
1	Seng	2	46	38	8	0,87	2,32
		4	63	45	18	1,04	2,75
		6	71	51	20	1,08	2,85
		8	77	55	22	1,10	2,87
		10	81	58	23	1,09	2,86
2	Seng	2	46	37	9	0,90	2,40
		4	64	44	20	1,12	2,86
		6	73	49	24	1,16	2,95
		8	77	53	24	1,18	3,02
		10	79	57	22	1,13	2,87
3	Seng	2	45	36	9	0,91	2,43
		4	64	44	20	1,12	2,85
		6	72	48	24	1,16	2,99
		8	78	53	25	1,18	3,00
		10	79	58	21	1,12	2,81

Data pengujian bahan seng (rangkaiannya tunggal,  $r = 50$  cm, dan  $R = 120$  ohm)

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	$\Delta T$ (°C)	V (Volt)	I (A)
1	Seng	2	36	33	3	0,13	0,31
		4	42	39	3	0,17	0,53
		6	45	41	4	0,18	0,55
		8	46	42	4	0,18	0,56
		10	48	43	5	0,19	0,58
2	Seng	2	36	34	2	0,12	0,30
		4	43	40	3	0,17	0,53
		6	45	41	4	0,18	0,55
		8	46	42	4	0,18	0,56
		10	48	44	4	0,19	0,58
3	Seng	2	37	34	3	0,13	0,32
		4	42	39	3	0,17	0,53
		6	46	42	4	0,19	0,55
		8	47	43	4	0,19	0,56
		10	48	43	5	0,20	0,60

Data pengujian bahan PVC (rangkaian seri,  $r = 30$  cm, dan  $R = 120$  ohm)

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	$\Delta T$ (°C)	V (Volt)	I (A)
1	PVC	2	49	37	12	0,28	0,74
		4	68	52	16	0,36	0,95
		6	80	62	18	0,42	1,09
		8	84	68	16	0,45	1,15
		10	89	72	17	0,45	1,16
2	PVC	2	50	36	14	0,27	0,72
		4	68	54	14	0,35	0,94
		6	76	61	15	0,41	1,05
		8	85	68	17	0,45	1,15
		10	88	71	17	0,46	1,18
3	PVC	2	48	37	11	0,28	0,74
		4	68	53	15	0,36	0,95
		6	79	62	16	0,42	1,09
		8	85	68	17	0,45	1,15
		10	89	72	17	0,45	1,18

Data pengujian bahan PVC (rangkaian seri,  $r = 50$  cm, dan  $R = 120$  ohm)

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	$\Delta T$ (°C)	V (Volt)	I (A)
1	PVC	2	44	37	7	0,22	0,69
		4	61	49	12	0,27	0,82
		6	71	57	14	0,30	0,92
		8	78	62	16	0,31	0,96
		10	81	66	15	0,30	0,93
2		2	45	36	9	0,23	0,71
		4	61	49	12	0,27	0,82
		6	71	58	13	0,30	0,92
		8	78	64	14	0,31	0,96
		10	81	65	16	0,30	0,93
3		2	45	37	8	0,22	0,69
		4	61	47	12	0,28	0,85
		6	70	57	13	0,30	0,92
		8	79	63	16	0,31	0,96
		10	81	66	15	0,30	0,93



Data pengujian bahan PVC (rangkaian paralel,  $r = 30$  cm, dan  $R = 120$  ohm)

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	$\Delta T$ (°C)	V (Volt)	I (A)
1	PVC	2	48	37	11	0,13	0,41
		4	67	51	16	0,15	0,46
		6	78	58	18	0,17	0,52
		8	82	65	17	0,17	0,52
		10	88	72	16	0,16	0,50
2	PVC	2	48	37	11	0,13	0,41
		4	68	52	16	0,15	0,47
		6	80	61	19	0,18	0,55
		8	83	65	18	0,18	0,54
		10	88	71	17	0,17	0,51
3	PVC	2	48	37	11	0,13	0,41
		4	68	52	16	0,15	0,46
		6	80	62	18	0,17	0,53
		8	84	65	19	0,18	0,55
		10	87	74	13	0,17	0,50

