



TUGAS AKHIR - SF 141501

THERMOELEKTRIK GENERATOR UNTUK PENGISIAN AKI

**SHANTI CANDRA PUSPITA
NRP 1112100094**

Dosen Pembimbing
Drs. Bachtera Indarto, M.Si
Drs. Hasto Sunarno, M.Sc

DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - SF 141501

**THERMOELEKTRIK GENERATOR
UNTUK PENGISIAN AKI**

**Shanti Candra Puspita
NRP 1112 100 094**

**Dosen Pembimbing
Drs. Bachtera Indarto, M.Si
Drs. Hasto Sunarno, M.Sc**

**Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - SF 141501

**THERMOELECTRIC GENERATOR
FOR CHARGING STORAGE BATTERY**

**Shanti Candra Puspita
NRP 1112 100 094**

**Advisor
Drs. Bachtera Indarto, M.Si
Drs. Hasto Sunarno, M.Sc**

**Department of Physics
Faculty of Mathematics and Natural Science
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

**THERMOELEKTRIK GENERATOR
UNTUK PENGISIAN AKI**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Studi Fisika Instrumentasi dan Elektronika
Program Studi S-1 Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

SHANTI CANDRA PUSPITA
NRP 1112100094

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Drs. Bachtera Indarto, M.Si
NIP. 19610404 199102.1.001

.....
(Pembimbing 1)

Drs. Hasto Sunarno, M.Sc
NIP. 19560331 198003.1.001

.....
(Pembimbing 2)

SURABAYA
Januari 2017

THERMOELEKTRIK GENERATOR UNTUK PENGISIAN AKI

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada

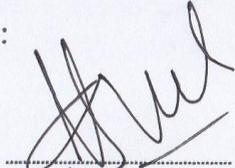
Bidang Studi Fisika Instrumentasi dan Elektronika
Program Studi S-1 Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

SHANTI CANDRA PUSPITA
NRP 1112100094

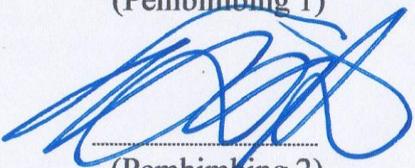
Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Drs. Bachtera Indarto, M.Si
NIP. 19610404 199102.1.001



(Pembimbing 1)

Drs. Hasto Sunarno, M.Sc
NIP. 19560331 198003.1.001



(Pembimbing 2)



THERMOELEKTRIK GENERATOR UNTUK PENGISIAN AKI

Nama : Shanti Candra Puspita
NRP : 1112100094
Jurusan : Fisika FMIPA ITS
Pembimbing : Drs. Bachtera Indarto, M.Si
Drs. Hasto Sunarno, M.Sc

Abstrak

Telah dilakukan penelitian Tugas Akhir dengan judul Thermoelektrik Generator untuk Pengisian Aki yang bertujuan untuk mengetahui dampak perbedaan *siel*d antara triplek dan alumunium pada sistem pemanas TEG, dan untuk mengetahui berapa waktu yang dibutuhkan untuk pengisian Aki sebagai pengaplikasian TEG. Fokus yang dilakukan pada penelitian kali ini adalah, pembuatan sistem pemanas yang lebih efisien. Hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan efisiensi modul TEG dalam menghasilkan tegangan. Pada penelitian kali ini diperoleh kesimpulan bahwa pembaruan sistem pemanas dengan menggunakan *siel*d Alumunium dapat meningkatkan tegangan keluaran Thermoelektrik Generator sebanyak 4,435% dari penelitian sebelumnya dengan menggunakan TEG tipe SP184827145SA. Sedangkan pada pengaplikasian pengisian Aki digunakan TGPR-1W-2V-21S yang dapat menghasilkan tegangan sebesar $6 \pm 0,05$ Volt dengan besar arus $0,43 \pm 0,015$ Ampere yang memerlukan lama waktu pengisian 10 jam.

Kata Kunci : *Thermoelektrik Generator, Sistem Pemanas, Aki.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

THERMOELECTRIC GENERATOR FOR CHARGING STORAGE BATTERY

Name : Shanti Candra Puspita
NRP : 1112100094
Major : Fisika FMIPA ITS
Advisor : Drs. Bachtera Indarto, M.Si
Drs. Hasto Sunarno, M.Sc

Abstract

A research of Thermoelectric Generator for Charging Storage Battery has been carried out, with a purpose to determine the impact sield difference between the plywood and aluminum on heating systems of TEG, and to know how much time it takes to charge storage battery as the application of TEG. The main idea of the research is making heating systems more efficient. The reason is improve the efficiency of the TEG modules to generate voltage. In the present study we concluded that the renewal of heating systems using aluminum sield can boost output voltage Thermoelectric Generator as much as 4,435% from previous studies using TEG SP184827145SA type. While the application of the charging storage batery used TGPR-1W-2V-21S can produce a large voltage $6\pm 0,05$ Volt with $0,43\pm 0,015$ Ampere current that requires long charging time of 10 hours.

Keywords : *Thermoelectric Generator, Heating System, Storage Battery.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, dengan ini penulis panjatkan puji syukur atas kehadiran-Nya, yang telah melimpahkan rahmat-Nya juga petunjuk-Nya atas nikmat iman, islam dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “*Thermoelektrik Generator untuk Pengisian Aki*” dengan maksimal. Dimana Tugas Akhir (TA) ini penulis buat untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Atas bantuan, dan juga bimbingan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan dengan baik. Oleh sebab itu, maka penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Ayah dan Ibu tercinta, Ermansyah Yuniartono dan Rinta Dyah, yang telah memberikan kasih sayang serta semua hal terbaik semenjak penulis lahir hingga saat ini.
2. Adik tercinta, Dhaniar Farah Rahmania yang selalu memberikan dukungan serta semangatnya.
3. Drs. Bachtera Indarto, M.Si dan Drs. Hasto Sunarno, M.Sc selaku dosen pembimbing serta penasehat Tugas Akhir yang telah bersedia meluangkan waktu dan tenaga serta memberi pengarahan selama penulis melakukan penelitian dan penyusunan laporan.
4. Prof.Dr.Bagus Jaya Santosa, S.U. selaku dosen wali penulis
5. Dr. Yono Hasi Pramono, M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
6. Dra. Melania Suweni Muntini, MT. Selaku Ketua Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi
7. Seluruh Civitas Laboratorium Elektronika yang selalu memberikan masukan saat diskusi. Dan teman-teman

Laboratorium Elektronika juga teman-teman penulis dibidang minat Instrumentasi yaitu Santi, Mas Abyan, Mas Gusti, Mas Samsul, Mas Alfian, Mas Fahrur, Tito, Asrofi, Badri, Viona, Ucup, Fauzy, Agung, dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

8. Rachmad Sudibyo Danu Saputro yang selalu ada, memberikan waktu serta semangat kepada penulis.
9. Sahabat-sahabat penulis yaitu Gita Dwi Prastiwi, Dita Aulia, Haiyina, Venny Revianty, Linahtadiya Andiani, Narendra, Elsa Monica, Retno Mundi, Sukma Atma, Shofia Karima, Ernes Dwina P, yang selalu memberikan semangat dan doanya kepada penulis.
10. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari akan adanya kekurangan dalam penulisan laporan ini karena keterbatasan pengetahuan yang dimiliki. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari seluruh pihak agar lebih baik di masa yang akan datang. Dan semoga laporan penelitian Tugas Akhir ini dapat berguna dan dimanfaatkan dengan baik serta menjadi sarana pengembangan kemampuan ilmiah bagi semua pihak yang bergerak dalam bidang Elektronika dan Instrumentasi. Aamiin Ya Rabbal Alaamiin.

Surabaya, Januari
2017

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---------------------------------------|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| COVER PAGE | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| ABSTRAK | iv |
| ABSTRACT | vi |
| KATA PENGANTAR | viii |
| DAFTAR ISI | x |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvi |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.4 Batasan Masalah | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 4 |
| | |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 7 |
| 2.1 Thermoelektrik | 7 |
| 2.2 Efek Seebeck..... | 11 |
| 2.3 Efek Peltier..... | 13 |
| 2.4 Efek Thomson..... | 14 |
| 2.5 Prinsip Kerja Thermoelektrik..... | 14 |
| 2.6 Perpindahan Panas | 15 |
| 2.6.1 Konduksi | 16 |
| 2.6.2 Konveksi | 16 |
| 2.7 Tegangan, Arus dan Daya | 17 |
| 2.8 Baterai atau Aki | 19 |
| 2.9 Sensor Arus | 20 |
| 2.10 Sensor Tegangan | 21 |
| 2.11 Arduino Uno | 22 |
| | |
| BAB III METODOLOGI | 23 |

| | | |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1 | Alat dan Bahan | 23 |
| 3.2 | Prosedur Eksperimen | 23 |
| 3.2.1 | Perancangan Umum Sistem | 23 |
| 3.2.2 | Perancangan Alat | 27 |
| 3.2.2.1 | Sistem Pemanas | 27 |
| 3.2.2.2 | Sistem Pendingin..... | 30 |
| 3.2.2.3 | Sistem Alat Ukur..... | 30 |
| 3.2.2.4 | Pengisian Aki..... | 31 |
| 3.3 | Pengambilan Data | 32 |
| BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN | | 33 |
| 4.1 | Pengujian Sistem | 33 |
| 4.1.1 | Pengujian Sistem Pemanas | 33 |
| 4.2 | Karakterisasi Thermoelektrik Generator | 35 |
| 4.2.1 | Karakterisasi TEG SP184827145SA dengan sistem pemanas kedua | 35 |
| 4.2.2 | Pengujian TGPR-1W-2V-21S dengan sistem pemanas kedua | 39 |
| 4.3 | Pengisian Aki sebagai Aplikasi dari Thermoelektrik Generator | 41 |
| BAB V KESIMPULAN | | 45 |
| 5.1 | Kesimpulan | 45 |
| 5.2 | Saran | 45 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 47 |
| LAMPIRAN | | 49 |
| BIODATA PENULIS | | 65 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 | Susunan semikonduktor pada thermoelektrik | 7 |
| Gambar 2.2 | Prinsip kerja TEG | 9 |
| Gambar 2.3 | (a)Ilustrasi Efek Seebeck | 13 |
| | (b)Diagram Efek Seebeck pada dua logam yang berbeda yaitu logam A dan B | 13 |
| Gambar 2.4 | Aliran Hole dan Elektron pada suatu loop | 18 |
| Gambar 2.5 | Bagian-bagian Baterai (<i>Storage Battery</i>) | 20 |
| Gambar 2.6 | Sensor Arus ACS712 | 20 |
| Gambar 2.7 | Rangkaian Pembagi Tegangan | 22 |
| Gambar 2.8 | Board Arduino Uno | 22 |
| Gambar 3.1 | Gambaran Umum Keseluruhan Sistem | 24 |
| Gambar 3.2 | Diagram Alir Penelitian | 25 |
| Gambar 3.3 | Rancang Bangun Sistem | 26 |
| Gambar 3.4 | Sistem Pemanas 1 | 27 |
| Gambar 3.5 | Sistem Pemanas 2 | 28 |
| Gambar 3.6 | Titik acuan pengukuran homogenitas suhu pada Sistem Pemanas | 29 |
| Gambar 3.7 | Sistem Pendingin TEG | 30 |
| Gambar 3.8 | Sistem Alat Ukur | 30 |
| Gambar 3.9 | Aki 6 Volt 4,5 Ah | 31 |
| Gambar 3.10 | Diagram Alir Pengambilan Data | 32 |
| Gambar 4.1 | Pengukuran homogenitas suhu | 34 |
| Gambar 4.2 | Karakteristik TEG susun seri pada sistem pemanas kedua dengan $\Delta T=100^{\circ}\text{C}$ | 36 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.3 Karakteristik Sistem Pemanas kedua dengan $\Delta T=100^{\circ}\text{C}$ | 37 |
| Gambar 4.4 Kestabilan Sistem Pemanas kedua dalam mempertahankan suhu $\Delta T=100^{\circ}\text{C}$ | 38 |
| Gambar 4.5 Karakteristik Sistem Pemanas kedua dengan $\Delta T=124,5^{\circ}\text{C}$ | 39 |
| Gambar 4.6 Kestabilan Sistem Pemanas kedua dalam mempertahankan suhu $\Delta T=124,5^{\circ}\text{C}$ | 40 |
| Gambar 4.7 Kurva Pembebanan pada TGPR-1W-2V-21S | 41 |
| Gambar 4.8 Kurva Pengisian Aki | 42 |
| Gambar 4.9 Kurva Pengisian Aki dengan tegangan 6Volt | 42 |

DAFTAR TABEL

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 4.1. Hasil pengukuran suhu pada temperatur 100°C pada <i>Heater</i> | 34 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|-------------------------|----|
| Lampiran A | 49 |
| Lampiran B | 61 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Bab I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan sebuah kemampuan dalam melakukan kerja, energi sendiri adalah suatu obyek yang dapat berpindah akibat adanya reaksi fundamental, tetapi energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnakan. Kini ketersediaan energi di Indonesia semakin berkurang bahkan langka. Berkurangnya sumber energi ini penyebabnya adalah adanya ketidakseimbangan antara kebutuhan dengan jumlah energi yang tersedia. Semakin meningkatnya populasi penduduk dan taraf hidup masyarakat, maka mau tidak mau kebutuhan akan energi semakin banyak dan pastinya persediaan energi yang ada semakin berkurang bahkan tidak cukup untuk memenuhi permintaan. Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh Dewan Energi Dunia, ketahanan energi Indonesia saat ini berada di peringkat ke-69 dari 129 negara pada tahun 2014. Peringkat ini turun dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya. Pada tahun 2010 Indonesia berada di peringkat ke-29 sedangkan pada tahun 2011 turun ke peringkat 47. Aspek yang ditinjau dari Ketahanan energi meliputi tiga aspek yaitu ketersediaan sumber energi, keterjangkauan pasokan energi, dan kelanjutan pengembangan energi baru terbarukan. Selain itu beberapa tahun terakhir ini produksi minyak dalam negeri terus merosot, sedangkan permintaan minyak dalam negeri selalu meningkat. Hal ini disebabkan Indonesia terlalu bergantung pada hasil minyak bumi dibandingkan mengembangkan sumber energi lain. Dengan fakta yang ada bahwa cadangan minyak Indonesia tersisa hanya 3,7 miliar barrel dan hanya cukup untuk 11-12 tahun ke depan jika dikonsumsi 700.000-800.000 barrel per hari. Sedangkan kini konsumsi minyak Indonesia sudah mencapai 1,5 juta barrel per hari, hal ini secara tidak langsung mempercepat kelangkaan minyak di Indonesia (Kompas, Jakarta).

