



TUGAS AKHIR – SF 141501

**STUDI KARAKTERISASI MODUL GENERATOR
THERMOELEKTRIK TIPE SP184827145SA**

**MUHAMMAD ABRAR
NRP 1111100068**

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

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



TUGAS AKHIR - SF 141501

**STUDI KARAKTERISASI MODUL GENERATOR
THERMOELEKTRIK TIPE SP 184827145SA**

**Muhammad Abrar
NRP 1111 100 068**

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

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT - SF 141501

**A RESEARCH ON CHARACTERIZATION
THERMOELECTRIC GENERATOR MODULES
TYPE SP184827145SA**

**Muhammad Abrar
NRP 1111 100 068**

**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 2016**

**STUDI KARAKTERISASI MODUL GENERATOR
THERMOELEKTRIK TIPE SP184827145SA**

TUGAS AKHIR

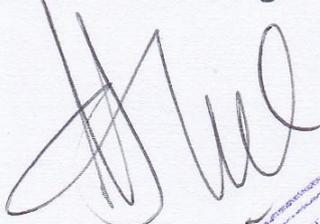
**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Instrumentasi
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:
MUHAMMAD ABRAR
NRP 1111100068

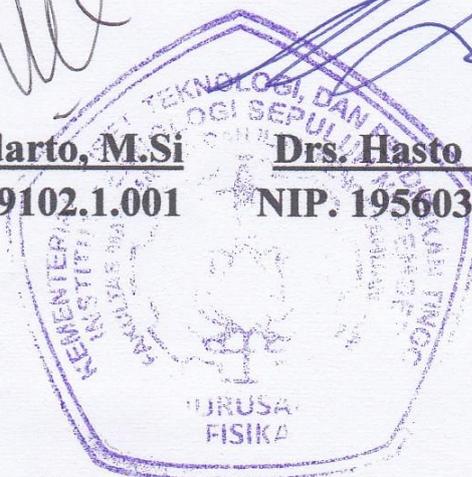
Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


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


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



Surabaya, Juni 2016

STUDI KARAKTERISASI MODUL GENERATOR THERMOELEKTRIK TIPE SP184827145SA

Nama : Muhammad Abrar
NRP : 1111100068
Jurusan : Fisika FMIPA ITS
Pembimbing : Drs. Bachtera Indarto, M.Si
Drs. Hasto Sunarno, M.Sc

Abstrak

Telah dilakukan penelitian mengenai Studi Karakterisasi Modul Generator Thermoelektrik Tipe SP184827145SA. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem yang dapat mengkarakterisasi modul generator thermoelektrik, mengetahui spesifikasi alat yang dirancang dan mengetahui karakteristik modul generator thermoelektrik tipe SP184827145SA melalui pengukuran dengan alat yang telah diuji. Alat yang telah dirancang dapat mengkarakterisasi modul generator thermoelektrik berupa perubahan nilai tegangan, arus dan suhu per satu detik lalu disimpan kedalam SD Card. Rentang sensor tegangan yang telah dibuat dapat mengukur antara 0.15-21 Volt, Untuk sensor arus dapat mengukur antara 0.05-5 Ampere sedangkan sensor suhu yang telah dibuat dapat mengukur antara 0-1024°C dengan resolusi 0.25°C. Setelah dilakukan pengukuran pada $T = 100^{\circ}\text{C}$ modul thermoelektrik tipe SP184827145SA mempunyai nilai *open voltage* 4.4V dengan daya 0.6Watt sedangkan ketika disusun seri sebanyak 3 buah sebesar 12.4V dengan daya 1.9 Watt.

Kata Kunci : *efek thermoelektrik, generator thermoelektrik, mikrokontroler Atmega328*

**A RESEARCH ON CHARACTERIZATION
THERMOELECTRIC GENERATOR MODULES
TYPE SP184827145SA**

Name : Muhammad Abrar
NRP : 1111100068
Major : Physics, FMIPA-ITS
Advisor : Drs. Bachtera Indarto, M.Si
Drs. Hasto Sunarno, M.Sc

Abstract

A Research On Characterization Thermoelectric Generator Modules Type SP184827145SA has been carried out. This research aims to designing systems that can characterize thermoelectric generator modules, to determine the specification of the device, to characterize TEG modules SP184812745SA through measurment with the device which has been designed. The device that has been tested can measure the value of voltage,current,temperature per one second and save it into the SD Card. The device can measure the voltage from 0.15-21 Volts, the current flow from 0.05-5 Ampere and measure the temperature from 0-1024°C. After the measurement at T 100°C SP184827145SA thermoelectric generator module has a value of open voltage is 4.4V with 0.6Watt power, whereas when arranged in series of 3 pieces is 12.4V with 1.9 Watt power.