Data pengujian bahan PVC (rangkaian paralel,  $r = 50$  cm, dan  $R = 120$  ohm)

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	$\Delta T$ (°C)	V (Volt)	I (A)
1	PVC	2	45	38	7	0,13	0,41
		4	60	50	10	0,15	0,46
		6	67	56	11	0,17	0,52
		8	75	62	13	0,17	0,52
		10	78	64	14	0,16	0,50
2	PVC	2	45	38	7	0,13	0,41
		4	61	50	11	0,15	0,46
		6	67	55	12	0,17	0,52
		8	77	63	14	0,17	0,52
		10	80	66	14	0,16	0,49
3	PVC	2	46	37	9	0,14	0,44
		4	60	49	11	0,16	0,49
		6	68	57	11	0,17	0,52
		8	77	62	15	0,18	0,52
		10	80	65	15	0,17	0,51

Data pengujian bahan PVC (rangkaiannya tunggal,  $r = 30$  cm, dan  $R = 120$  ohm)

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	$\Delta T$ (°C)	V (Volt)	I (A)
1	PVC	2	47	37	10	0,12	0,38
		4	66	50	16	0,17	0,49
		6	77	59	17	0,18	0,52
		8	81	64	17	0,18	0,54
		10	86	70	16	0,16	0,46
2	PVC	2	47	38	9	0,11	0,31
		4	68	51	16	0,17	0,48
		6	79	60	17	0,17	0,51
		8	82	65	17	0,18	0,52
		10	87	71	16	0,16	0,50
3	PVC	2	48	38	10	0,12	0,39
		4	67	51	16	0,17	0,49
		6	80	60	16	0,17	0,51
		8	83	65	17	0,18	0,53
		10	86	71	15	0,16	0,45

Data pengujian bahan PVC (rangkaiannya tunggal,  $r = 50$  cm, dan  $R = 120$  ohm)

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	$\Delta T$ (°C)	V (Volt)	I (A)
1	PVC	2	35	30	5	0,09	0,25
		4	48	37	11	0,11	0,31
		6	56	45	11	0,12	0,33
		8	60	48	12	0,12	0,32
		10	62	50	12	0,12	0,32
2	PVC	2	38	33	5	0,08	0,23
		4	50	42	8	0,10	0,28
		6	59	49	10	0,10	0,29
		8	62	51	11	0,11	0,30
		10	64	53	11	0,11	0,29
3	PVC	2	39	35	4	0,08	0,22
		4	51	42	9	0,11	0,30
		6	59	47	11	0,12	0,32
		8	62	50	12	0,12	0,32
		10	64	52	12	0,12	0,32

**Lampiran 2: Data Hasil Pengujian Setelah Dirata-Rata**

Data pengujian sistem pada Aluminium setelah di rata-rata.

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	$\Delta T$ (°C)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)
1	Aluminium rangkaian seri, r = 15 cm Dan R= 120 ohm	2	38,67	33,67	5	1.55	4,01	6,215
		4	50,33	41	9,33	2.15	5,48	11,782
		6	59,33	46,67	12,67	3.32	5.95	19,754
		8	64	51,33	12,67	3.35	5.95	19,932
		10	67	56	11	2.22	5.67	12,587
2	Aluminium rangkaian seri, r = 50 cm, R= 120 ohm	2	32,67	30,67	2	0,25	0,58	0,145
		4	38	35	3	0,50	1,28	0,640
		6	41	36,33	4,67	0,60	1,42	0,852
		8	43,33	37,67	5,67	0,64	1,54	0,986
		10	45,67	40,33	5,33	0,63	1,51	0,951
3	Aluminium rangkaian paralel, r = 15 cm, R= 120 ohm	2	39,33	33,67	5,67	0,70	1,98	1,386
		4	53,33	41	12,33	1,02	2,73	2,785
		6	62	47,33	14,67	1,11	2,96	3,286
		8	67	553	14	1,10	2,98	3,278
		10	71	58	13	1,08	2,87	3,099
4	Aluminium rangkaian paralel, r = 50 cm, R= 120 ohm	2	36,33	34	2,33	0,12	0,44	0,053
		4	39,67	36,67	3	0,14	0,55	0,077
		6	41,67	38,67	3	0,21	0,63	0,132
		8	44,33	40	4,33	0,21	0,66	0,139
		10	46	41,33	4,33	0,22	0,66	0,145
5	Aluminium rangkaian tunggal, r = 15 cm, R= 120 ohm	2	43,67	33,67	10	0,9	2,37	2,133
		4	58,67	38,67	20	1,26	3,27	4,120
		6	65	43,33	21,67	1,41	3,61	5,090
		8	72	47,33	24,67	1,45	3,67	5,321
		10	75,67	50,33	25,33	1,42	3,60	5,112
6	Aluminium rangkaian tunggal, r = 50 cm, R= 120 ohm	2	33	31	2	0,16	0,39	0,062
		4	39	35	4	0,32	0,76	0,243
		6	42	37,33	4,67	0,36	0,88	0,317
		8	43	38	5	0,39	0,92	0,359
		10	44	39,33	5	0,39	0,92	0,359