Pada perkembangan teknologi kini, banyak dicanangkan energi-energi alternatif dan energi baru

terbarukan untuk mengurangi dampak terjadinya pemanasan global. Seperti yang terjadi kini, pemanasan global telah menjadi bahan pokok pembicaraan para produsen energi. Untuk itu, dibutuhkan teknologi yang sangat ramah lingkungan agar dapat mengurangi dampak pemanasan global yang terjadi. Indonesia merupakan salah satu penyumbang emisi gas rumah kaca, hal ini disebabkan karena sektor energi Indonesia masih menggunakan Batubara sebagai bahan bakar pengolah minyak mentah menjadi BBM. Tercatat pada pendataan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan mengatakan bahwa pada tahun 2013, total emisi karbon dioksida dari sektor energi sudah sebesar 494.98.490 ton dan akan terus meningkat setiap tahunnya (National Geograpich Indonesia,2015). Untuk itu diperlukan adanya pembaruan teknologi dalam menghasilkan energi pengganti bahan bakar fosil. Sejauh ini fakta yang ada, studi energi baru terbarukan di Indonesia sudah dilakukan tetapi hasil produksi masih terlampau kecil dan belum bisa memenuhi kebutuhan energi yang selama ini dihasilkan dengan bahan bakar fosil. Dan yang terjadi saat ini, pasokan Batubara di Indonesia sudah mulai menipis maka dari itu dibutuhkan alternatif lain dalam membantu produksi energi dan tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca.

Ketersediaan sumber energi baru terbarukan di Indonesia terbilang masih belum dimanfaatkan secara maksimal. Sejauh ini Indonesia tercatat memiliki 8 sumber energi baru terbarukan yaitu, *Biofuel*, *Biomassa*, Panas Bumi (*Geothermal*), Air, Angin, Matahari, Gelombang Laut, dan Pasang-surut air laut. Maka dari itu, penelitian kali ini dilakukan dengan dasar pemanfaatan sumber energi baru terbarukan khususnya panas bumi untuk menghasilkan energi listrik. Penelitian kali ini menggunakan Thermo Elektrik Generator (TEG) sebagai sumber energi alternatif, yaitu berupa modul yang terbuat dari susunan bahan semikonduktor yang dapat menghasilkan listrik dengan mengalirkan sumber panas pada salah satu sisinya dan membuat perbedaan suhu disisi lain. Kelebihan lain dari Thermo Elektrik Generator

adalah mengkonversikan perbedaan suhu ke besaran listrik secara langsung, dimensi ukurannya yang kecil, ramah lingkungan, tidak menghasilkan bunyi (*silent operation*), bebas perawatan, dapat digunakan pada suhu yang tinggi, tidak membutuhkan perantara mekanik atau penggerak serta dapat digunakan dengan mudah. Contoh pengaplikasian TEG ini adalah pembuatan alat pemanas-pendingin makanan dan minuman portabel hemat energi berbasis termoelektrik, di kampus ITB Bandung (Hendy,2011). Dibalik kelebihanannya TEG juga memiliki beberapa kekurangan, yakni hanya memiliki nilai efisiensi yang rendah yaitu $\leq 10\%$. Efisiensi ini masih jauh nilainya daripada Sel Surya. Sejauh ini hal-hal yang membuat efisiensi berkurang adalah bagaimana panas yang dikonveksikan pada TEG terserap secara sempurna dan tidak ada yang terbuang, serta sistem pendinginan yang sempurna sehingga TEG dapat bekerja maksimal. Hal tersebut mendasari penelitian ini, yaitu merancang sistem isolasi panas guna untuk memaksimalkan kerja modul TEG. Selain itu dilakukan pemanfaatan hasil daya listrik untuk pengisian Aki (Aki kering 6Volt) untuk alternatif penghasil energi. Serta mengetahui sistem kerja dua modul TEG yang berbeda yaitu tipe SP184827145SA dan tipe TGPR-1W-2V-21S.

1.2 Perumusan Masalah

Berikut ini merupakan rumusan masalah pada penelitian kali ini berdasarkan pada latar belakang :

1. Bagaimana cara untuk mengetahui efisiensi kerja TEG dengan *siel* triplek dan *siel* Aluminium pada TEG tipe SP184827145SA ?
2. Bagaimana cara untuk mengetahui waktu pengisian Aki dengan menggunakan TGPR-1W-2V-21S ?

1.3 Tujuan

Tujuan pelaksanaan penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui efisiensi kerja TEG dengan *sield* triplek dan *sield* alumunium pada TEG tipe SP184827145SA
2. Mengetahui waktu pengisian Aki dengan menggunakan TGPR-1W-2V-21S

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian kali adalah mengetahui efisiensi kerja TEG dengan variasi *sield* pada sistem pemanas, yaitu dengan *sield* triplek dan alumunium. *Sield* yang dimaksud adalah kerangka sistem pemanas. Selain itu untuk modul Thermo Electric Generator (TEG) yang diuji bertipe SP184827145SA dan TGPR-1W-2V-21S. Serta memanfaatkan hasil tegangan yang telah dihasilkan TEG untuk mengisi Aki.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian tugas akhir ini adalah mampu merancang sistem pemanas serta pendingin untuk memanfaatkan Thermoelektrik dengan maksimal sehingga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik khususnya pengisian Aki.

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut sistematika penelitian laporan Tugas Akhir ini disusun :

1. Bab I – Pendahuluan, berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan tugas akhir.
2. Bab II – Tinjauan Pustaka, berisi uraian mengenai teori yang mendukung analisis serta kajian sistem.
3. Bab III – Metodologi Penelitian, berisi alat dan bahan, data penelitian, *software* yang digunakan dalam

penelitian, serta uraian mengenai metode-metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian.

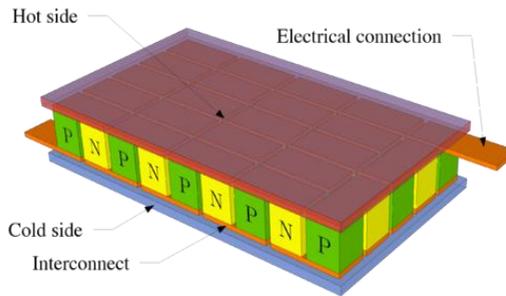
4. Bab IV – Analisis Data dan Pembahasan, menjelaskan tentang hasil-hasil yang didapat dari pengerjaan pada penelitian ini, dan analisa data dari hasil pengukuran yang telah dilakukan.
5. Bab V – Kesimpulan dan Saran, berisi uraian mengenai kesimpulan dari hasil analisis data dan pembahasan serta saran-saran yang digunakan untuk mendukung penelitian selanjutnya.
6. Lampiran, berisi data-data yang digunakan dalam penelitian beserta beberapa gambar yang menunjang penelitian ini.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Thermoelektrik

Thermoelektrik merupakan suatu alat yang berbentuk modul, yang dapat secara langsung merubah energi panas menjadi listrik. Dimana Thermoelektrik terbuat dari bahan semikonduktor yang tersusun sedemikian rupa dengan komposisi tipe-n dan tipe-p disusun seperti gambar berikut :



Gambar 2.1. Susunan semikonduktor pada Thermoelektrik

Fenomena Thermoelektrik ditemukan tahun 1821 untuk pertama kalinya oleh salah satu ilmuwan Jerman yaitu Thomas Johann Seebeck. Pada penemuannya Thomas Seebeck mencoba menghubungkan tembaga dan besi pada suatu rangkaian. Kemudian diantara logam tembaga dan besi tersebut diletakkan sebuah jarum kompas. Fenomena yang terjadi saat kedua logam tersebut dipanaskan yaitu jarum kompas mulai bergerak. Bergeraknya jarum kompas ini menyatakan bahwa timbul medan listrik pada kedua logam tersebut akibat dipanaskan salah satu sisinya. Dan karena hal itu, fenomena tersebut disebut efek Seebeck (Jin-Cheng Zheng, 2008)

Setelah penemuan Thomas Seebeck sudah mulai dikenal, munculah penemuan baru yaitu dari Jean Charles

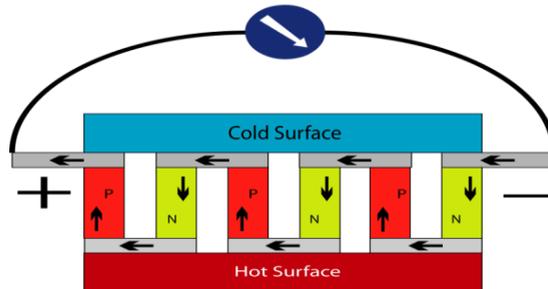
Peltier yang meneliti tentang kebalikan fenomena Seebeck. Pada penelitiannya Charles Peltier mengalirkan listrik pada dua buah logam yang dirangkai pada suatu rangkaian. Ternyata yang terjadi ketika diberi arus listrik dialirkan, yaitu terjadi penyerapan panas pada sambungan kedua logam tersebut dan pelepasan panas pada sisi lain rangkaian logam itu. Dan fenomena pelepasan dan penyerapan panas ini berbalik arah ketika arah arus dibalik. Charles Peltier menemukan hal ini pada tahun 1834 yang kemudian disebut Efek Peltier. Dari kedua penemuan tersebut baik Efek Seebeck dan Efek Peltier menjadi dasar pengembangan teknologi Termoelektrik (Polban, 2009).

Seorang ilmuwan bernama WW Coblenz (1913) mencoba meneruskan temuan Charles Peltier. Pengembangan oleh Coblenz ini yaitu dengan menjadikan tembaga dan constantan (campuran nikel dan tembaga) sebagai logam penyusun Termoelektrik. Dimana efisiensi konversi yang terjadi sebesar 0,008 persen, dan sistem yang dibuat ini berhasil membangkitkan listrik sebesar 0,6mW. Kemudian AF Ioffe melanjutkan pengembangan Termoelektrik dengan menggunakan bahan semikonduktor golongan II-V, IV-VI, V-VI yang saat itu mulai dikenal. Ioffe berhasil melakukan satu lompatan besar dimana efisiensi Termoelektrik meningkat menjadi 4 persen. Teori ini dibukukan pada tahun 1956 yang hingga kini menjadi pedoman para peneliti dalam mengembangkan material penyusun Termoelektrik (G.Jeffrey Snyder, 2008).

Lalu pengembangan-pengembangan lain mulai dilakukan dan pada tahun 1980-1990, material penyusun Termoelektrik berkembang pesat dan menjadi salah satu teknologi ramah lingkungan. Seperti yang kita ketahui bahwa Termoelektrik tersusun atas bahan semikonduktor yang merupakan susunan dua logam yang berbeda. Bahan logam tersebut memiliki tipe berbeda yaitu ter-dopping proton atau tipe-p dan ter-dopping elektron yaitu tipe-n. Termoelektrik sendiri terdiri atas 2 jenis yaitu, Termoelektrik generator dan Termoelektrik cooler. Fokus pada penelitian ini adalah

Thermoelektrik generator, dimana Thermoelektrik generator merupakan susunan material semikonduktor yang menghasilkan listrik saat dikenai suhu tinggi atau panas (kalor). Hebatnya, Thermoelektrik generator bekerja secara langsung dalam menghasilkan listrik ketika salah satu sisinya diberi kalor atau panas. Pada Thermoelektrik generator dibagi lagi jenisnya yaitu low temperatur, medium dan high temperatur. Jenis ini dibedakan dari jenis material yang menyusun serta berapa kisaran nilai suhu ataupun temperatur yang dapat dikenakan pada sistem kerja Thermoelektrik tersebut. Adapun jenis low temperatur hanya bekerja pada suhu 0-500° Celcius. Sedangkan medium temperatur bekerja pada suhu 500-800° Celcius, dan high temperatur yaitu 800-1000° Celcius.(G.Jeffrey Snyder, 2008)

Berikut ini merupakan gambar yang menunjukkan sistem kerja pada Thermoelektrik generator :



Gambar 2.2. Prinsip kerja TEG

Dari gambar 2.2 diatas dapat diketahui bahwa material penyusun Thermoelektrik memiliki peran masing-masing untuk mengalirkan panas sehingga dapat menimbulkan beda potensial. Dapat diketahui pula bahwa tipe-n elektronnya akan tertarik ke bagian plat yang panas. Kemudian tertarik oleh muatan pada tipe-p yang selanjutnya mengalir hingga menimbulkan tegangan. Disimpulkan pula bahwa panas atau kalor pada salah satu sisi dialirkan dan dibuang ke sisi lainnya. Sehingga terjadi aliran arus, ketika terjadi arus maka terciptalah beda potensial yang memunculkan nilai tegangan

listrik. Dan pada Thermoelektrik besarnya nilai tegangan yang didapatkan sebanding dengan gradien temperatur(Nandy, 2009). Berdasarkan fenomena yang terjadi, pada Thermoelektrik terjadi 3 efek yaitu Efek Seebeck, Efek Peltier dan Efek Thomson. Dimana efek-efek tersebut merupakan pemikiran awal dalam menggagas Thermoelektrik (M.Abrar, 2016).

Peristiwa yang terjadi pada Thermoelektrik Generator didasari oleh Efek Seebeck. Peristiwa Seebeck atau Efek Seebeck ini terjadi saat dua buah logam yang berbeda ketika dialiri panas maka akan terjadi arus listrik. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan bahan penyusun pada kedua logam atau pasangan material tersebut. Dimana material yang umum digunakan untuk Termoelektrik adalah Bismuth-Tellurium, Timbal-Tellurium dan Silikon-Germanium. Untuk modul TEG kali ini bahan penyusunnya merupakan logam Bismuth-Tellurium, dimana kedua bahan logam tersebut bersifat sangat langka. Sambungan logam Bismuth-Tellurium ini memiliki susunan kristal polikristalin, dengan sistem kerja yang bergantung pada nilai koefisien Seebeck juga besar konduktivitas yang bergantung pada tebal susunan logam tersebut. Baik konduktivitas dari bahan tersebut menghantarkan listrik pun juga pada konduktivitas termal dari logam tersebut. Untuk saat ini konduktivitas termal dari bahan Bismuth-Tellurium yaitu sebesar 1,2 Watt/(m.K) yang hampir sama dengan kaca biasa. Menurut penelitian yang ada, cara membuat sambungan Bismuth-Tellurium ini dengan memasukan logam tersebut pada tabung vakum dengan suhu tungku pemanas yaitu 800°C. Oleh karena itu, sesuai karakteristik bahan penyusunnya, modul TEG yang ada hanya memiliki keluaran daya sebesar 0,4-1,2 Watt hal ini erat hubungannya dengan besar konduktivitas termal bahan logam itu sendiri. Selain dari konduktivitasnya, untuk meningkatkan hasil keluaran dari TEG hingga batas maksimalnya adalah dengan memaksimalkan sistem pemanas dan sistem pendingin yang mengenai modul TEG. Dimana suhu yang mengenai TEG yaitu pada *hot side* dan *cold side* harus homogen dan

meliputi seluruh permukaan TEG agar daya output pada TEG maksimal. Pada penelitian kali ini digunakan dua buah jenis TEG yaitu SP184827145SA dengan daya keluaran 0,6 watt dan TGPR-1W-2V-21S dengan keluaran daya sebesar 1 Watt.