Keywords: *generator thermoelectric, microcontroller Atmega 328 and thermoelectric effect*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat-Nya, petunjukNya atas nikmat iman, islam, dan ikhsan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “*Studi Karakterisasi Modul Generator Thermoelektrik Tipe SP184827145SA*” dengan optimal dan tepat waktu. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Atas bantuan, dorongan, dan juga bimbingan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut, maka penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak dan ibu tercinta, Yusmar dan Sofie Yulianti, yang telah memberikan semua hal terbaik bagi penulis sejak kecil hingga sampai saat ini.
2. Ibu nurul atas seluruh dukungan, doa, dan motivasi yang diberikan kepada penulis.
3. Kakak dan adik tercinta Muhammad Fadli, Iffah Kurniati, Muhammad Iqbal dan Syaira yang selalu memberikan dukungan.
4. Drs. Bachtera Indarto, M.Si dan Drs. Hasto Sunarno, M.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir dan dosen wali penulis yang telah membagi pengalaman serta memberikan pengarahan selama proses penelitian dan penyusunan laporan.
5. Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
6. Dr. Dra. Melania Suweni Muntini, MT. selaku Ketua Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi yang selalu memberikan dukungan dan motivasinya kepada mahasiswa Di lingkungan Laboratorium Elektronika.

7. Seluruh Civitas Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi yang selalu memberikan masukan dalam setiap diskusi dan telah berbagi ilmu kepada penulis khususnya kepada Pak Diky sebagai dosen pendamping Laboratorium Elektronika serta teman-teman penulis dibidang minat Elektronika dan Istrumentasi yaitu Gusti, Santi, Mas Choirul, Mas Fahrur, Mas Samsul, Yaka dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
8. Ra'idah Syarifah yang telah memberikan waktu dan semangatnya kepada penulis.
9. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

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

Surabaya, Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sejarah Thermoelektrik	5
2.2 Efek Thermoelektrik.....	8
2.3 Prinsip Kerja Thermoelektrik	10
2.4 Modul Thermoelektrik Di Pasaran	11
2.5 Perpindahan Panas	12
2.6 Arus dan Tegangan	13
2.7 Daya Listrik	15
2.8 Sensor Tegangan	16
2.9 Arduino Uno	17

BAB III METODOLOGI	19
3.1 Alat dan Bahan	19
3.2 Prosedur Eksperimen	19
3.2.1 Perancangan Umum Sistem	19
3.2.2 Perancangan Alat.....	20
3.2.3 Pengujian Alat	23
3.3 Pengambilan Data	24
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Pengujian Karakteristik Alat	25
4.1.1 Pengujian Karakteristik Sistem Pemanas	25
4.1.2 Pengujian Karakteristik Sistem Pendingin	26
4.1.3 Pengujian Karakteristik Sensor Tegangan.....	27
4.1.4 Pengujian Karakteristik Sensor Arus	29
4.1.5 Pengujian Karakteristik Sensor Suhu	30
4.2 Karakterisasi Generator Thermoelektrik	31
4.2.1 Karakterisasi Satu Keping Generator Thermoelektrik	31
4.2.2 Karakterisasi Tiga keping Generator Thermoelektrik Susun Seri	33
BAB V KESIMPULAN	37
5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN	41
BIOGRAFI PENULIS	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip kerja thermoelektrik	6
Gambar 2.2 RTG (Radioisotop Thermolectric Generator)	7
Gambar 2.3 Seiko thermic	8
Gambar 2.4 Aliran elektron pada baterai	13
Gambar 2.5 Aliran air pada bejana berhubungan	14
Gambar 2.6 Rangkaian pembagi tegangan	16
Gambar 2.7 Board Arduino Uno	17
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	20
Gambar 3.2 Rancang bangun alat karakterisasi TEG	21
Gambar 3.3 <i>Heater dan temperature control</i>	21
Gambar 3.4 Pompa mengalirkan air ke <i>waterblock</i> lalu dialirkan kembali ke aquarium	22
Gambar 3.5 Rangkaian sensor beserta mikrokontroller	23
Gambar 3.6 Alat ukur tegangan, arus dan suhu	23
Gambar 3.7 Metode pengambilan data	24
Gambar 4.1 Suhu heater dengan setting value 150°C	21
Gambar 4.2 Karakteristik heater dengan setting value 100°C..	26
Gambar 4.3 Grafik pengujian sensor tegangan.....	28
Gambar 4.4 Perbesaran pada daerah 0.15-0.5 Volt	28
Gambar 4.5 Grafik pengujian sensor arus ACS712.....	29
Gambar 4.6 Perbesaran pada nilai 0.03-0.15 A	30

Gambar 4.7	Grafik pengujian sensor suhu.....	30
Gambar 4.9	Perubahan tegangan terhadap kenaikan suhu	32
Gambar 4.10	Perubahan tegangan terhadap penurunan suhu	32
Gambar 4.11	Uji pembebanan pada $T=100^{\circ}\text{C}$	33
Gambar 4.12	Karakteristik tiga keping generator thermoelektrik susun seri pada $T=100^{\circ}\text{C}$	33
Gambar 4.13	Daya 3 keping TEG seri	34
Gambar 4.14	Perubahan tegangan terhadap kenaikan suhu	34
Gambar 4.15	Perubahan tegangan terhadap penurunan suhu ...	35

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Daftar produk TEG yang ada dipasaran.....	11
------------------------------------------------------------	----