Data pengujian sistem pada Seng setelah di rata-rata.

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	$\Delta T$ (°C)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)
1	Seng rangkaian seri, r = 15 cm, R= 120 ohm	2	46,67	35,33	11,33	1,73	4,63	8,010
		4	63,67	44	19,67	2,01	5,30	10,653
		6	73,33	52	21,33	2,04	5,40	11,016
		8	77,67	57	20,67	2,02	5,38	10,868
		10	81,67	62,33	19,33	1,97	5,24	10,323
2	Seng rangkaian seri, r = 50 cm, R= 120 ohm	2	37,33	34,33	3	0,23	0,74	0,170
		4	43,33	40	3,33	0,29	0,90	0,261
		6	46,67	41,33	5,33	0,29	0,91	0,264
		8	48	42,67	5,33	0,28	0,88	0,247
		10	49	43,67	5,33	0,28	0,86	0,241
3	Seng rangkaian paralel, r = 15 cm, R= 120 ohm	2	57,67	42,67	15	0,76	0,75	1,512
		4	76,67	51,67	25	0,84	6,85	1,915
		6	85,67	59,33	26,33	0,89	7,18	2,127
		8	88,33	61	27,33	0,90	7,30	2,187
		10	90,33	65	25,33	0,88	7,31	2,094
4	Seng rangkaian paralel, r = 50 cm, R= 120 ohm	2	36,33	33	3,33	0,10	0,30	0,030
		4	43	39,67	3,33	0,13	0,40	0,052
		6	45	41	4	0,15	0,45	0,068
		8	47	42	5	0,15	0,46	0,069
		10	47,67	42,67	5	0,15	0,44	0,066
5	Seng rangkaian tunggal, r = 50 cm, R= 120 ohm	2	45,67	37	8,67	0,89	2,38	1,512
		4	63,67	44,33	19,33	1,09	2,28	1,915
		6	72	49,33	22,67	1,13	2,93	2,127
		8	77,33	53,67	23,67	1,15	2,96	2,187
		10	79,67	57,67	22	1,11	2,85	2,094
6	Seng rangkaian tunggal, r = 15 cm, R= 120 ohm	2	36,33	33,67	2,67	0,13	0,31	0,030
		4	42,33	39,33	3	0,17	0,53	0,052
		6	45,33	41,33	4	0,18	0,55	0,068
		8	46,33	42,33	4	0,18	0,56	0,069
		10	48	43,33	4,67	0,19	0,59	0,066

Data pengujian sistem pada PVC setelah di rata-rata.