Sistem kerja dari TEG haruslah terdiri atas 2 buah yaitu sistem pemanas serta sistem pendingin. Hal ini dikarenakan TEG memiliki prinsip seperti 2 buah Thermokopel yang digabungkan secara seri, lalu pada ujung satunya diberi suhu yang tinggi sedangkan pada sisi yang lain diberi suhu lebih rendah sehingga terjadi perpindahan energi dari ujung Thermokopel bersuhu tinggi ke Thermokopel yang bersuhu rendah yang mengakibatkan berpindahya muatan yaitu elektron dan muncul beda potensial. Beda potensial inilah yang disebut sebagai tegangan *output*. Tetapi pada Thermokopel besar nilai tegangan serta arus yang diperoleh kecil, sehingga dibuatlah modul TEG ini yang memiliki sistem kerja yang sama hanya saja TEG memiliki luasan yang lebih luas, yang jika disetarakan dengan Thermokopel merupakan gabungan dari banyak Thermokopel sehingga tegangan maupun arus keluaran TEG lebih besar dari Thermokopel.

2.2 Efek Seebeck

Thomas Johann Seebeck (1821) adalah ilmuwan yang pertama kali menemukan fenomena Thermoelektrik. Dimana kedua logam yang didekatkan kemudian salah satu sisinya dipanaskan maka akan muncul beda potensial yang ditandai dengan menyimpangnya jarum kompas yang diletakkan diantaranya. Beda potensial yang muncul terjadi karena adanya medan listrik. Medan listrik tersebut terjadi akibat Bergeraknya partikel logam karena konveksi panas. Fenomena inilah yang akhirnya dikenal sebagai efek Seebeck. Namun saat itu, Thomas Seebeck tidak mengakui adanya arus listrik yang maka Thomas menyebutnya efek feromagnetik, dengan dasar pemikiran bahwa dua logam terpolarisasi secara magnetis akibat gradien suhu atau perubahan suhu. Yang kemudian terjadi arus kontinu dalam logam-logam tersebut

dan menciptakan *complete loop* dan terjadi terus-menerus, sehingga dapat memunculkan tegangan yang terjadi secara kontinu selama pemanasan berlangsung.

Beda potensial atau tegangan ini dihasilkan dan berubah sebanding dengan perubahan temperatur, karena semakin besar suhu maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan. Dari fenomena Seebeck ini dihasilkan Thermoelctrik generator sebagai penghasil listrik dari suhu yang diberikan pada rangkaian. Thomas Seebeck membuat suatu koefisien yang berlaku pada fenomena yang ia temukan yaitu koefisien Seebeck. Dimana koefisien ini bersimbol α (G.Jeffrey Snyder, 2008), sedangkan untuk perbedaan temperatur disimbol ΔT dan untuk beda potensial disimbolkan dengan ΔV .

Dari simbol tersebut maka efek Seebeck memenuhi persamaan berikut :

$$\alpha = \frac{\Delta V}{\Delta T} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan Keterangan :

- α = koefisien Seebeck (mV/K, °C)
- ΔV = beda potensial (mV)
- ΔT = perbedaan temperatur (K, °C)

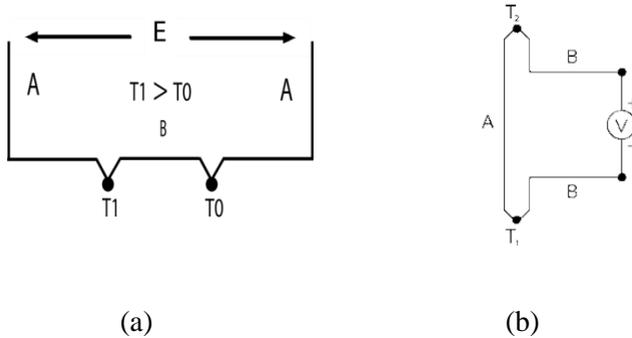
Selain persamaan di atas, efek Seebeck juga dapat dituliskan sebagai berikut :

$$E = \alpha (T_1 - T_0) \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan Keterangan :

- E = Gaya gerak listrik (V)
- α = koefisien Seebeck (mV/K, °C)
- T_1 = *hot junction* (K, °C)
- T_0 = *cold junction* (K, °C)

Dari persamaan diatas, dapat di ilustrasikan pada gambar berikut ini :



Gambar 2.3. (a) Ilustrasi Efek Seebeck, (b) Diagram Efek Seebeck pada dua logam yang berbeda yaitu logam A dan B.

2.3 Efek Peltier

Charles Peltier (1834) merupakan ilmuwan yang menemukan kebalikan dari efek Seebeck, yang selanjutnya disebut efek Peltier. Pada efek Peltier ini dua logam yang berbeda disambungkan lalu arus listrik diinjeksikan pada sambungan tersebut, dan timbul lah fenomena pompa kalor. Pompa kalor ini merupakan suatu rangkaian yang menyerap kalor pada sisi lain dan melepaskannya dari sisi sebaliknya. Hal ini berkebalikan dengan efek Seebeck. Dimana efek Seebeck menciptakan listrik dari suhu yang di injeksikan, tetapi efek peltier mengalirkan panas dari listrik yang diberikan. Efek peltier ini menciptakan Thermoelektrik cooler yaitu sebagai pendingin (pompa kalor). Thermoelektrik biasanya terdiri atas dua logam dengan koefisien Seebecknya bernilai sangat tinggi. Saat ini logam yang sering digunakan yaitu *Bismuth-Telluride* .

Dari efek Peltier diketahui bahwa fenomena yang ada menggambarkan seberapa banyak panas yang dialirkan tiap

muatan listrik. Pada fenomena ini, hal yang sangat menarik adalah sebesar apapun dan sesering apapun arus listrik yang diberikan, perbedaan temperatur akan menemukan nilai yang stabil dan konstan. Hal ini berkaitan dengan koefisien Seebeck logam yang digunakan.

2.4 Efek Thomson

Efek yang ketiga yang terjadi pada Thermoelektrik adalah Efek Thomson. Efek Thomson ini ditemukan oleh William Thomson pada tahun 1851. Dimana fenomena ini menjelaskan tentang pemanasan atau pendinginan dari sebuah konduktor yang dialiri arus listrik dengan perbedaan temperatur. Faktanya pada setiap bahan konduktor yang dialiri arus listrik akan timbul dua kemungkinan, yaitu material tersebut menyerap panas atau memancarkan panas, kemungkinan tersebut bergantung pada sifat material serta besar koefisien Seebecknya. Pada proses pemancaran panas, arus bergerak dari potensial tinggi ke potensial rendah yaitu pada suhu tinggi (panas) ke suhu rendah (dingin). Sedangkan pada proses penyerapan panas arus bergerak dari potensial rendah ke tinggi, atau dengan kata lain arus bergerak dari suhu rendah (dingin) ke suhu tinggi (panas). Jika dihubungkan maka, efek Thomson merupakan bagian dari efek Seebeck, begitu pula efek Peltier.

2.5 Prinsip Kerja Thermoelektrik

Pada penelitian kali ini, prinsip Thermoelektrik yang digunakan adalah efek Seebeck. Dimana dua buah logam yang disambungkan kemudian salah satu sisinya diberi suhu yang tinggi maka secara langsung sambungan kedua logam tersebut menghasilkan energi listrik. Dengan kata lain prinsip kerja Thermoelektrik adalah proses dari konversi langsung dari besaran suhu menjadi besaran listrik. Untuk itu Thermoelektrik dengan prinsip ini disebut Thermoelektrik Generator. Disamping penggunaannya yang cukup mudah

teknologi ini juga ramah lingkungan, mudah perawatannya dan dapat digunakan untuk bidang industri atau proyek skala besar. Hanya saja Thermoelektrik masih memiliki efisiensi yang kecil sehingga performanya masih belum cukup maksimal dalam menggantikan pembangkit listrik dengan Batubara. Fenomena yang terjadi pada Thermoelektrik ini sebenarnya dikarenakan oleh proses transfer panas. Dimana transfer panas ini erat hubungannya dengan proses perpindahan partikel terutama elektron, dikarenakan suatu sisi logam dikenai panas maka partikel logam tersebut bergerak dan bergetar sehingga terjadi perjalanan elektron dari sisi yang dikenai panas ke sisi yang lebih rendah suhunya. Dimana pergerakan partikel ini erat hubungannya dengan perbedaan suhu yang terjadi, ketika satu sisi dipanaskan dan sisi lain lebih rendah suhunya maka semakin cepat pula elektron berpindah dan menimbulkan arus serta medan listrik disekitar logam (S.L.Soo, 1968). Besar potensial yang dihasilkan sebanding dengan besar perubahan gradien suhu.

Berikut ini rumusan dalam mengetahui besar potensial yang dihasilkan dari perbedaan suhu :

$$\Delta V = \int_{T_1}^{T_2} \alpha \cdot dT \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan keterangan :

- α = koefisien seebeck (mV/K, °C)
- ΔV = beda potensial (mV)
- dT = perbedaan temperatur (K, °C)

2.6 Perpindahan Panas

Pada fenomena Thermoelektrik ini terutama Thermoelektrik Generator perpindahan panas yang terjadi ada 2 macam yaitu konduksi dan konveksi. Perpindahan panas sendiri merupakan ilmu yang mempelajari bagaimana menghitung pendistribusian energi berupa kalor yang terjadi akibat perbedaan temperatur diantara dua buah benda. Seperti yang kita ketahui perpindahan panas terbagi menjadi 3 macam

yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Pada penelitian ini perpindahan panas yang dialami oleh sistem adalah konduksi dan konveksi (Ryuanargo.dkk, 2013).

2.6.1 Konduksi

Pada penelitian kali ini terjadi perpindahan panas secara Konduksi. Dimana konduksi adalah proses perpindahan panas pada satu medium. Medium tersebut tak tembus cahaya hanya menghantarkan panas dari sisi yang bersuhu tinggi ke sisi lain yang bersuhu lebih rendah. Pada proses konduksi laju perpindahan panas yang terjadi berbanding lurus dengan gradien suhu.

Berikut merupakan persamaan perpindahan panas karena konduksi :

$$q_k = -k \cdot A \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan keterangan :

- q_k = Laju Perpindahan Panas (kJ/det, W)
- k = Konduktivitas Thermal (W/m.°C)
- A = Luas Penampang (m²)
- dT = Perbedaan Temperatur (K, °C)
- dx = Perbedaan Jarak (m/det)

2.6.2 Konveksi

Selanjutnya pada sistem terjadi pula perpindahan panas secara konveksi, dimana konveksi terjadi pada proses pendinginan dengan waterblock. Dimana konveksi adalah perpindahan panas yang membutuhkan medium, dengan medium awal yaitu modul TEG kemudian

mengalir pada waterblock yang berisi air. Pada air terjadi konveksi akibat berubahnya rapat massa akibat pengaruh suhu. Diketahui bahwa partikel seperti fluida akan bergerak seiring panas yang dibawanya. Dengan kata lain pada molekul air panas akan bergerak naik keatas sedangkan molekul air yang bersuhu lebih rendah atau dingin akan turun kebawah, hal ini dikarenakan air yang bersuhu rendah memiliki berat jenis yang lebih berat (Haolia R, 2008).

2.7 Tegangan, Arus dan Daya

Terbacanya suatu nilai tegangan listrik, akibat adanya arus yang mengalir pada suatu rangkaian tertutup (loop) pada piranti elektronika. Dimana nilai tegangan dapat diukur jika terdapat suatu komponen sederhana misalnya suatu resistor yang dialiri arus listrik. Sehingga nilai tegangan yang terjadi adalah besarnya arus yang mengalir dikalikan besarnya hambatan yang dilaluinya. Tegangan listrik diukur dengan posisi paralel pada hambatan, besar tegangan listrik sendiri tercatat dalam satuan Volt. Berikut ini merupakan persamaan umum untuk tegangan :

$$V = I \cdot R \dots \dots \dots (2.5)$$

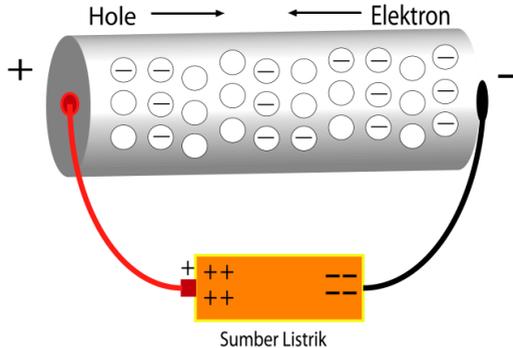
Dengan keterangan :

- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)
- R = Hambatan (Ohm)

Sebelum munculnya nilai tegangan, terlebih dahulu kita harus memahami konsep apa itu arus listrik. Arus listrik sendiri adalah banyaknya muatan yang mengalir pada suatu rangkaian tertutup persatuan waktu. Pada pengertian arus konvensional yang dimaksud muatan listrik adalah muatan positif, yaitu arus bergerak dari muatan positif ke muatan negatif. Sedangkan pada faktanya muatan yang bergerak

adalah elektron, yang biasa disebut arus elektron. Dimana sebenarnya arus bergerak dari kutub negatif yaitu elektron ke kutub positif.

Berikut ini merupakan ilustrasi tentang perputaran hole dan elektron pada suatu rangkaian tertutup :



Gambar 2.4. Aliran Hole dan Elektron pada suatu loop.

Hole di ibaratkan muatan positif pada gambar 2.4, dimana hole akan ditempati oleh elektron yang bermuatan negatif. Elektron sendiri berjalan dari kutub negatif menuju kutub positif, yang menyebabkan hole terisi lalu terkosong lagi dan terisi lagi begitu seterusnya. Maka dari itu tinjauan arus dapat dibagi melalui muatan positif maupun negatif (Tipler, 2001). Arus sendiri memiliki persamaan umum yang menjelaskan bahwa arus merupakan banyaknya muatan yang mengalir persatuan waktu sebagai berikut :

$$I = \frac{dq}{dt} \dots\dots\dots(2.6)$$

Pada bidang elektronik, untuk menghidupkan suatu perangkat elektronik paling tidak kita harus mengetahui berapa energi yang dibutuhkan untuk mengaktifkannya. Dimana energi yang dibutuhkan biasa disebut daya. Daya merupakan hasil perkalian antara besar tegangan dengan arus. Dengan kata lain daya merupakan energi yang diberikan oleh elektron

per satuan waktu. Daya biasa disimbolkan dengan P (power) dengan satuannya yaitu Watt. Berikut ini merupakan persamaan umum untuk daya :

$$P = \frac{dw}{dt} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$P = \frac{dw}{dt} \cdot \frac{dq}{dt} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan $\frac{dw}{dt}$ adalah V (tegangan)

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan keterangan :

P = daya listrik (W)

V = tegangan (V)

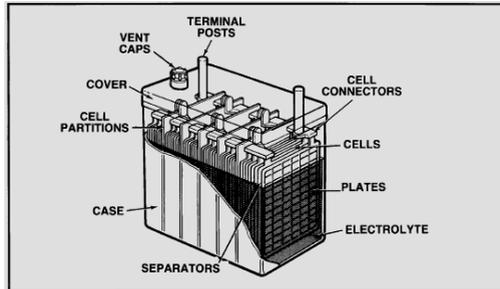
I = arus (I)

R = hambatan (Ohm)

2.8 Baterai atau Aki

Baterai adalah suatu alat yang berfungsi untuk menghasilkan energi listrik, dimana baterai dapat merubah energi kimia menjadi energi listrik. Kemampuan baterai tersebut disebut reaksi elektrokimia. Baterai sendiri terbagi atas 2 jenis, baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer hanya dapat digunakan satu kali karena siklus reaksi kimia didalam baterai primer searah. Sedangkan baterai sekunder yaitu baterai yang dapat di isi kembali (*rechargeable*), atau dengan kata lain disebut *storage battery*. Siklus reaksi kimia pada baterai sekunder terjadi dua arah. Contoh dari baterai primer yaitu baterai karbon-seng. Untuk baterai sekunder sendiri contohnya baterai *Lead Acid*, *Lithium*, *Nikel Kadmium*, dan *Nikel Metal Hidrida* (Emy A, 2015). Pada penelitian kali ini digunakan jenis baterai sekunder yang dapat di isi kembali, yaitu jenis baterai *Lithium-Ion*.