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	41
Lampiran B	48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang didukung oleh sumber daya alam yang melimpah ruah. Dimana sumber daya alam tersebut mampu dijadikan sumber energi bagi keberlangsungan hidup. Seiring berjalannya waktu, ketersediaan sumber daya alam kini kian menipis. Kelangkaan yang terjadi dikarenakan ketidaksadaran manusia akan terbatasnya sumber daya alam khususnya yang tidak dapat diperbarui. Indonesia memiliki banyak potensi energi terbarukan, diantaranya tenaga minihidro, panas bumi, biomasa, angin dan matahari yang bersih dan ramah lingkungan, tetapi sampai saat ini pemanfaatannya belum optimal (Irawan dan Ira, 2010). Dalam Rencana Strategis Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (RENSTRA KESDM) 2015-2016 tercatat bahwa energi panas bumi yang ada di Indonesia terbesar kedua setelah Amerika dengan potensi sebesar 28.910 MW dengan pemanfaatan hanya sebesar 4.9% kalah jauh dibandingkan negara tetangga filipina yang hanya memiliki potensi panas bumi 4.000 MW dengan pemanfaatan sebesar 46% atau sekitar 1.848 MW selain itu pula masih banyak potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang kita miliki namun masih terbengkalai pemanfaatannya.

Faktanya memang sumber Energi Baru Terbarukan (EBT) belum dapat memenuhi kebutuhan energi manusia dalam skala besar karena fluktuasi potensi dan tingkat keekonomian yang kalah bersaing dengan energi konvensional seperti batu bara dan minyak bumi. Di lain pihak, kita sebagai manusia dihadapkan pada situasi menipisnya cadangan sumber energi fosil dan meningkatnya kerusakan lingkungan akibat efek samping dari hasil penggunaan energi fosil seperti minyak bumi dan batu bara. Sudah saatnya bagi kita menggalakan pengembangan dan pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) yang tersedia. Hal yang paling penting untuk dilakukan sekarang adalah

mengembangkan teknologi bagi Energi Baru Terbarukan (EBT) guna memastikan bahwa saat datangnya hari dimana bahan bakar fosil habis, dunia tidak perlu khawatir dan Energi Baru Terbarukan (EBT) sudah siap untuk menggantikannya.

Salah satu teknologi yang berkaitan dengan Energi Baru Terbarukan (EBT) adalah modul generator termoelektrik atau dalam bahasa Inggris dikenal dengan istilah *thermoelectric generator modules* (TEG) yaitu mengkonversi energi panas menjadi energi listrik secara langsung. Penggunaan modul termoelektrik sebagai penghasil energi listrik memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah, cukup handal (biasanya melebihi 100.000 jam operasi kondisi *steady*), tanpa suara saat dioperasikan karena tidak memiliki bagian mekanik yang bergerak, tidak membutuhkan pemeliharaan lebih, sederhana, aman, memiliki ukuran yang sangat kecil dan ringan, mampu beroperasi pada suhu tinggi, mampu beroperasi untuk skala kecil dan lokasi terpencil, ramah lingkungan, dan sumber energi yang fleksibel. Kelebihan-kelebihan tersebut menyebabkan studi mengenai aplikasi modul termoelektrik banyak dilakukan (Ismail, 2009). Sebagai contoh di Thailand termoelektrik tipe TEP1-1264-3,4 digunakan untuk mengkonversi panas dari kompor berbahan bakar biomassa. Hasilnya memiliki perbedaan suhu berkisar 150°C dan bisa mencapai daya keluaran sebesar 2,4 watt dengan efisiensi konversi 3,2% yang mampu untuk menyalakan lampu serta radio portabel kecil (Lertsatitthanakorn, 2007). Namun, dari berbagai kelebihan yang dimiliki oleh termoelektrik sebagai penghasil listrik modul ini masih memiliki kekurangan yaitu efisiensinya kecil hanya dibawah 10% jika dibandingkan dengan *solar cell* memiliki efisiensi diatas 15%. Nilai efisiensi modul termoelektrik dapat ditingkatkan dengan cara panas didisipasi di atas sisi dingin modul, seperti penggunaan *heat sink*, *fan*, *water jacket* atau hanya dengan memberikan temperatur pada lingkungan di atas sisi dingin modul untuk menjaga perbedaan temperatur dengan sisi panasnya (Putra dkk, 2009). Pada penelitian ini panas akan

didisipasi dengan menggunakan aliran air (*watercooling system*) yang saat ini biasa dipakai untuk mendinginkan *processor* CPU komputer. Untuk perancangan dan analisis modul generator termoelektrik maka diperlukan sistem yang dapat mengkarakterisasi modul generator termoelektrik sehingga nantinya dapat dibuat prototype penghasil energi listrik sesuai dengan kebutuhan energi yang diperlukan. Hal inilah yang melatarbelakangi penelitian mengenai studi karakterisasi modul generator termoelektrik khususnya tipe SP184827145SA.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan permasalahannya adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara merancang sistem yang dapat mengkarakterisasi modul generator termoelektrik ?
2. Bagaimana karakteristik alat karakterisasi generator termoelektrik yang telah dibuat ?
3. Bagaimana karakteristik pengukuran modul tipe SP184827145SA menggunakan alat yang telah dibuat?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari rumusan masalah maka dapat dirumuskan tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang sistem yang dapat mengkarakterisasi modul generator termoelektrik.
2. Mengetahui spesifikasi alat karakterisasi modul generator termoelektrik yang telah dibuat.
3. Mengetahui karakteristik modul SP184827145SA melalui pengukuran dengan alat yang telah dibuat.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, permasalahan dibatasi pada perancangan sistem dengan menggunakan pemanasan plat heater dan pendinginan menggunakan air yang dipompa masuk kedalam