No	Rancangan	Waktu (menit)	Th (°C)	Tc (°C)	$\Delta T$ (°C)	V (Volt)	I (A)	P (Watt)
1	PVC rangkaian seri, r = 30 cm, R= 120 ohm	2	49	36,67	12,33	0,28	0,73	0,204
		4	68	53	15	0,36	0,94	0,338
		6	78,33	61,67	16,33	0,42	1,08	0,454
		8	84,67	68	16,67	0,45	1,15	0,518
		10	88,67	71,67	17	0,45	1,17	0,527
2	PVC rangkaian seri, r = 50 cm, R= 120 ohm	2	44,67	36,67	8	0,22	0,70	0,154
		4	61	48,33	12	0,27	0,83	0,224
		6	70,67	57,33	13,33	0,30	0,92	0,276
		8	78,33	63	15,33	0,31	0,96	0,298
		10	81	65,67	15,33	0,30	0,93	0,279
3	PVC rangkaian paralel, r = 30 cm, R= 120 ohm	2	48	37	11	0,13	0,41	0,053
		4	67,67	51,67	16	0,15	0,46	0,069
		6	79,33	60,33	18,33	0,17	0,53	0,090
		8	83	65	18	0,18	0,54	0,097
		10	87,67	72,33	15,33	0,17	0,50	0,085
4	PVC rangkaian paralel, r = 50 cm, R= 120 ohm	2	45,33	37,67	7,67	0,13	0,42	0,055
		4	60,33	49,67	10,67	0,15	0,47	0,071
		6	67,33	56	11,33	0,17	0,52	0,088
		8	76,33	62,33	14	0,17	0,52	0,088
		10	79,33	65	14,33	0,16	0,50	0,080
5	PVC rangkaian tunggal, r = 30 cm, R= 120 ohm	2	47,33	37,67	9,67	0,12	0,36	0,042
		4	67	50,67	16	0,17	0,49	0,083
		6	78,67	59,67	16,67	0,17	0,51	0,089
		8	82	64,67	17	0,18	0,53	0,095
		10	86,33	70,67	15,67	0,16	0,47	0,075
6	PVC rangkaian tunggal, r = 50 cm, R= 120 ohm	2	37,33	32,67	4,67	0,08	0,23	0,018
		4	49,67	40,33	9,33	0,11	0,30	0,033
		6	58	47	10,67	0,11	0,31	0,034
		8	61,33	49,67	11,67	0,12	0,31	0,037
		10	63,33	51,67	11,67	0,12	0,31	0,037

### Lampiran 3 Perhitungan Koefisien Seebeck

Perhitungan koefisien seebeck dari sistem generator termoelektrik dengan tegangan keluaran maksimal dari masing-masing rancangan dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V = (\alpha_{XY}) \cdot (\Delta T)$$

1. Perhitungan koefisien seebeck pada sistem berbahan Aluminium dengan  $V_{\text{maks}}$  sebesar 3,35 volt, dan  $\Delta T$  sebesar 12,67 °C.

Jawab:

Diketahui:  $V = 3,35$  volt

$$\Delta T = 12,67 \text{ °C} + 273 = 285,67 \text{ °K}$$

Penyelesaian:

$$V = (\alpha_{XY}) \cdot (\Delta T)$$

$$3,35 = (\alpha_{XY}) \cdot (285,67)$$

$$\alpha_{XY} = \frac{3,35}{285,67}$$

$$\alpha_{XY} = 0,0117 \text{ volt/°K}$$

Jadi, koefisien seebeck pada sistem berbahan Aluminium adalah  $0,0117 \text{ volt/°C}$

2. Perhitungan koefisien seebeck pada sistem berbahan seng dengan  $V_{\text{maks}}$  sebesar 2,04 volt, dan  $\Delta T$  sebesar 21,33 °C.

Jawab:

Diketahui:  $V = 2,04$  volt

$$\Delta T = 21,33 \text{ °C} + 273 = 294,33 \text{ °K}$$

Penyelesaian:

$$V = (\alpha_{XY}) \cdot (\Delta T)$$

$$2,04 = (\alpha_{XY}) \cdot (294,33)$$

$$\alpha_{XY} = \frac{2,04}{294,33}$$

$$\alpha_{XY} = 0,0069 \text{ volt/°K}$$

Jadi, koefisien seebeck pada sistem berbahan seng (Zn) adalah  $0,0069 \text{ volt/°K}$ .