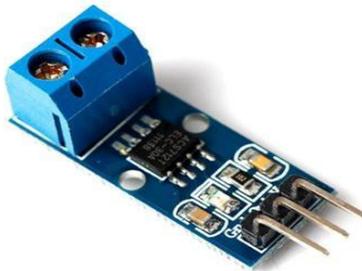
Berikut ini merupakan gambar dari baterai sekunder :



Gambar 2.5. Bagian-bagian Baterai (*Storage Battery*)

2.9 Sensor Arus

ACS712 adalah nama dari sensor arus yang digunakan pada penelitian ini. Dimana fungsi sensor arus yaitu alat yang berfungsi sebagai pendeteksi besar arus listrik yang terjadi pada rangkaian yang diukur. Prinsip dasar dari sensor arus adalah efek Hall, dimana efek Hall ini berhubungan dengan medan magnet untuk menghasilkan tegangan. Dengan digunakannya medan magnet, maka perubahan medan ini dapat dideteksi sensor dengan menggunakan prinsip induktor. Sensor ACS712 ini mendeteksi medan magnet pada permukaan konduktor, kelemahan sensor ini adalah tidak mampu mendeteksi medan magnet yang bersifat statis (Emy A, 2015). Berikut ini merupakan gambar sensor ACS712 :



Gambar 2.6. Sensor Arus ACS712

2.10 Sensor Tegangan

Sensor tegangan pada penelitian ini digunakan dengan prinsip pembagi tegangan atau biasa disebut *voltage divider* (Gusti R.P, 2016). Dimana rangkaian ini menggunakan tegangan referensi dengan cara mengubah nilai resistansi menjadi beda tegangan. Biasanya pada rangkaian pembagi tegangan hanya digunakan 2 resistor yang dirangkai secara seri, pada titik cabang kedua resistor akan dihasilkan nilai tegangan referensi hasil bagi dari tegangan sumber (Paul, 1994). Untuk menghitung nilai tegangan tersebut, persamaan berikut bisa digunakan :

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{in} \dots \dots \dots (2.10)$$

Persamaan diatas berasal dari persamaan dibawah ini, dimana konsep dasar berasal dari hukum ohm :

$$V = I \cdot R \dots \dots \dots (2.11)$$

Dengan $R = R_1 + R_2$

Maka,

$$V = I \cdot (R_1 + R_2) \dots \dots \dots (2.12)$$

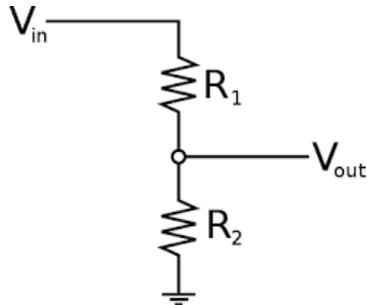
Dengan tegangan pada R_2 :

$$V_2 = I \cdot R_2 = \frac{V}{R_1 + R_2} \cdot R_2 \dots \dots \dots (2.13)$$

Dan tegangan pada R_1 :

$$V_1 = I \cdot R_1 = \frac{V}{R_1 + R_2} \cdot R_1 \dots \dots \dots (2.14)$$

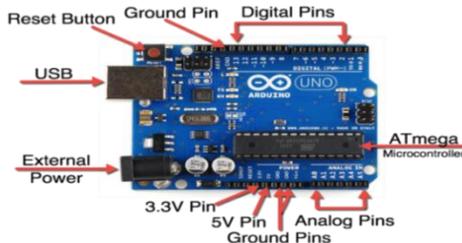
Dengan ilustrasi rangkaian sebagai berikut :



Gambar 2.7 Rangkaian Pembagi Tegangan

2.11 Arduino Uno

Mikrokontroler yang digunakan pada penelitian ini adalah Arduino Uno. Arduino Uno adalah suatu board berdimensi panjang kali lebarnya 2,7 dan 2,1 inci. Berbasis Atmega 328 sebagai IC-nya. Arduino Uno ini memiliki 14 pin digital input/output, dengan 6 pin yang dapat digunakan sebagai output PWM, 6 input analog. Terdapat resonator keramik 16 MHz, konektor USB, Jack Listrik, Header ICSP serta tombol reset. Arduino Uno beroperasi pada tegangan 5Volt, dengan input tegangan yang disarankan sebesar 7-11Volt, dan input tegangan batas 6-20Volt. Dengan rata-rata arus DC tiap pin bernilai 50mA. Arduino memiliki memori sebesar 32 KB, SRAM 2 KB, EEPROM 1 KB dan kecepatan clock yaitu 16MHz (Scott F and team, 2012). Berikut merupakan gambar penampang board Arduino Uno :



Gambar 2.8 Board Arduino Uno

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dilakukan penelitian untuk mengisi aki dengan Thermoelektrik Generator (TEG). Langkah awal yang dilakukan adalah membuat sistem pemanas yang terisolasi oleh isolator panas, sehingga pemanas dapat memberi suhu yang homogen untuk mengaktifkan kerja TEG. Dilakukan pengisian baterai atau aki untuk mengetahui berapa daya yang dihasilkan oleh TEG pada selang waktu tertentu. Metodologi penelitian diuraikan dalam tiga bagian, yaitu (3.1) Alat dan Bahan, (3.2) Prosedur Eksperimen, (3.3) Pengambilan Data.

3.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian penelitian ini yaitu :

- | | |
|------------------------------------------------|------------------------|
| 1. TEG SP184827145SA | 11. Thermostat c100 |
| 2. TGPR-1W-2V-21S | 12. Aki 6Volt 4,5Ah |
| 3. <i>Heater</i> 350 watt dimensi 100x100mm | 13. Relay |
| 4. Aquarium | 14. Power supply DC |
| 5. Pompa air | 15. Max6675 |
| 6. Thermokopel type K | 16. ACS712 |
| 7. <i>Waterblock</i> | 17. Data <i>Logger</i> |
| 8. Multimeter | 18. <i>SD Card</i> |
| 9. Kabel | 19. Pasta Termal |
| 10. Arduino Uno | 20. Resistor Keramik |

3.2 Prosedur Eksperimen

Berikut merupakan susunan prosedur eksperimen yang dilakukan pada penelitian kali ini.

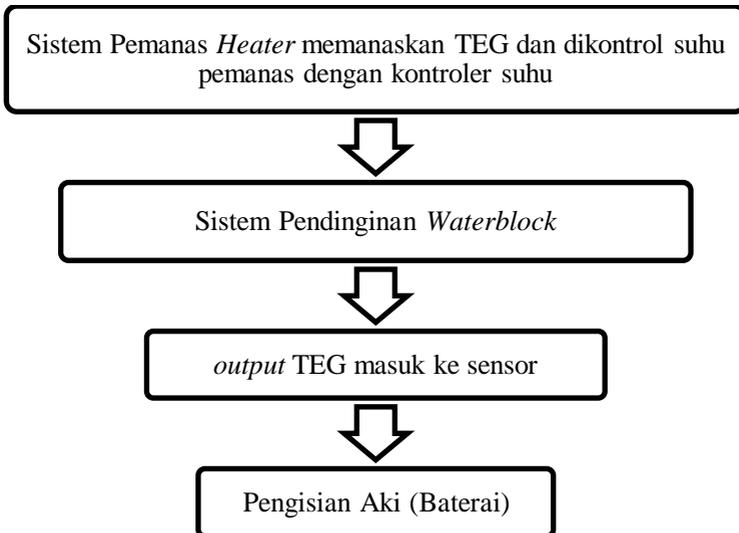
3.2.1 Perancangan Umum Sistem

Pada bab III ini menjelaskan perancangan alat secara keseluruhan meliputi perangkat keras maupun perangkat lunak. Penelitian dilakukan dengan dua sistem yaitu sistem

perangkat keras (*hardware*) dan sistem perangkat lunak (*software*).

Sistem perangkat keras (*hardware*) yang digunakan terdiri dari Sistem Pemanas Generator Thermoelektrik (TEG), Sistem Pendingin dengan *Waterblock*, serta alat ukur yaitu sensor tegangan, sensor arus, dan sensor suhu.

Sedangkan sistem perangkat lunak (*software*) terdiri dari perancangan program serta perintah menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dengan Atmega 328 sebagai IC-nya sebagai penyimpanan data yang dimuat pada *SD-card* sebagai data *logger*. Berikut ini merupakan gambaran sistem secara umum :

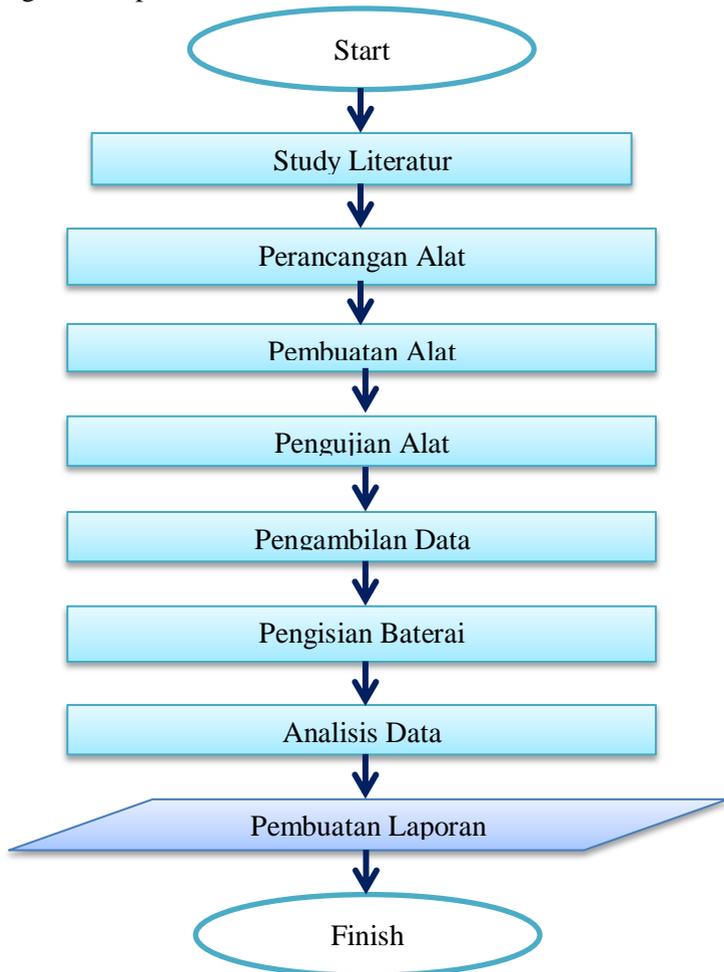


Gambar 3.1. Gambaran Umum Keseluruhan Sistem

Gambar 3.1 menjelaskan gambaran umum keseluruhan sistem yang dilakukan pada penelitian. Sistem terdiri dari sistem pemanas, sistem pendingin, sistem alat ukur serta pengisian aki. Sistem pemanas menggunakan *Heater* sebagai sumber panas, yang diatur oleh kontroler suhu yang digunakan pada bagian panas TEG. Sistem pendingin menggunakan *waterblock* sebagai permukaan yang menutupi bagian dingin

TEG. Tegangan keluaran dari TEG masuk pada sistem alat ukur yang kemudian digunakan untuk pengisian aki.

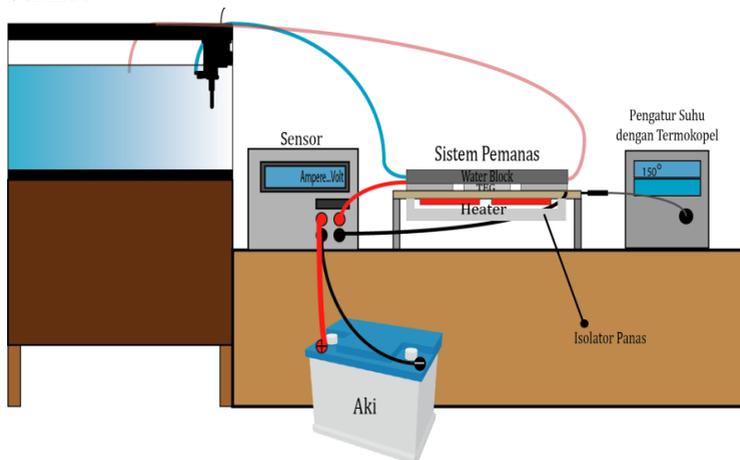
Selain gambaran umum diatas berikut ini merupakan diagram alir penelitian :



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.2 menjelaskan alur jalannya penelitian yang dilakukan, yang meliputi perancangan dan pembuatan alat,

pengujian serta pengambilan data. Tegangan yang diperoleh digunakan untuk pengisian aki, dan data tersebut dianalisis serta disusun sebagai laporan penelitian tugas akhir. Pada penelitian ini, alat yang dirancang dan dibuat seperti gambar berikut :



Gambar 3.3. Rancang Bangun Sistem

Pada Gambar 3.3. menunjukkan susunan alat pada keseluruhan sistem. Sistem Pemanas sebagai pemicu terjadinya reaksi pada TEG, dimana sistem pemanas ini digunakan pada temperatur tertentu sesuai dengan karakteristik data modul TEG. Untuk sistem pengaturan suhu menggunakan rangkaian kontrol suhu dengan thermostat c-100. Sedangkan sumber panas terdiri dari *Heater* strip 350watt berukuran 100x100mm.

Proses pendinginan dilakukan dengan mengalirkan air dari aquarium air dingin kemudian melewati sistem pemanas yang kemudian dikembalikan pada sisi lain *Waterblock* yang ditampung kembali ke dalam aquarium. Selanjutnya untuk Sensor Arus dan Tegangan yang menampilkan berapa besar arus dan tegangan yang terjadi pada TEG. Sensor arus menggunakan ACS712 sedangkan untuk sensor tegangan menggunakan sistem pembagi tegangan. Diperlukan juga 2 sensor suhu yang diletakkan pada TEG

sebagai pengukur suhu pada bagian panas TEG dan bagian dingin TEG yang bersentuhan dengan *Waterblock*. Sensor suhu yang digunakan adalah Max6675, modul tampilan suhu ini bekerja sebagai mendukung sensor suhu. Semua perangkat sensor dihubungkan dengan Arduino Uno lalu data yang diperoleh disimpan oleh *SD Card*.