sistem. Modul yang digunakan untuk pengujian adalah generator termoelektrik tipe SP184827145SA.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian tugas akhir ini dapat membantu dalam perancangan dan analisis generator termoelektrik sesuai dengan kebutuhan energi listrik yang ingin dihasilkan serta sistem yang dibuat dapat digunakan untuk mengkarakterisasi modul generator termoelektrik tipe lainnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Bab I – Pendahuluan, berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan laporan penelitian.
2. Bab II – Tinjauan Pustaka, berisi uraian mengenai teori yang mendukung analisis.
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 selama 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.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah Thermoelektrik

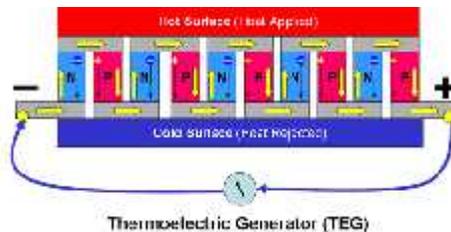
Fenomena termoelektrik pertama kali ditemukan tahun 1821 oleh ilmuwan Jerman, Thomas Johann Seebeck dengan menghubungkan tembaga dan besi dalam sebuah rangkaian. Di antara kedua logam tersebut lalu diletakkan jarum kompas. Ketika sisi logam tersebut dipanaskan, jarum kompas ternyata bergerak. Belakangan diketahui, hal ini terjadi karena aliran listrik yang terjadi pada logam menimbulkan medan magnet. Medan magnet inilah yang menggerakkan jarum kompas. Fenomena tersebut kemudian dikenal dengan efek Seebeck (Riffat, 2003).

Penemuan Seebeck ini memberikan inspirasi pada Jean Charles Peltier untuk melihat kebalikan dari fenomena tersebut. Dia mengalirkan listrik pada dua buah logam yang direkatkan dalam sebuah rangkaian. Ketika arus listrik dialirkan, terjadi penyerapan panas pada sambungan kedua logam tersebut dan pelepasan panas pada sambungan yang lainnya. Pelepasan dan penyerapan panas ini saling berbalik begitu arah arus dibalik. Penemuan yang terjadi pada tahun 1934 ini kemudian dikenal dengan efek Peltier. Efek Seebeck dan Peltier inilah yang kemudian menjadi dasar pengembangan teknologi termoelektrik (Heremans, 2005).

Termoelektrik merupakan material yang terbuat dari semikonduktor yang salah satu kegunaannya untuk keperluan pembangkit tenaga listrik. Material semikonduktor dapat diklasifikasikan berdasarkan tipenya, yakni material tipe-*n* dan tipe-*p*. Material semikonduktor yang digunakan untuk termoelektrik yaitu material yang mampu bekerja pada suhu tinggi. Pada dasarnya prinsip termoelektrik dapat merubah energi kalor menjadi energi listrik (generator termoelektrik) atau sebaliknya dari energi listrik menjadi energi kalor (pendinginan termoelektrik). Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk proses konversi panas menjadi listrik langsung saat ini

adalah teknologi termoelektrik yang sumber energinya dapat menggunakan limbah panas merupakan salah satu teknologi hijau yang dibutuhkan sebagai alternatif sumber energi masa depan (Rowe, 2006).

Teknologi ini menjanjikan alternatif pembangkitan listrik yang luar biasa karena mempunyai beberapa kelebihan. Beberapa kelebihan dari TEG ini antara lain adalah, cukup handal (biasanya melebihi 100.000 jam operasi kondisi *steady*), tanpa suara saat dioperasikan karena tidak memiliki bagian mekanik yang bergerak, tidak membutuhkan pemeliharaan lebih, sederhana, aman, memiliki ukuran yang sangat kecil dan sangat ringan, mampu beroperasi pada suhu tinggi, mampu beroperasi untuk skala kecil dan lokasi terpencil, ramah lingkungan, dan sumber energi yang fleksibel. Kelebihan-kelebihan tersebut menyebabkan studi mengenai aplikasi generator termoelektrik banyak dilakukan (Ismail, 2009).



Gambar 2.1 Prinsip kerja termoelektrik

Gambar 2.1 tersebut menunjukkan struktur termoelektrik yang terdiri dari suatu susunan elemen tipe-N (material dengan kelebihan elektron) dan tipe-P (material dengan kekurangan elektron). Panas masuk pada salah satu sisi dan dibuang dari sisi yang lainnya. Transfer panas tersebut menghasilkan suatu tegangan yang melewati sambungan termoelektrik dan besarnya tegangan yang dihasilkan sebanding dengan gradien temperatur (Nandy dkk, 2009).