3. Perhitungan koefisien seebeck pada sistem berbahan Polivinil Clorida (PVC) dengan  $V_{maks}$  sebesar 0,45 volt, dan  $\Delta T$  sebesar 17 °C.

Jawab:

Diketahui:  $V = 0,45$  volt

$$\Delta T = 17 \text{ }^{\circ}\text{C} + 273 = 290 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Penyelesaian:

$$V = (\alpha_{XY}) \cdot (\Delta T)$$

$$0,45 = (\alpha_{XY}) \cdot (290)$$

$$\alpha_{XY} = \frac{0,45}{290}$$

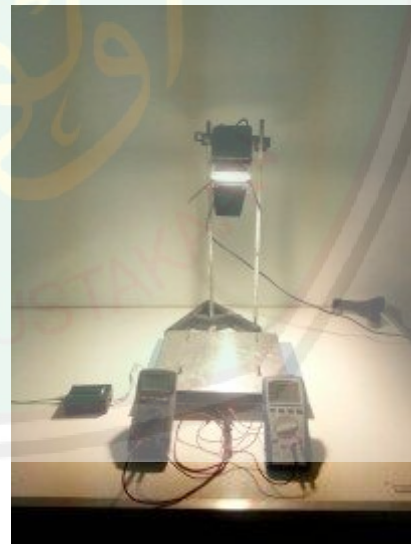
$$\alpha_{XY} = 0,0015 \text{ volt}/^{\circ}\text{K}$$

Jadi, koefisien seebeck pada sistem berbahan Polivinil Clorida (PVC) adalah  $0,026 \text{ volt}/^{\circ}\text{K}$

#### Lampiran 4 Foto Kegiatan Penelitian

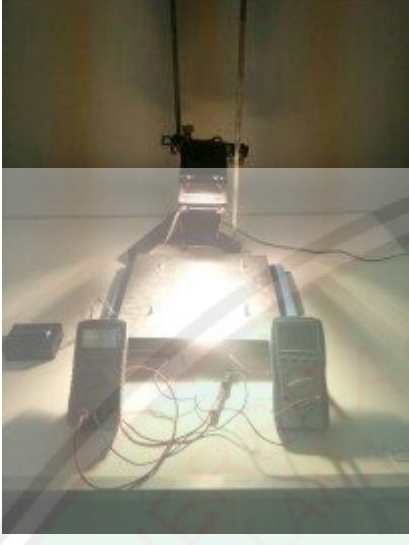


pengambilan data



Sistem generator termoelektrik







KEMENTERIAN AGAMA RI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

**BUKTI KONSULTASI SKRIPSI**

Nama : ANSYORI  
NIM : 13640004  
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika  
Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem Generator Termoelektrik Sederhana sebagai Pembangkit Energi Listrik dengan Menggunakan Metode *Seebeck Effect*  
Pembimbing I : Farid Samsu Hananto, M.T  
Pembimbing II : Umayyatus syarifah, M.A

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	4 Januari 2017	Konsultasi Pembimbing I ( Bab I, II, III)	
2	1 April 2017	Konsultasi Pembimbing I ( Proposal Skripsi)	
3	13 April 2017	Konsultasi Pembimbing I ( Proposal Skripsi, ACC)	
4	27 April 2017	Konsultasi Pembimbing I ( metode penelitian)	
5	24 Juli 2017	Konsultasi Pembimbing I ( Data Hasil Uji)	
6	21 Agustus 2017	Konsultasi Pembimbing I ( Bab IV, dan V)	
7	19 September 2017	Konsultasi Pembimbing I ( Bab IV, dan V, ACC)	
8	25- 29 September 2017	Konsultasi Pembimbing II ( Kajian Agama)	
9	1 November 2017	Konsultasi Pembimbing I ( Semua bab, ACC)	
10	2 November 2017	Konsultasi Pembimbing II ( Kajian Agama dan Semua Bab, ACC)	

Malang, 7 November 2017  
Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika,



Drs. Abdul Basid, M.Si  
NIP. 19650504 199003 1 003