3.2.2 Perancangan Alat

Alat yang dirancang berupa 3 buah sistem kerja yaitu, sistem pemanas, sistem pendingin dan sistem alat ukur. Sistem pendingin berupa sistem yang bekerja sebagai pemberi beda suhu pada ruang kerja TEG. Terakhir yaitu sistem alat ukur berupa sensor yang bekerja untuk mendeteksi nilai arus, tegangan serta suhu yang terjadi pada sistem. Berikut penjelasan dari masing-masing rancangan alat.

3.2.2.1 Sistem Pemanas

Penelitian ini mengacu pada penelitian sebelumnya tentang Thermoelektrik Generator. digunakan 2 buah sistem pemanas yaitu pemanas 1 dan 2 yang masing-masing diuji untuk mengaktifkan sistem kerja TEG itu sendiri. Berikut merupakan gambar pemanas 1 dan 2 berturut-turut pada gambar 3.4 dan 3.5 :



Gambar 3.4. Sistem Pemanas 1

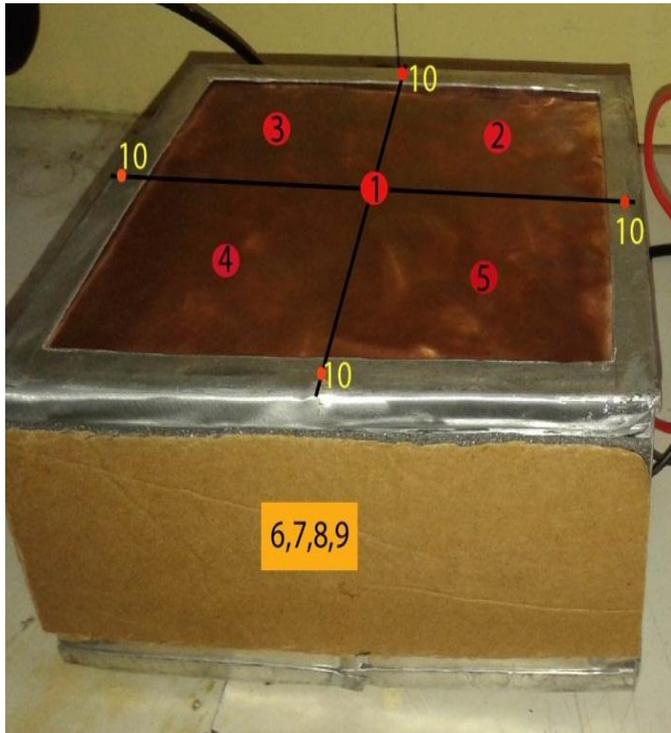


Gambar 3.5. Sistem Pemanas 2

Kedua sistem pemanas yang digunakan berasal dari *Heater strip* 350watt dengan panas maksimal 250°C. Untuk itu pada sistem pemanas sendiri diperlukan alat kontrol yaitu thermostat c-100, untuk mengontrol suhu pada bagian atas pemanas.

Dilakukan pula uji pengukuran homogenitas suhu, dimana pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui persebaran besar suhu yang terjadi pada plat dengan sumber panas yang diletakkan dibagian bawah-tengah plat. Dimana besar nilai persebaran suhu dapat diketahui, sehingga letak pelet Thermoelektrik Generator juga dapat ditentukan.

Pengambilan nilai suhu dilakukan pada titik-titik tertentu pada gambar dibawah ini :

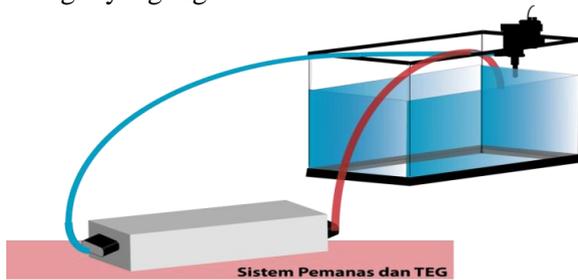


Gambar 3.6. Titik acuan pengukuran homogenitas suhu pada Sistem Pemanas

Gambar 3.6 merupakan gambar penampang plat sistem pemanas 2. Titik-titik diatas merupakan titik pengukuran homogenitas suhu. Dimulai dari titik 1 pada bagian tengah plat tempat Heater diletakkan. Titik 2 hingga 5 merupakan titik persebaran panas pada plat. Titik 6 hingga 9 merupakan titik perpotongan diagonal pada isolator panas pada dinding pemanas. Titik ke 10 merupakan titik pengukuran suhu pada penjepit alumunium plat tembaga.

3.2.2.2 Sistem Pendingin

Berikut merupakan rangkaian sistem pendingin yang digunakan :

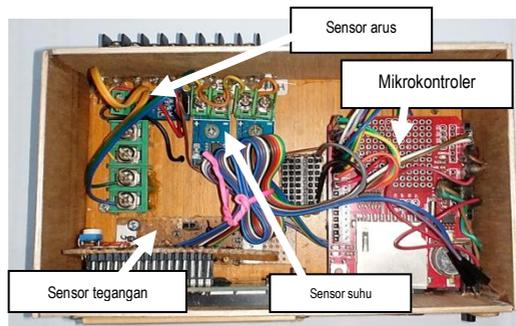


Gambar 3.7. Sistem Pendingin TEG

Sistem pendingin pada penelitian ini menggunakan *waterblock* yang dialiri air dari aquarium yang berisi air dingin di alirkan menuju sistem pemanas (atas TEG) dan mengalir kembali pada aquarium.

3.2.2.3 Sistem Alat ukur

Berikut gambar sistem alat ukur pada penelitian kali ini :



Gambar 3.8. Sistem Alat Ukur

Gambar 3.8 menampilkan susunan alat ukur yang digunakan. Alat ukur yang digunakan pada penelitian kali ini berupa sensor arus dan tegangan

yang dihubungkan dengan *output* TEG. Kegunaan alat ukur ini untuk memastikan secara *real time* berapa arus dan tegangan yang masuk untuk mengisi aki. Selain itu data arus dan tegangan dikumpulkan menjadi data *logger* yang disimpan pada SD Card dengan pengaturan dari mikrokontroler Arduino Uno. Sehingga diperoleh data keluaran tegangan dari sistem TEG yang dibuat. Sensor arus yang digunakan adalah ACS712, sedangkan untuk tegangan sendiri digunakan sistem pembagi tegang. Untuk sensor suhu menggunakan Thermokopel.

3.2.2.4 Pengisian Aki

Berikut merupakan aki yang digunakan untuk pemanfaatan keluaran TEG :

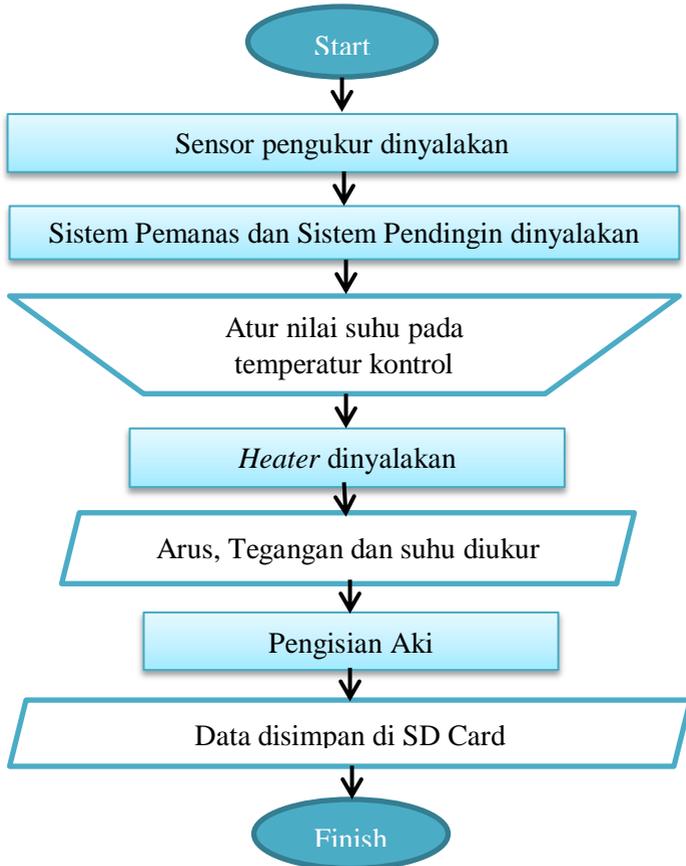


Gambar 3.9. Aki 6 Volt 4,5 Ah

Gambar 3.9 menampilkan aki yang digunakan. Aki yang digunakan berkapasitas 6Volt 4,5Ah dengan jenis aki yaitu *Lead-Acid Battery*.

3.3 Pengambilan Data

Dilakukan pengambilan data untuk mengetahui berapa nilai tegangan serta arus yang dibutuhkan untuk pengisian Aki dengan TEG dilakukan seperti diagram alir dibawah ini :



Gambar 3.10. Diagram Alir Pengambilan Data

Gambar 3.10 menjelaskan diagram alir pengambilan data yang dilakukan. Langkah awal yang dilakukan adalah mengaktifkan seluruh sistem yang kemudian keluaran sistem diukur oleh alat ukur dan disimpan di SD Card. Kemudian tegangan keluaran sistem digunakan untuk mengisi aki.

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana efisiensi kerja TEG pada sistem pemanas yang berbeda, dan mengetahui proses pengisian Aki sebagai aplikasi dari TEG. Langkah kerja yang dilakukan yaitu membuat sistem pemanas dan proses pengisian aki.

4.1 Pengujian Sistem

Pengujian sistem ini bertujuan untuk mengetahui persebaran suhu yang terjadi pada sistem pemanas baru yang telah dibuat. Dengan melakukan kontrol pemanas sebagai penstabil suhu.

4.1.1 Pengujian Sistem Pemanas

Langkah awal dalam mengaktifkan sistem kerja Thermoelektrik Generator atau TEG adalah sumber kalor atau sistem pemanas. Pada tugas akhir kali ini digunakan dua sistem pemanas dimana sistem pemanas 1 telah digunakan pada tugas akhir sebelumnya, sedangkan sistem pemanas 2 merupakan sistem pemanas yang telah diperbarui dari segi bahan yang digunakan dan perlakuan dalam mempertahankan panas dengan menambahkan isolator panas.

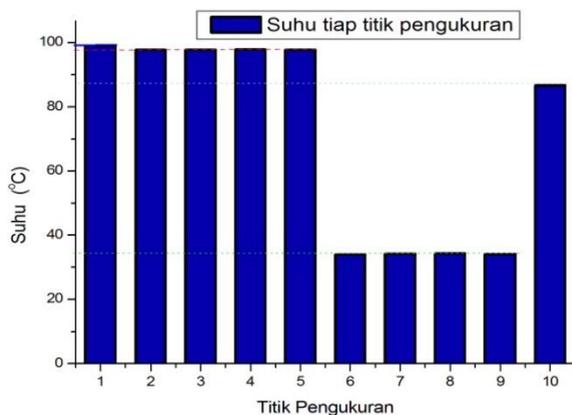
Pengujian sistem pemanas ini dilakukan dengan mengukur kestabilan temperatur pada plat tembaga serta mengukur besar suhu pada kerangka sistem yang sudah diberi isolator panas. Hasil distribusi panas dari sumber *heater* diukur pada titik-titik tertentu yang kemudian akan ditentukan daerah-daerah plat tembaga yang memiliki suhu yang homogen. Dimana suhu plat yang homogen juga menentukan bagaimana TEG dapat bekerja sesuai dengan sistem kerjanya secara maksimal. Pada sistem pemanas kali ini dilakukan uji pengukuran suhu pada titik yang ditentukan untuk mengetahui persebaran panas yang terjadi di sistem pemanas.

Berikut merupakan data pengambilan sampel panas pada 10 titik sistem pemanas yang telah ditentukan seperti pada metodologi :

Tabel 4.1. Hasil pengukuran suhu pada temperatur 100°C pada Heater

| No. | Pada Suhu Heater (°C) | Titik Sistem Pemanas | Suhu titik (°C) | ΔT sumber (°C) |
|-----|-----------------------|----------------------|-----------------|------------------------|
| 1 | 100 | 1 | 98,9 | 1,1 |
| 2 | | 2 | 97,8 | 2,2 |
| 3 | | 3 | 97,76 | 2,24 |
| 4 | | 4 | 97,85 | 2,15 |
| 5 | | 5 | 97,81 | 2,19 |
| 6 | | 6 | 34 | 66 |
| 7 | | 7 | 34,2 | 65,8 |
| 8 | | 8 | 34,3 | 65,7 |
| 9 | | 9 | 34,12 | 65,88 |
| 10 | | 10 | 86,7 | 13,3 |

Dari Tabel 1 terlihat bahwa suhu yang bersumber dari heater mengalami beberapa penurunan pada masing-masing titik. Berikut tampilan grafik untuk hasil pengukuran suhu :



Gambar 4.1. Pengukuran homogenitas suhu

Gambar 4.1 menjelaskan persebaran homogenitas suhu yang terjadi pada sistem pemanas 2. Dimana titik 1 tempat *heater* diletakkan mendapatkan panas yang hampir maksimal dengan selisih suhu dengan sumber *heater* sebesar 1,1 °C. Sedangkan pada titik 2,3,4 dan 5 perbedaan dari sumber kalor yang terjadi yaitu sebesar 2,195 °C. Dan diketahui bahwa kerangka sistem yang terisolasi dapat mempertahankan suhu sumber *heater* sebesar 66 °C di dalam sistem sehingga suhu yang dilepaskan oleh isolator pada lingkungan adalah 34°C, yang artinya panas dari sumber dapat diredam sebesar 66%. Sedangkan penjepit atas plat tembaga yang terbuat dari aluminium hanya dapat mengurangi panas suhu sumber sekitar 13%. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa sistem pemanas kedua dapat bekerja dengan baik. Dengan homogenitas persebaran suhu yang hampir seimbang pada setiap sisinya. Sehingga setiap bagian pemanas dapat mengaktifkan sistem kerja TEG yang relatif homogen. Pada penelitian kali ini titik yang digunakan adalah titik 1 dengan besar luasan yang digunakan 60-120mm x 10-20mm (dimensi dari 3 modul TEG disusun seri).

Untuk pengujian alat ukur dan sistem yang lain yaitu, sistem pendingin, sensor tegangan, sensor arus dan sensor suhu sudah dilakukan pada tugas akhir sebelumnya. Dan diperoleh hasil bahwa sistem dan alat ukur sudah presisi dan layak untuk digunakan pada penelitian kali ini. Selanjutnya akan dilakukan pembuktian efisiensi yang terjadi pada sistem pemanas kedua terhadap TEG tipe SP184827145SA yang digunakan pada tugas akhir sebelumnya.