Sebagai contoh Voyager I dan II pesawat ruang angkasa yang memanfaatkan teknologi termoelektrik. Voyager yang

diterbangkan NASA tahun 1977 ini dirancang khusus untuk terbang menjauhi Tata Surya sehingga solar cell tidak dapat dipergunakan. Dalam menempuh perjalanan yang tak terbatas itu diperlukan pula energi yang besar dan stabil untuk mengirimkan data ke Bumi. Untuk itulah Voyager menggunakan teknologi termoelektrik dengan plutonium-238 sebagai sumber panasnya (Radioisotop Thermoelectric Generators-RTGs). Sistem ini mampu membangkitkan listrik sebesar 400 W, serta secara kontinu dan tanpa perawatan apa pun, Voyager tetap dapat mengirimkan data walau sudah terbang selama 30 tahun.



Gambar 2.2 RTG (Radioisotop Thermoelectric Generator)
Voyager 1

Contoh menarik lainnya adalah yang dilakukan oleh Seiko Co Ltd. Seiko memasarkan jam termoelektrik sejak tahun 1998 dengan nama Seiko Thermic.



Gambar 2.3 Seiko thermic

Jam tangan ini memanfaatkan perbedaan suhu tubuh dan suhu sekitarnya. Bahan semikonduktor yang digunakan adalah bismut-

tellurium, sehingga mampu menghasilkan listrik sebesar $0,2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$. Jika 1.000 buah material tersebut dipasang seri, tentu akan menghasilkan tegangan listrik $0,2 \text{ V}$ dalam setiap perbedaan $1 \text{ }^\circ\text{C}$. Untuk itu, Seiko membuat unit pembangkit listrik, terdiri atas 10 buah modul termoelektrik yang masing-masing berisi 100 kawat mikro. Dari setiap unit inilah dihasilkan energi listrik sebesar $0,15 \text{ V}$ untuk mengisi baterai litium pada jam tersebut.

2.2 Efek Thermoelektrik

Efek termoelektrik dapat dibagi berdasarkan tiga kelompok, yakni efek *Seebeck*, efek *Peltier*, dan efek *Thomson*.

a. Efek Seebeck

Jika dua buah logam yang berbeda disambungkan salah satu ujungnya, kemudian diberikan suhu yang berbeda pada sambungan, maka terjadi perbedaan tegangan pada ujung yang satu dengan ujung yang lain. Fenomena ini pertama kali ditemukan oleh Seebeck sehingga disebut efek Seebeck atau umumnya dikenal dengan nama prinsip termokopel. Tegangan yang dihasilkan ini sebanding dengan perbedaan temperatur diantara dua sisi. Semakin besar perbedaan temperatur, semakin besar tegangan diantara *junction*. Koefisien Seebeck disimbolkan dengan huruf dengan a (Snyder, 2008). Perbedaan temperatur disimbolkan dengan T dan beda potensial yang dihasilkan adalah V maka koefisien Seebeck dituliskan

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

Dimana :

- a = koefisien seebeck ($\text{mV}/\text{K}, ^\circ\text{C}$)
- V = beda potensial (mV)
- T = perbedaan temperatur ($\text{K}, ^\circ\text{C}$)

b. Efek Thomson

Efek Thomson telah diprediksi dan diamati oleh William Thomson pada tahun 1851. Efek ini menggambarkan pemanasan atau pendinginan dari konduktor berarus listrik dengan perbedaan temperatur. Setiap konduktor berarus listrik (kecuali superkonduktor) jika memiliki perbedaan temperatur antara dua titik, akan menyerap atau memancarkan panas, tergantung pada material. Dalam logam seperti seng dan tembaga, jika dia lebih bersuhu panas pada potensial yang lebih tinggi dan bersuhu dingin pada ujung potensial yang lebih rendah, ketika arus bergerak dari ujung panas ke ujung dingin, arus bergerak dari potensial rendah ke potensial tinggi, sehingga ada emisi panas. Hal ini disebut efek Thomson positif. Dalam logam seperti kobalt, nikel, dan besi, yang memiliki ujung dingin pada potensial yang lebih tinggi dan ujung panas pada potensial yang lebih rendah, ketika arus bergerak dari ujung panas ke ujung dingin, arus bergerak dari potensial rendah ke potensial tinggi, ada penyerapan panas. Efek Seebeck merupakan perpaduan dari efek Peltier dan efek Thomson.

c. Efek Peltier

Efek Peltier diambil dari nama Jean-Charles Peltier, seorang fisikawan Perancis yang menemukan efek kalorik dan arus listrik pada sambungan dua material logam yang berbeda pada tahun 1834. Koefisien ini menggambarkan seberapa banyak panas yang dialirkan tiap muatan listrik. Walaupun arus listrik terus diberikan pada rangkaian, perbedaan temperatur akan menemukan nilai yang konstan. Hal yang menarik adalah efek yang diberikan pada saat transfer panas bergantung dari polaritas arus yang diberikan, membalikkan arah arus listrik dapat merubah arah transfer panas ke bagian yang lain. Pendingin Peltier juga dapat disebut Thermoelectric Cooler (TEC) (alden, 2013).