4.2 Karakterisasi Thermoelektrik Generator

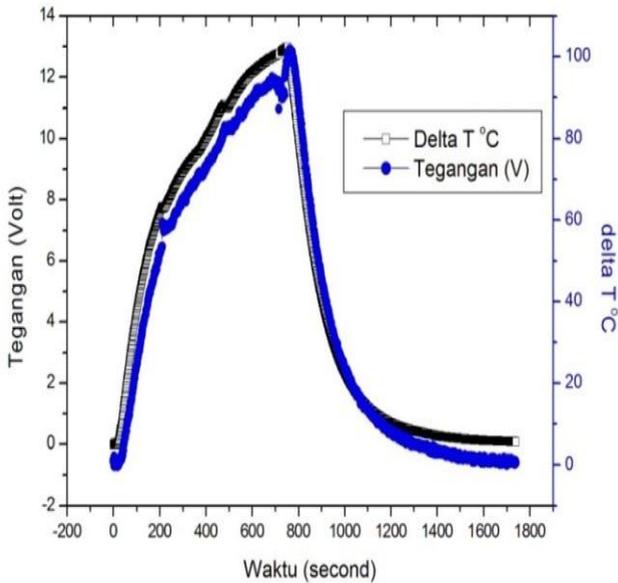
Selanjutnya dilakukan karakterisasi hasil tegangan keluaran masing-masing TEG dengan sistem pemanas 2.

4.2.1 Karakterisasi TEG SP184827145SA dengan sistem pemanas kedua

Karakterisasi TEG SP184827145SA akan dilakukan dengan sistem pemanas 2, yaitu sistem pemanas dengan plat tembaga. Hal ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi sistem

kerja yang terjadi pada sistem pemanas 2 dibanding sistem 1 yang digunakan pada tugas akhir sebelumnya. Mengacu pada data penelitian sebelumnya, bahwa saat TEG tipe SP184827145SA disusun secara seri sebanyak 3 buah menghasilkan tegangan sebesar 12,4V saat ΔT sebesar 100°C .

Berikut merupakan hasil pengujian karakterisasi TEG SP184827145SA dengan sistem pemanas kedua :

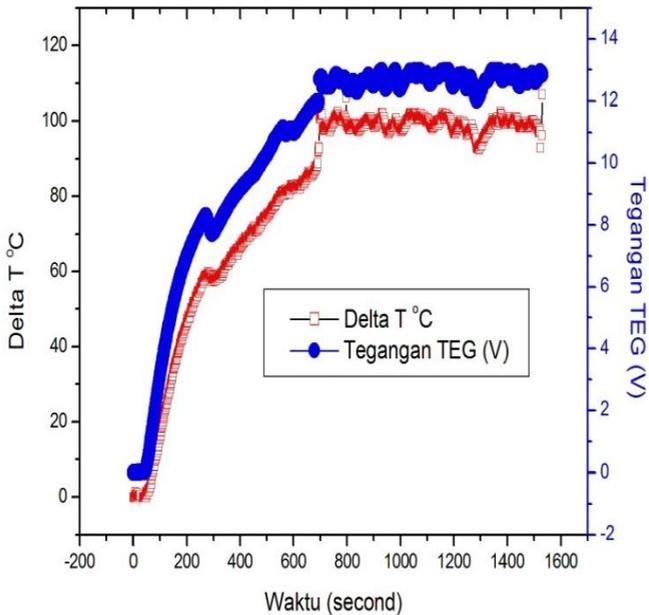


Gambar 4.2. Karakteristik TEG susun seri pada sistem pemanas kedua dengan $\Delta T=100^{\circ}\text{C}$

Dapat dilihat pada Gambar 4.1 karakterisasi TEG SP184827145SA bahwa nilai tegangan bertambah saat nilai ΔT yaitu 100°C , yaitu sebesar 12,95 Volt. Hal ini membuktikan bahwa efisiensi yang terjadi pada sistem pemanas kedua meningkat, terbukti bahwa beda tegangan output yang terjadi sebesar 4,435% dari hasil tegangan sebelumnya. Kemudian

akan dilakukan pengambilan data kembali yang akan menjelaskan bagaimana sistem pemanas kedua mempertahankan suhu stabil saat beroperasi dengan TEG SP184827145SA, dengan besar ΔT yang dibutuhkan yaitu 100°C .

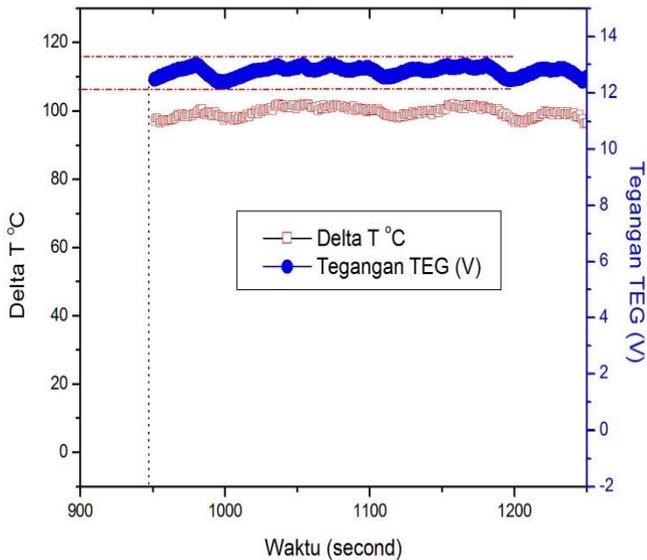
Berikut ini merupakan grafik hasil pengambilan data saat sistem pemanas kedua mempertahankan ΔT sebesar 100°C :



Gambar 4.3. Karakteristik Sistem Pemanas kedua dengan $\Delta T=100^{\circ}\text{C}$

Dapat dilihat pada Gambar 4.2 yang diperoleh bahwa bentuk grafik kenaikan tegangan yang diperoleh hampir sama seperti bentuk grafik kenaikan ΔT yang terjadi pada TEG. Dimana setiap terjadi kenaikan suhu, tegangan pun ikut naik.

Berikut merupakan grafik pembesaran dari kestabilan sistem TEG :

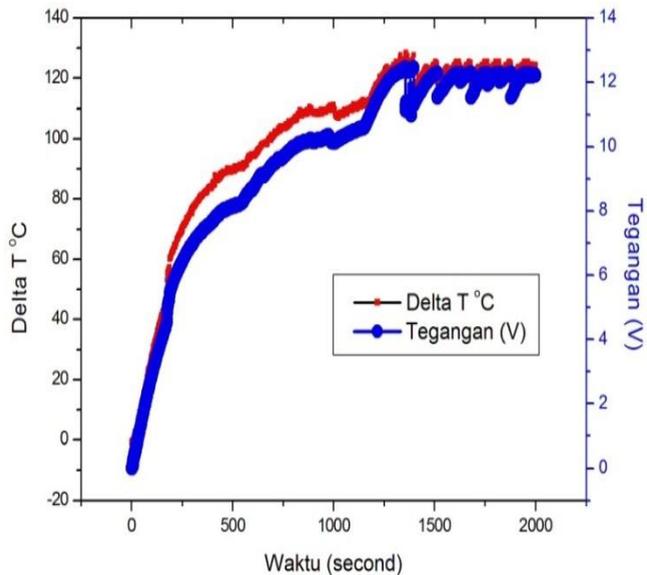


Gambar 4.4. Kestabilan Sistem Pemanas kedua dalam mempertahankan suhu $\Delta T=100^{\circ}\text{C}$

Pada Gambar 4.3 menjelaskan bagaimana sistem pemanas menstabilkan suhu tetap pada rentang $97\text{-}102^{\circ}\text{C}$, dimana sistem kontrol panas menyala hingga mencapai $\Delta T 100^{\circ}\text{C}$. Untuk TEG tipe SP184827145SA ini, modul memiliki aliran arus muatan yaitu berkisar antara $0,13\text{-}0,18$ Ampere saat modul dirangkaian seri sebanyak 3 modul. Sedangkan nilai tegangan yang dikeluarkan saat ΔT optimum adalah sebesar $12,98$ dengan nilai arus sebesar $0,15$ Ampere. Sehingga saat modul TEG SP184827145SA dioperasikan menggunakan sistem pemanas kedua dapat menghasilkan daya sebesar $1,947$ watt.

4.2.2 Pengujian TGPR-1W-2V-21S dengan sistem pemanas kedua

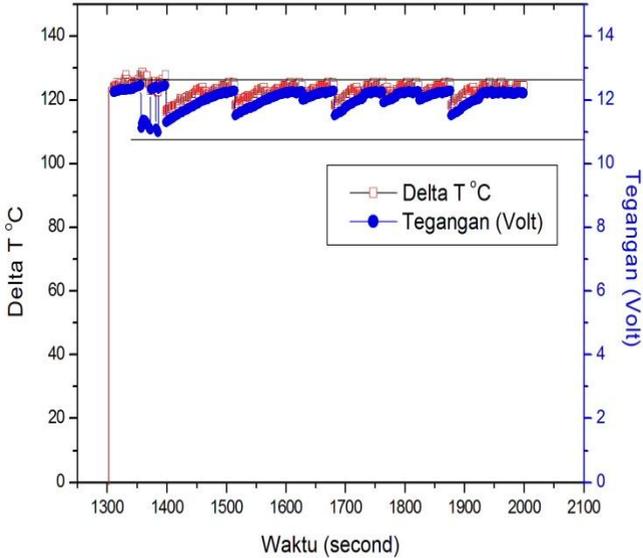
Dilakukan pengambilan data dengan TGPR-1W-2V-21S dengan sistem pemanas 2. Berikut ini merupakan grafik keluaran dari TGPR-1W-2V-21S dengan nilai $\Delta T=124,5^{\circ}\text{C}$ yang distabilkan oleh sistem kontrol pemanas :



Gambar 4.5. Karakteristik Sistem Pemanas kedua dengan $\Delta T=124,5^{\circ}\text{C}$

Dapat dilihat dari Gambar 4.4 diatas, bahwa besar nilai ΔT lebih besar dari nilai tegangan pada suhu tertentu. Dan modul TEG ini dapat menghasilkan tegangan keluaran sebesar 12,29 (plus minus disini dijelaskan)Volt saat 3 modul disusun seri. Serta dapat bekerja hingga panas yang diterima TEG mencapai 200°C dengan selisih suhu hingga $125,25^{\circ}\text{C}$.

Berikut merupakan grafik pembesaran dari uji stabil sistem pemanas pada TGPR-1W-2V-21S :

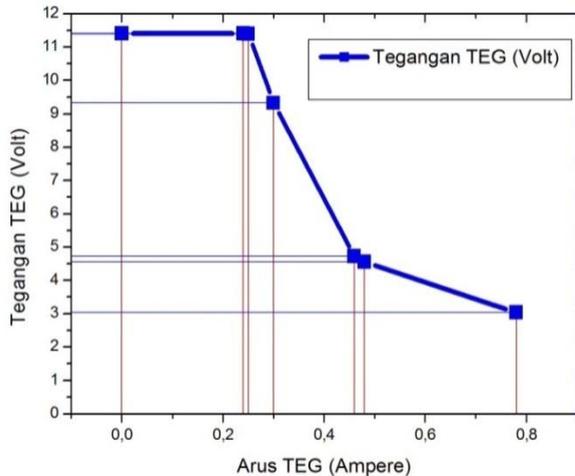


Gambar 4.6. Kestabilan Sistem Pemanas kedua dalam mempertahankan suhu $\Delta T=124,5^{\circ}\text{C}$

Dari Gambar 4.5 diatas dapat terlihat pola yang hampir sama pada nilai tegangan dan selisih suhu yang terjadi pada modul TGPR-1W-2V-21S. Daya yang diperoleh saat TGPR-1W-2V-21S dioperasikan adalah sebesar 2,5809 Watt. Dengan besar selisih suhu yang paling tinggi yaitu $125,25^{\circ}\text{C}$. Sehingga dapat dikatakan bahwa modul TGPR-1W-2V-21S lebih baik dan efisien dalam menghasilkan energi listrik pada kemampuan daya keluaran yang berkisar 1Watt.

Selain dilakukan uji kestabilan sistem pemanas, dilakukan pula pengujian terhadap daya keluaran TEG. Uji pembebanan ini dilakukan dengan memberikan beban berupa resistor keramik dengan 6 nilai resistansi yang berbeda.

Berikut ini merupakan kurva pembebanan yang terjadi pada TGPR-1W-2V-21S saat tegangan TEG maksimal yaitu 12,29 Volt :



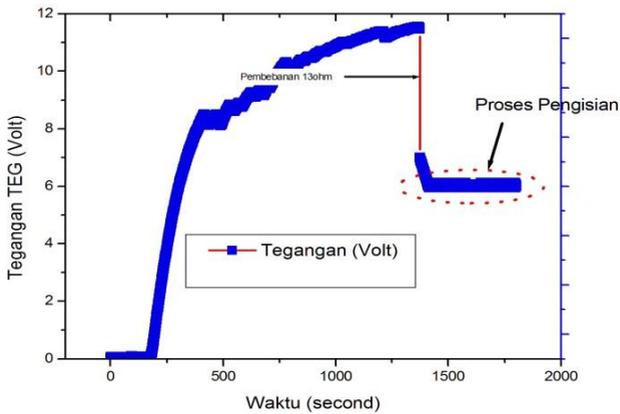
Gambar 4.7. Kurva Pembebanan pada TGPR-1W-2V-21S

Dari Gambar 4.6, diperoleh informasi bahwa ketika tegangan dipertahankan pada nilai 11,4 Volt maka arus yang terjadi pada TEG bernilai rendah yaitu 0,224 Ampere. Sedangkan jika dipertahankan pada tegangan terendahnya 3,03 Volt arus yang terjadi semakin besar yaitu 0,78 Ampere.

4.3 Pengisian Aki sebagai Aplikasi dari Thermoelektrik Generator

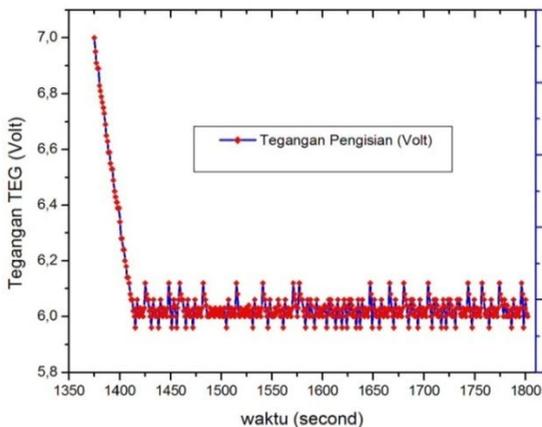
Dilakukan pengisian Aki 6Volt 4,5Ah sebagai aplikasi pemanfaatan tegangan keluaran dari TEG. Berdasarkan kurva pembebanan pada analisa data TGPR-1W-2V-21S, dapat disimpulkan bahwa Aki dapat terisi dengan tegangan yaitu 6Volt dengan posisi besar nilai arus berkisar 0,43-0,45 Ampere. Dilakukan pula perhitungan matematis dan diperoleh nilai hambatan yang tepat digunakan untuk pengisian Aki yaitu 13 Ω .

Dan diperoleh grafik pengisian baterai dengan jangka waktu yaitu 30 menit (1800 detik) sebagai berikut :



Gambar 4.8. Kurva Pengisian Aki

Dari Gambar 4.7 TEG dikondisikan mencapai tegangan maksimal, kemudian diberi beban sesuai dengan perhitungan matematis lalu dilakukan pengisian Aki. Untuk lebih jelasnya berikut grafik pengisian yang dilakukan :



Gambar 4.9. Kurva Pengisian Aki dengan tegangan 6Volt

Dari Gambar 4.8 diatas, menampilkan bahwa nilai tegangan dan arus yang digunakan untuk pengisian sudah tepat. Dapat dilihat dari konstannya tegangan saat pengisian. Pada penelitian kali ini hanya dilakukan pengisian selama 30 menit bertujuan untuk mengetahui bagaimana sistem dapat memberi tegangan konstan untuk pengisian Aki. Sedangkan untuk waktu sebenarnya berkisar antara 10 hingga 11jam untuk pengisian agar Aki 6Volt 4,5Ah dapat terisi penuh, hal ini ditinjau dari daya yang dihasilkan Aki sebesar 27 Watt, sedangkan daya output TEG saat 6Volt dan 0,43 Ampere hanya berkisar 2,5-2,58 Watt.

Hal terpenting dalam pengisian suatu Aki atau baterai yaitu kestabilan arus yang diberikan, karena suatu sumber tegangan hanya dapat di isi kembali dengan sumber arus yang memiliki nilai tegangan yang sama seperti yang tertera pada Aki yang akan di isi. Karena cepat lambat pengisian Aki sangat bergantung pada besar arus yang diinjeksikan. Selain itu, batas maksimal arus yang diinjeksikan pada pengisian Aki yaitu 10% dari spesifikasi Aki itu sendiri. Dimana Aki yang digunakan memiliki spesifikasi arus sebesar 4,5 Ah yang artinya arus maksimal injeksi yaitu berkisar 0,45 Ampere. Sehingga nilai arus output pada TGPR-1W-2V-21S sudah memenuhi ketentuan pengisian pada Aki yaitu berkisar 0,41-0,43 Ampere.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian Tugas Akhir dengan judul “**Pengaruh Efisiensi Kerja Thermoelektrik Generator untuk Pengisian Aki**” diperoleh kesimpulan bahwa :

1. Pembaruan sistem pemanas dengan menggunakan *sield* Alumunium dapat meningkatkan tegangan keluaran Thermoelektrik Generator sebanyak 4,435% dari penelitian sebelumnya dengan menggunakan SP184827145SA yaitu sebesar $0,55 \pm 0,05$ Volt (dengan toleransi alat ukur 5% atau 0,05 Volt).
2. Pada pengaplikasian pengisian Aki digunakan TGPR-1W-2V-21S yang dapat menghasilkan tegangan sebesar $6 \pm 0,05$ Volt dengan besar arus $0,43 \pm 0,015$ Ampere yang memerlukan lama waktu pengisian 10jam.

5.2 Saran

Berikut saran untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Alat ukur yang digunakan pada penelitian dapat dipermanenkan dan dibuat lebih stabil agar sistem bekerja dengan lebih baik.
2. Jika dilakukan perbaikan untuk kedepan, diharapkan untuk menggunakan sumber panas yang alami seperti panas pada sumber air panas atau panas yang dihasilkan dengan gas methana (biogas).
3. Dan sistem dapat dibuat dengan pemanasan serta pendinginan mandiri juga portabel (dapat dibawa kemana-mana).

**sield*=kerangka sistem pemanas

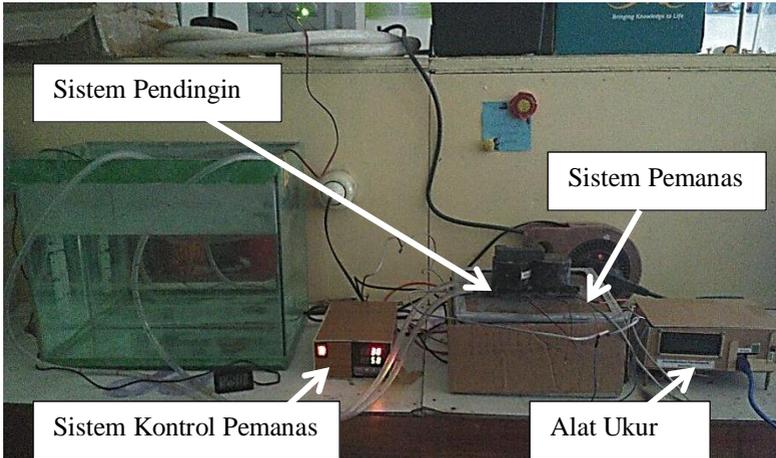
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Daftar Pustaka

- Abrar, Muhammad. 2016. “Studi Karakterisasi Modul Generator Termoelektrik Tipe SP184827145SA”. Fisika-FMIPA, ITS-Surabaya.
- Aditya, Emy. 2015. “Rancang Bangun Sistem Pengendali Pengisian Baterai Lead Acid pada Panel Surya Menggunakan Metode Multistage Charging”. Fisika-FMIPA, ITS-Surabaya.
- Anonim (Siskalia). 2009. “Rancang Bangun Sistem Refrigerasi Cooling Box Berbasis Termoelektrik pada Penyimpanan Darah Manusia”. Polban, Indonesia.
- Fahlevi, R.G. 2015. Rancang Bangun Catu Daya Dengan Sumber Arus Konstan Untuk Geolistrik Resistivitas Meter. Dipublikasi di: Surabaya.
- Holman, J.P. 1994. Perpindahan Kalor Edisi Keenam, Alih Bahasa Ir. E. Jasjfi, Msc, Erlangga, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Nandy Putra, Raldi Artono Koestoer, M. Adhitya, Ardian Roekettino, dan Bayu Trianto. 2009. “Potensi Pembangkit Daya Termoelektrik Untuk Kendaraan Hibrid”. Depok 16424, Indonesia.
- Rachman, Haolia. 2008. “Penggunaan Modul Termoelektrik” . Fakultas Teknik – Universitas Indonesia, Jakarta.
- Ryanuargo, Syaiful Anwar, Sri Poernomo Sari. 2013. “Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensor pada Sistem Pendingin”. Universitas Gunadarma, Jakarta 12540.
- Scott F, Michael Shiloh. 2012 . “The Arduino Projects Book”. Torino, Italy.
- Snyder, G. Jeffrey. 2008 . “Small Thermoelectric Generators,” The Electrochemical Society Interface, Fall.
- Sugiyanto, Soeadgihardo S. 2013 . “Perbandingan Penggunaan Thermoelectric Generator Tipe TEG127-40A dengan TEG126-40A sebagai Media Konversi Panas Menjadi Listrik pada Kompor Gas LPG dengan Pendinginan

- Alami” . Universitas Gajah Mada, Sleman – Yogyakarta.
- Sugiyanto, Soeadgihardo S. 2014 . “Pemanfaatan Panas pada Kompor Gas LPG untuk Pembangkit Energi Listrik Menggunakan Generator Termoelektrik” . Universitas Gajah Mada, Sleman – Yogyakarta.
- S. L. Soo. 1968. Direct Energy Conversion, London, UK: Prentice Hall.
- X.F. Zheng, C.X. Liu, Y.Y. Yan*,Q.Wang. 2014. “A Review of Thermoelectrics Research – Recent Developments and Potentials for Sustainable and Renewable Energy Applications”. Nottingham NG7 2RD, UK.
- Zheng, J-C. 2008. “Recent Advances on Thermoelectric Materials”. Departement of Physics, Xiamen University, Brookhaven National Laboratory, New York-USA.
- Zuryati Djafar, Nandy Putra, R.A Koestoer. 2010 . “Pengaruh Variasi Temperatur Fluida Panas terhadap Karakteristik Modul Termoelektrik Generator” . Universitas Indonesia, Depok – Indonesia.

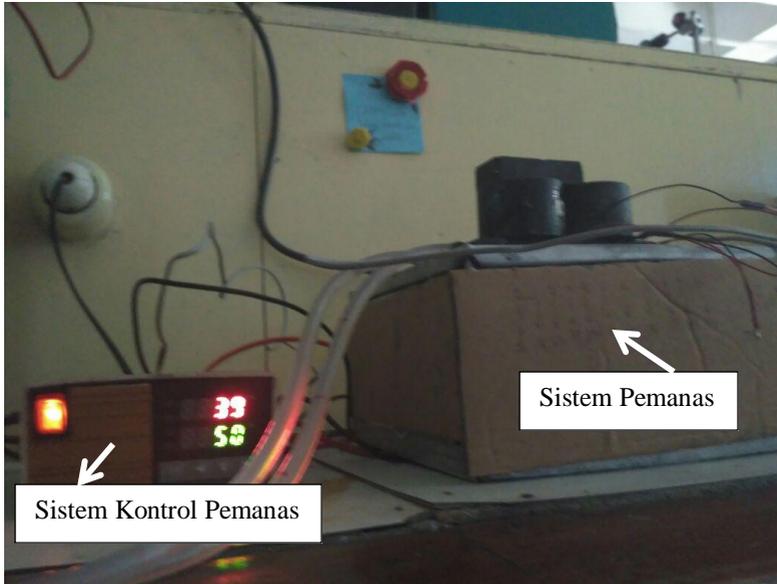
LAMPIRAN A



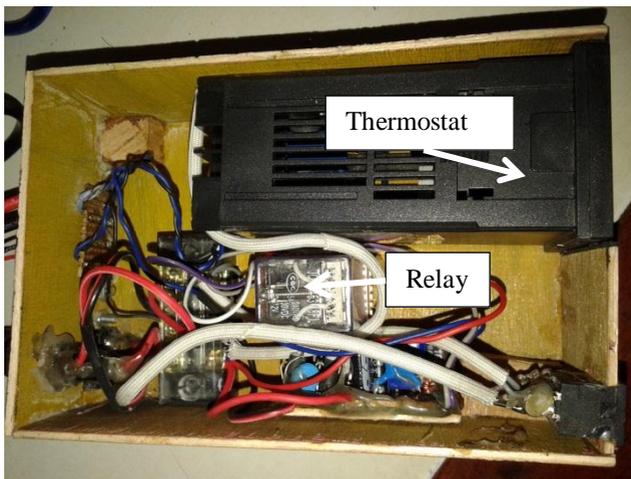
Gambar 1. Rancang Bangun Keseluruhan Sistem



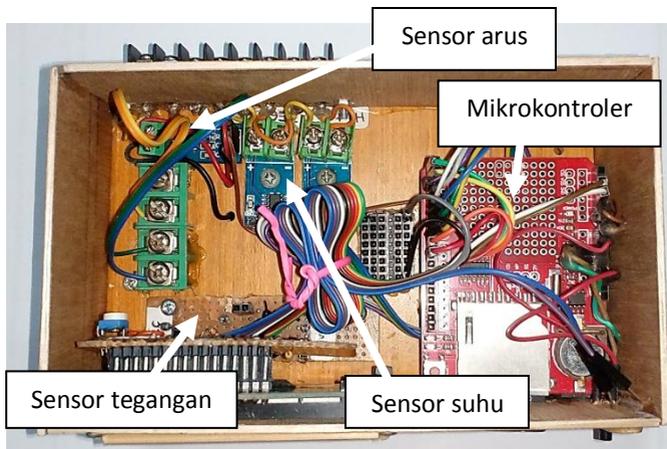
Gambar 2. Sistem Pendingin



Gambar 3. Sistem Pemanas



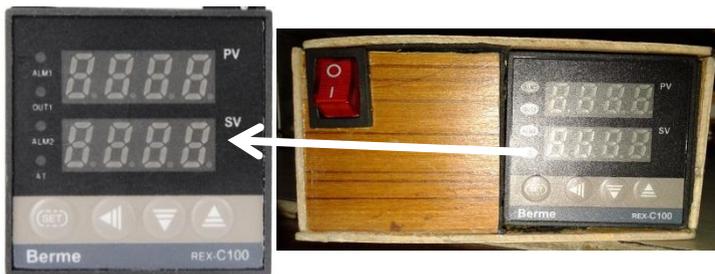
Gambar 4. Bagian Kontrol Sistem Pemanas



Gambar 5. Bagian dalam alat ukur

Alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Thermostat Berme rex-C100



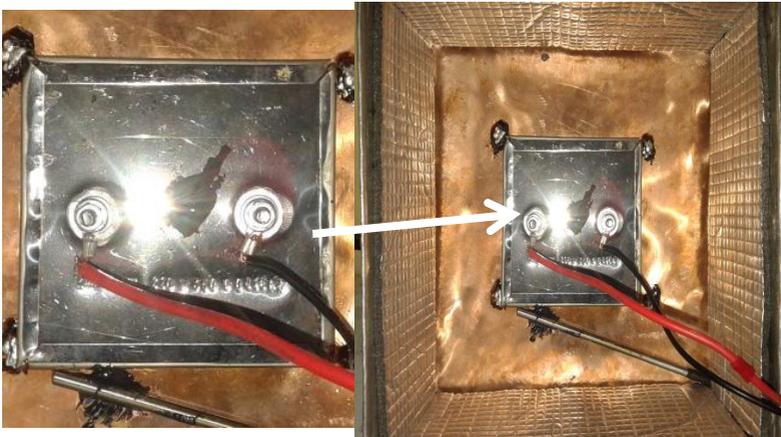
Gambar 6. Thermostat Berme rex-C100

Spesifikasi :

- Dimensi 10x5x5 cm
- Input tipe :
 - thermokopel K,J,R,S,B,E,T,N,PLII,U,L
 - RTD Pt100
- Metode kontrol PID

- Relay output 250V AC,1 A
- Power : 85-264V AC 50/60 Hz
- Berat : 170 gram
- Akurasi $\pm (0.5 \% \text{ display value} + 1 \text{ digit})$ atau $\pm 3^{\circ}\text{C}$
- Pengukuran maskimal 400°C
- Daya 6-9 Watt

2. *Heater Strip*

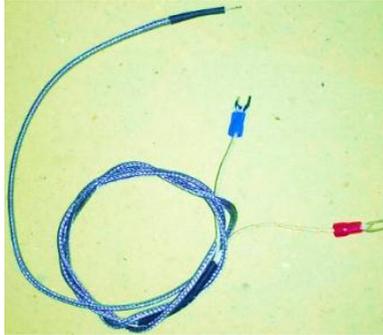


Gambar 7. *Heater Strip*

Spesifikasi :

- Daya 350 Watt
- Suhu maksimal $\pm 350^{\circ}\text{C}$
- Dimensi 10x10x0.5 cm
- Input power 60-260 V AC

3. Thermokopel



Gambar 8. Thermokopel tipe K

Spesifikasi :

- Input tipe flat
- Probe diameter 0.88mm
- Material insulated shielding
- Rentang suhu -50-400 °C
- Panjang \pm 50cm

4. Waterblock



Gambar 9. Waterblock

Spesifikasi :

- Dimensi Waterblock hitam 12x4x1
- Diameter lubang 0.9 cm
- Material aluminium

5. Pompa DC



Gambar 10. Pompa air submersible

Spesifikasi :