2.3 Prinsip Kerja Thermoelektrik

Thermoelektrik merupakan konversi langsung dari energi panas menjadi energi listrik. Thermoelektrik didasarkan pada

sebuah efek yang disebut efek Seebeck, yang pertama kali ditemukan pada tahun 1821 oleh Thomas Johann Seebeck. Prinsip kerja dari efek Seebeck yang bekerja pada pembangkit termoelektrik adalah jika ada dua buah material atau lempeng logam yang tersambung berada pada lingkungan dengan suhu yang berbeda maka di dalam material atau lempeng logam tersebut akan mengalir arus listrik. Teknologi termoelektrik relatif lebih ramah lingkungan, tahan lama dan bisa digunakan dalam skala yang besar (S.L.Soo, 1968). Termoelektrik itu sendiri umumnya menggunakan bahan yang bersifat semikonduktor atau dengan kata lain menggunakan solid-state technology. Adapun struktur dari termoelektrik dapat dilihat pada Gambar 2.1. Pada Gambar tersebut ditunjukkan struktur termoelektrik yang terdiri dari suatu susunan elemen semikonduktor tipe-P, yakni material yang kekurangan elektron, dan terdiri juga dari susunan elemen semikonduktor tipe-N, yakni material yang kelebihan elektron. Panas masuk pada salah satu sisi dan dibuang dari sisi lainnya. Transfer panas tersebut menghasilkan suatu tegangan yang melewati sambungan termoelektrik dan besarnya tegangan listrik yang dihasilkan sebanding dengan gradien suhu. Apabila batang logam dipanaskan dan didinginkan pada 2 buah kutub logam, elektron pada sisi panas logam akan bergerak aktif dan memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi dibandingkan dengan sisi dingin logam. Dengan kecepatan yang lebih tinggi, maka elektron dari sisi panas akan mengalami difusi ke sisi dingin dan menyebabkan timbulnya medan listrik pada logam atau material tersebut. Elemen termoelektrik yang terdiri dari semikonduktor tipe-P dan tipe-N yang dihubungkan dalam sebuah rangkain tertutup yang terdapat pada beban. Maka perbedaan suhu yang ada pada tiap junction dan tiap semikonduktor tersebut akan menyebabkan perpindahan elektron dari sisi panas menuju sisi dingin. Proses ini diilustrasikan pada Gambar 2.1. Dengan adanya perbedaan suhu pada kedua titik junction maka akan ada beda potensial di antara kedua titik tersebut. yang dapat ditentukan dengan,

$$\Delta V = \int_{T_1}^{T_2} a dT \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

- a = koefisien seebeck (mV/K)
- V = beda potensial (mV)
- dT = perbedaan temperatur (K)

2.4 Modul Thermoelektrik Di Pasaran

Umumnya, ada beberapa material atau bahan dari generator thermoelektrik yang sudah diproduksi antara lain silicon germanium, lead telluride dan bismuth telluride. Ketiga bahan ini diklasifikasikan menurut suhu kerjanya.

Tabel 2.1 Daftar produk TEG yang ada dipasaran

No	Nama Produk	(V)	(I)	T (°C)
1	TGPR-22W-7V-56S	7	3.1	270
2	TGPR-19W-4V-56S	4	4.8	270
3	TGPR-5W-5V-40S	5	1	270
4	TGPR-10W-4V-40S	4	2.5	270
5	TEG1-PB-12611-6.0	9.2	4.7	350
6	TEG1-4199-5.3	13.4	1.12	270
7	TEG1-12610-5.1	7.8	1.3	270
8	TEG1B-12610-5.1	7.2	2	270
9	TEG1-12611-6.0	8.4	3.4	270
10	SP 1848-12745 SA	4.8	0.5	100

Bahan silikon germanium memiliki suhu kerja yang paling tinggi diantara bahan generator thermoelektrik lainnya. Material ini bisa menyerap panas dalam suhu 750°C sampai dengan 1000°C. Bahan ini dapat menyerap beda potensial yang paling tinggi dari material termolektrik yang lainnya. Adapun material lead telluride merupakan material generator thermoelektrik yang bekerja pada suhu menengah. Pada material ini suhu kerja rentang

antara 400° C sampai dengan 650°C. Namun pada umumnya bahan generator termoelektrik yang digunakan adalah material jenis bismuth telluride. Material ini bekerja pada suhu rendah dengan rentang suhu kerja hingga 350°C. Material ini umumnya dipakai untuk elemen pendingin pada aplikasi pendingin, atau kombinasi pendingin dan pemanasan dengan adanya perbedaan suhu yang mengakibatkan timbulnya energi listrik (Wirawan, 2012).

2.5 Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan ilmu untuk mengkalkulasi perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Dalam proses perpindahan energi tersebut tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan panas. Maka ilmu perpindahan panas juga merupakan ilmu untuk memprediksikan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahannya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur pada daerah tersebut. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

Perpindahan panas secara konduksi adalah proses perpindahan panas dimana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum. Laju perpindahan panas yang terjadi pada perpindahan panas konduksi adalah berbanding dengan gradien suhu normal sesuai dengan persamaan berikut :

Persamaan Dasar Konduksi :

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

q = Laju Perpindahan Panas (kj /det,W)

k = Konduktifitas Termal (W/m.°C)

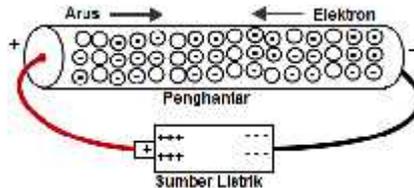
A = Luas Penampang (m²)

dT = Perbedaan Temperatur (°C,°F)

dx = Perbedaan Jarak (m /det)

2.6 Arus dan Tegangan

Arus listrik adalah *banyaknya muatan listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian pada satu satuan waktu*. Muatan listrik yang dimaksud di sini adalah elektron. Arus listrik terjadi karena adanya aliran elektron dari kutub negatif ke kutub positif. Pada konsepnya, elektron bergerak dari kutub negatif ke kutub positif, sedangkan arus listrik bergerak dari positif ke negative, perhatikan gambar berikut.