- Power input DC 12V
- Debit air ± 3 liter/menit
- Noise 30DB
- Dimensi 37x47x40 mm
- Daya angkat maksimal 3 meter
- Material ABS
- Tipe Submersible (dalam air)
- Waktu Pemakaian ± 30.000 jam

6. Aquarium



Gambar 11. Aquarium berukuran 33x20x23 cm

7. Thermometer digital



Gambar 12. Thermometer Digital

Spesifikasi :

- Rentang pengukuran -50-110°
- Akurasi $\pm 1^{\circ}\text{C}$
- Resolusi 0.1°C
- Input 1.5V DC (baterai LR44)

8. MAX6675 Thermocouple K module



Gambar 13. Thermometer Digital

Spesifikasi :

- Input power 3.0-5.5 VDC
- Rentang pengukuran 0-1024°C atau -20-(+85)°C
- Resolusi 0.25°C
- Output sinyal digital

9. ACS712



Gambar 14. ACS712 sensor arus

Spesifikasi :

- Input 4.5-5.5 V DC
- Error $\pm 1.5 \%$
- Pengukuran Arus max 5A

10. SP184827145SA



Gambar 15. Modul TEG yang di uji

Spesifikasi :

- Dimensi 40x40x3,5 mm
- Berat 26 gr
- Material *Bismuth Telluride*
- Pada :

$\Delta T 20^{\circ}\text{C} : 0.97\text{V}/225\text{MA}$

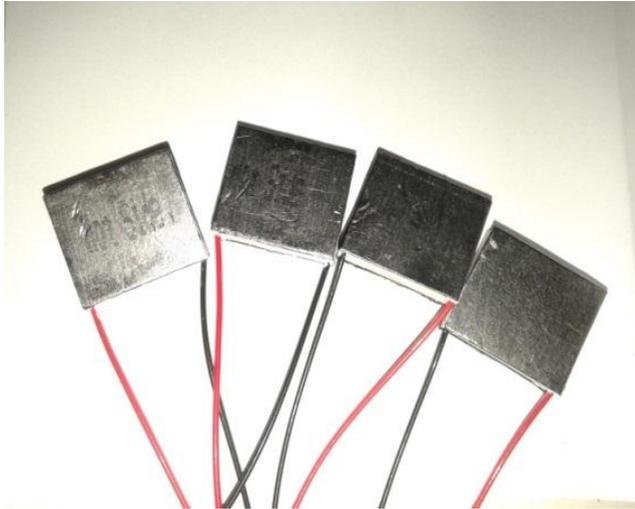
$\Delta T 40^{\circ}\text{C} : 1.8\text{V}/368\text{MA}$

$\Delta T 60^{\circ}\text{C} : 2.4\text{V}/469\text{MA}$

$\Delta T 80^{\circ}\text{C} : 3.6\text{V}/558\text{MA}$

$\Delta T 100^{\circ}\text{C} : 4.8\text{V}/669\text{MA}$

11. TGPR-1W-2V-21S



Gambar 16. Modul TGPR-1W-2V-21S yang di uji

Spesifikasi :

- Dimensi 21x18x5 mm
- Berat 20 gr
- Material *Bismuth Telluride*
- Pada disusun 3 secara seri:
 $\Delta T 20^{\circ}\text{C} : 2.37\text{V}/220\text{MA}$
 $\Delta T 60^{\circ}\text{C} : 6.2\text{V}/234\text{MA}$
 $\Delta T 100^{\circ}\text{C} : 10,12\text{V}/214\text{MA}$
 $\Delta T 125^{\circ}\text{C} : 12,29\text{V}/210\text{MA}$

12. Multimeter Krisbow



Gambar 17. Multimeter Krisbow KW06-270

Spesifikasi :

- Input power baterai 9V
- Resolusi 0.1 mV (Akurasi 0.5%+2)
- Resolusi 0.01 μ A (akurasi 1.0%+2)

13. Thermometer TM-903A LUTRON



Gambar 18. Thermometer TM-903A

Spesifikasi :

- Pengukuran -30-1370 °C (-30-2000 °F)
- Resolusi 0.1 °C/F

- Berat 227 gr
- Akurasi $\pm 1\%$
- Tipe J dan K thermokopel
- Input 9V baterai
- 4 channel input

14. Aki Panasonic 6Volt 4,5Ah



Gambar 19. Aki Panasonic 6 Volt 4,5 Ah

Spesifikasi :

- Cycle use : 7.25 V- 7.45 V (25°C)
- Standby use : 6.8V-6.9 V (25°C)
- Nomor model LC-R064R5CH
- Lead-Acid Battery
- Dimensi 68x98x46mm

15. Resistor Keramik



Gambar 20. Resistor Keramik

Spesifikasi :

| Resistansi (Ω) |
|-------------------------|
| 1k ohm 10watt |
| 4R7J 20watt |
| 5.6 ohm 10watt |

- Dapat dilewati arus yang cukup besar sesuai kapasitas daya

LAMPIRAN B
Data hasil penelitian

Tabel 1. Data Penelitian menggunakan TEG Tipe SP184827145SA dengan sistem pemanas Kedua

| No. | Tegangan (Volt) | Arus (Ampere) | T (Heater) (°C) | T(TEG) (°C) | ΔT (°C) |
|-----|-----------------|---------------|-----------------|-------------|---------|
| 915 | 12,79 | 0,14 | 138,75 | 39,25 | 99,5 |
| 916 | 12,79 | 0,16 | 138,75 | 39,5 | 99,25 |
| 917 | 12,83 | 0,16 | 138,75 | 38,75 | 100 |
| 918 | 12,83 | 0,16 | 139,25 | 38,75 | 100,5 |
| 919 | 12,89 | 0,15 | 138,75 | 39,25 | 99,5 |
| 920 | 12,89 | 0,15 | 139,25 | 39,5 | 99,75 |
| 921 | 12,89 | 0,16 | 139,75 | 39,25 | 100,5 |
| 922 | 12,94 | 0,15 | 139,75 | 39 | 100,75 |
| 923 | 12,94 | 0,15 | 139,75 | 39 | 100,75 |
| 924 | 12,94 | 0,14 | 139,75 | 39 | 100,75 |
| 925 | 12,94 | 0,16 | 139,75 | 39,5 | 100,25 |
| 926 | 12,94 | 0,16 | 139,75 | 39 | 100,75 |
| 927 | 12,95 | 0,15 | 139,75 | 39 | 100,75 |
| 928 | 12,96 | 0,17 | 140 | 39,5 | 100,5 |
| 929 | 12,96 | 0,16 | 139,75 | 39,5 | 100,25 |
| 930 | 12,98 | 0,15 | 140,25 | 39,5 | 100,75 |

❖ Perhitungan Efisiensi Kerja pada TEG SP184827145SA dengan sistem pemanas kedua

Nilai tegangan dengan sistem pemanas 1 = 12,4 Volt (V0)

Nilai tegangan dengan sistem pemanas 2 = 12,95 Volt (V1)

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi (\%)} &= \frac{V1-V0}{V0} \cdot 100\% \\ &= \frac{12,95-12,4}{12,4} \cdot 100\% = 4,435\% \end{aligned}$$

❖ Perhitungan Resistansi untuk pengisian aki

Nilai tegangan pembebanan yang diinginkan = 6 Volt

Nilai arus pada pembebanan = 0,41-0,43 Ampere

Perhitungan :

$$R = \frac{V}{I} = \frac{6}{0,43} = 13,95 \Omega (\pm 13 \Omega)$$

❖ Perhitungan Waktu pengisian aki

Nilai daya pada Aki (6 Volt x 4,5 Ah) = 27 Watt.hours

Nilai daya *output* TEG (6 Volt x 0,43 A) = 2,58 Watt

Perhitungan :

$$t \text{ (jam)} = \frac{\text{Daya aki}}{\text{Daya TEG}} = \frac{27}{2,58} = 10,46 \text{ jam } (\pm 10 \text{ jam})$$

Tabel 2. Data Penelitian menggunakan TEG Tipe dengan sistem pemanas Kedua

| No. | Tegangan (Volt) | Arus (Ampere) | T (Heater) (°C) | T(TEG) (°C) | ΔT (°C) |
|------|-----------------|---------------|-----------------|-------------|---------|
| 1855 | 12,23 | 0,18 | 197 | 72,75 | 124,25 |
| 1856 | 12,23 | 0,19 | 197,5 | 73 | 124,5 |
| 1857 | 12,23 | 0,2 | 197,5 | 73,25 | 124,25 |
| 1858 | 12,23 | 0,2 | 198,25 | 74,25 | 124 |
| 1859 | 12,23 | 0,19 | 197,5 | 73 | 124,5 |
| 1860 | 12,23 | 0,2 | 197,5 | 73,25 | 124,25 |
| 1861 | 12,23 | 0,2 | 198,25 | 74,25 | 124 |
| 1862 | 12,23 | 0,21 | 198,5 | 74 | 124,5 |
| 1863 | 12,21 | 0,19 | 198,5 | 74,25 | 124,25 |
| 1864 | 12,25 | 0,19 | 198,75 | 74,5 | 124,25 |
| 1865 | 12,23 | 0,21 | 199 | 74,5 | 124,5 |
| 1866 | 12,23 | 0,22 | 199,25 | 74,5 | 124,75 |

| | | | | | |
|------|-------|------|--------|-------|--------|
| 1867 | 12,23 | 0,22 | 199,25 | 74 | 125,25 |
| 1868 | 12,25 | 0,2 | 199,5 | 74 | 125,5 |
| 1869 | 12,25 | 0,21 | 197,75 | 74 | 123,75 |
| 1870 | 12,27 | 0,21 | 198,5 | 74,5 | 124 |
| 1871 | 12,25 | 0,22 | 198,5 | 74,5 | 124 |
| 1872 | 12,27 | 0,22 | 199 | 74,75 | 124,25 |
| 1873 | 12,27 | 0,19 | 198,75 | 74,5 | 124,25 |
| 1874 | 12,29 | 0,2 | 198,25 | 75 | 123,25 |
| 1875 | 12,29 | 0,21 | 199,25 | 74 | 125,25 |

Tabel 3. Pembebanan pada TGPR-1W-2V-21S

| Resistansi (Ω) | Suhu ($^{\circ}\text{C}$) | | Tegangan (Volt) | Arus (Ampere) |
|-------------------------|-----------------------------|-------|-----------------|---------------|
| | | | | |
| 1k ohm | 190,85 | 75,35 | 11,4 | 0,24 |
| 100RJ | 182,35 | 78,1 | 11,39 | 0,25 |
| 4R7J | 191,85 | 75,85 | 9,33 | 0,3 |
| 10RJ | 180,35 | 82,85 | 4,72 | 0,46 |
| 12 ohm J | 182,1 | 83,35 | 4,56 | 0,48 |
| 5.6 | 191,35 | 82,35 | 3,03 | 0,78 |

Tabel 4. Pengisian Aki dengan TGPR-1W-2V-21S

| No. | Tegangan (Volt) | Arus (Ampere) | T (Heater) ($^{\circ}\text{C}$) | T(TEG) ($^{\circ}\text{C}$) |
|------|-----------------|---------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1385 | 6,73 | 0.39 | 193.50 | 76.75 |
| 1386 | 6,69 | 0.38 | 193.50 | 76.00 |
| 1387 | 6,65 | 0.36 | 193.50 | 76.00 |
| 1388 | 6,63 | 0.4 | 193.50 | 76.25 |
| 1389 | 6,59 | 0.39 | 193.25 | 76.00 |
| 1390 | 6,59 | 0.4 | 193.50 | 75.75 |
| 1391 | 6,55 | 0.39 | 193.25 | 76.25 |
| 1392 | 6,53 | 0.39 | 194.25 | 76.50 |
| 1393 | 6,53 | 0.38 | 194.00 | 76.50 |

| | | | | |
|------|------|------|--------|-------|
| 1394 | 6,49 | 0.37 | 193.50 | 76.75 |
| 1395 | 6,45 | 0.4 | 193.50 | 76.75 |
| 1396 | 6,43 | 0.39 | 193.50 | 76.00 |
| 1397 | 6,41 | 0.38 | 193.50 | 76.00 |
| 1398 | 6,39 | 0.41 | 193.50 | 76.25 |
| 1399 | 6,39 | 0.4 | 193.25 | 76.00 |
| 1400 | 6,34 | 0.39 | 193.50 | 75.75 |
| 1401 | 6,28 | 0.38 | 193.25 | 76.25 |
| 1402 | 6,28 | 0.41 | 194.25 | 76.50 |
| 1403 | 6,24 | 0.39 | 194.00 | 76.50 |
| 1404 | 6,24 | 0.39 | 193.50 | 76.75 |
| 1405 | 6,2 | 0.41 | 193.50 | 76.75 |
| 1406 | 6,18 | 0.4 | 193.50 | 76.00 |
| 1407 | 6,14 | 0.41 | 193.50 | 76.00 |
| 1408 | 6,14 | 0.42 | 193.50 | 76.25 |
| 1409 | 6,12 | 0.41 | 193.25 | 76.00 |
| 1410 | 6,08 | 0.42 | 193.50 | 75.75 |
| 1411 | 6,06 | 0.42 | 193.25 | 76.25 |

BIODATA PENULIS



Perkenalkan nama saya Shanti Candra Puspita, biasa dipanggil Cepe. Saya anak pertama dari dua bersaudara. Ayah saya bernama Ermansyah Yuniartono dan Ibunda saya bernama Rinta Dyah. Surabaya adalah kota dimana saya dilahirkan dan dibesarkan. Tanggal lahir saya yaitu tanggal 7 bulan Agustus tahun 1994. Riwayat pendidikan saya di mulai dari TK Tunas Muda Surabaya (1998-

2000), kemudian melanjutkan pendidikan di SD Negeri Sawunggaling VIII Surabaya (2000-2006) lalu SMP Negeri 6 Surabaya (2006-2009) dan SMA Negeri 18 Surabaya (2009-2012). Dan Melanjutkan pendidikan S1 di jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam di Kampus Biru yaitu Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Sebenarnya Fisika bukan bidang keahlian saya, sejak awal kuliah saya merasa tidak bisa mengikuti dengan baik. Tetapi jika memang sesuatu ditakdirkan untuk saya maka sesulit apapun jalannya hal itu akan dapat dilalui. Berkat semangat dan keteguhan hati juga kasih sayang teman dan keluarga, saya bulatkan tekad untuk tetap menjalani kuliah yang bertentangan dengan keahlian saya ini dan Alhamdulillah saya sudah berhasil sampai dengan pembuatan Tugas Akhir ini. Selama masa perkuliahan saya aktif di komunitas robot Fisika serta berkesempatan menjadi Asisten Laboratorium elektronika dasar tahun 2014-2015, dan Asisten Laboratorium Instrumentasi Fisika. Selain itu saya juga sempat menjadi anggota Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMASIKA), dan juga sempat merasakan pengkaderan yang luar biasa dari ITS. Sekian tulisan saya, jika ada kritik atau saran terhadap Tugas Akhir saya silahkan menghubungi via email. Terima Kasih

shanticepe@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”