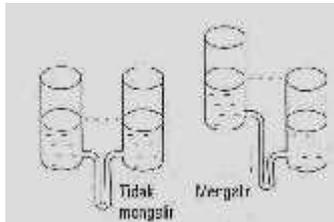
Gambar 2.4 Aliran elektron pada baterai

Pada gambar di atas menunjukkan sumber tegangan listrik yang disambungkan ke sebuah penghantar. Pada kutub positif penghantar, muatan negatif akan ditarik oleh muatan positif pada sumber tegangan melewati ruang-ruang kosong (Hole). Hole digambarkan dalam bentuk bulat tanpa tanda negatif "-". Sedangkan pada kutub negatif penghantar, muatan akan terisi elektron baru dari sumber tegangan, sehingga elektron pada penghantar juga terdorong untuk bergerak ke arah kutub positif. Menurut aturan bahwa arus listrik mengalir dari positif ke negatif, sedangkan elektron mengalir dari negatif ke positif. Karena sejatinya aturan berpatokan bahwa elektron berpindah dari negatif ke positif meninggalkan hole dan mengisi hole baru maka seolah-olah hole tersebut bergerak dari positif ke negatif. Muatan sebuah elektron, sering dinyatakan dengan simbol q atau e , dinyatakan

dengan satuan coulomb, yaitu sebesar. Besarnya arus listrik sebanding dengan satuan banyaknya elektron per detik, namun demikian ini bukan satuan yang praktis karena harganya terlalu kecil. Satuan yang dipakai adalah ampere, dimana

$$i = \frac{dq}{dt} \dots\dots\dots(2.4)$$

Akan mudah menganalogikan aliran listrik dengan aliran air. Misalkan kita mempunyai 2 tabung yang dihubungkan dengan pipa seperti pada gambar 2.9. Jika kedua tabung ditaruh di atas meja maka permukaan air pada kedua tabung akan sama



Gambar 2.5 Aliran air pada bejana berhubungan

dan dalam hal ini tidak ada aliran air dalam pipa. Jika salah satu tabung diangkat maka dengan sendirinya air akan mengalir dari tabung tersebut ke tabung yang lebih rendah. Makin tinggi tabung diangkat makin deras aliran air yang melalui pipa. Tingginya tabung menunjukkan besarnya energi potensial yang dimiliki. Yang paling penting dalam hal ini adalah perbedaan tinggi kedua tabung yang sekaligus menentukan besarnya perbedaan potensial. Jadi semakin besar perbedaannya semakin deras aliran air dalam pipa. Tegangan dengan kata lain adalah energy per satuan muatan dimana

$$V = \frac{dw}{dq} \dots\dots\dots(2.5)$$

2.7 Daya Listrik

Jika suatu potensial V dikenakan ke suatu bahan dan mengalirkan arus. Energi yang diberikan ke masing-masing

elektron yang menghasilkan arus listrik sebanding dengan V (beda potensial). Dengan demikian total energi yang diberikan ke sejumlah elektron yang menghasilkan muatan sebesar dq adalah sebanding dengan Vdq . Energi yang diberikan pada elektron per satuan waktu didefinisikan sebagai daya (*power*). Simbol daya adalah P (power). Sedangkan satuan daya adalah **Watt**.

Energi yang diberikan ke masing-masing elektron yang menghasilkan arus listrik sebanding dengan V (beda potensial). Dengan demikian energi yang diberikan ke sejumlah elektron yang menghasilkan muatan sebesar dq adalah sebanding dengan $V \times dq$. Energi yang diberikan pada elektron tiap satuan waktu didefinisikan sebagai daya (*power*) P sebesar

$$P = \frac{dw}{dt} \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

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

$$P = V \cdot I \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

$$P = I^2 R \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana,

P = daya listrik (W)

V = tegangan (V)

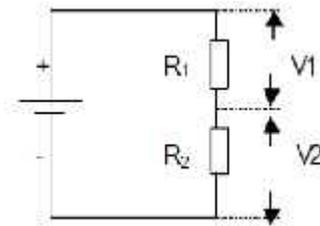
I = arus (I)

R = hambatan (

2.8 Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang digunakan menggunakan pembagi tegangan (*Voltage Divider*). *Voltage divider* ini digunakan untuk mendeteksi tegangan keluaran sistem yang digunakan mengetahui perbedaan tegangannya. Sensor tegangan yang digunakan menggunakan resistor yang disusun secara seri dengan perhitungan menurut hukum KVL (*Kirchoff Voltage Low*) (Paul, 1996).

Dalam rangkain listrik arus searah untuk memperoleh suatu tegangan tertentu dapat menggunakan suatu kombinasi tahanan tertentu, rangkaian seperti ini disebut rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian pembagi Tegangan yang sederhana dapat ditunjukkan oleh Gambar 2.11.



Gambar 2.6 Rangkaian pembagi tegangan

Berdasarkan hukum ohm $V = IR$, sehingga besarnya arus yang mengalir dalam rangkaian adalah :

$$I = \frac{V}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Tegangan pada R_2 adalah

$$V_2 = I.R_2 = \frac{V}{R_1 + R_2} .R_2 \dots\dots\dots(2.11)$$

Dan tegangan pada R_1 adalah

$$V_1 = I.R_1 = \frac{V}{R_1 + R_2} .R_1 \dots\dots\dots(2.12)$$

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} .V_{in} \dots\dots\dots(2.13)$$

2.9 Sensor Arus

Sensor arus merupakan alat yang mampu mendeteksi kuat arus listrik. Secara umum sensor arus terdiri dari rangkaian sensor

efek Hall (*Hall effect*). Prinsip kerja sensor efek Hall berdasarkan medan magnet untuk menghasilkan tegangan yang proporsional. Pendeteksian perubahan kekuatan medan magnet dengan menggunakan induktor, namun kelemahan dengan menggunakan induktor yaitu medan magnet statis tidak mampu dideteksi.



Gambar 2.7 Sensor Arus IC ACS712

. Sensor arus yang digunakan dalam penelitian ini adalah ACS712 (Gambar 2.7). Pada saat arus mengalir pada permukaan konduktor maka akan menghasilkan medan magnet sehingga mengubah efek Hall menjadi tegangan yang proporsional.

2.10 Arduino Uno

Arduino UNO adalah sebuah *mini board* berbasis mikrokontroler Atmega 328.



Gambar 2.8 Board Arduino Uno

Arduino UNO mempunyai 14 pin *digital input/output* (pin 0-13) yang terdiri dari 6 pin *input analog* (pin 0-5) yang biasa digunakan untuk membaca tegangan dari sensor dan mengkonversikannya menjadi nilai 0 dan 1023, 6 pin *output analog* (pin 3,5,6,9,10,11) yang digunakan untuk pengaturan PWM (*Pulse Width Modulation*), sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah power jack, sebuah ICSP header, dan sebuah tombol reset. Arduino UNO dapat dioperasikan dengan menggunakan *port* USB komputer, USB *charger*, atau adaptor AC-DC dengan tegangan yang direkomendasikan 9 Volt (Banzi, 2011).

BAB III METODOLOGI

Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang sistem yang dapat mengkarakterisasi modul generator termoelektrik, mengetahui karakteristik alat yang dibuat dan mengetahui karakteristik modul tipe SP184827145SA melalui pengukuran dengan alat yang telah dibuat. Metode penelitian akan diuraikan dalam tiga bagian, yaitu (1) alat dan bahan, (2) prosedur eksperimen, (3) pengambilan data

3.1. Alat dan bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| a. Arduino UNO | l. Max6675 |
| b. Thermostat c100 | m. ACS712 |
| c. <i>Heater</i> 300w | n. SP184827145SA |
| d. Relay | o. <i>Data Logger</i> |
| e. Vari AC | p. SD Card |
| f. Pompa air | q. <i>Thermal paste</i> |
| g. Aquarium | r. <i>Thermocouple K</i> |
| h. Kabel | s. <i>Waterblock</i> |
| i. PCB | t. Resistor |
| j. Multimeter | u. <i>LCD 16x2</i> |
| k. <i>Powersupply</i> DC | |

3.2. Prosedur Eksperimen

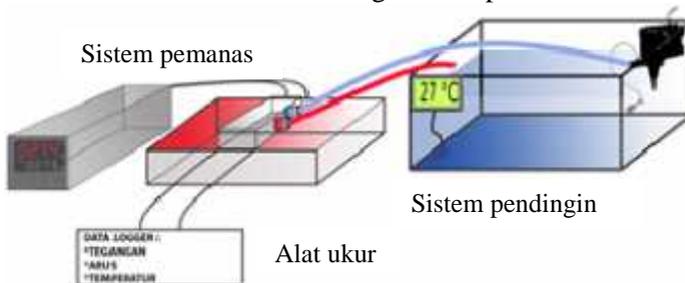
3.2.1 Perancangan Umum Sistem

Pada perancangan sistem secara umum terbagi menjadi dua bagian yaitu pembuatan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Untuk sistem perangkat keras (*hardware*) meliputi perancangan sistem pemanas, sistem pendingin dan alat ukur yang terdiri dari rangkaian sensor tegangan, rangkaian sensor arus, rangkaian sensor suhu beserta rangkaian kontroler sebagai penyimpan dan penampil data di *LCD graphic*. Sistem perangkat lunak (*software*) terdiri dari perancangan program menggunakan arduino UNO berbasis

ATmega 328, Untuk sistem pemanas digunakan *heater strip* 300 watt dan rangkaian *temperature control* dengan thermostat berme c-100 sehingga suhu pemanasan bisa diatur.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



Gambar 3.2 Rancang bangun alat karakterisasi TEG

Pada bagian sistem pendingin air dipompa masuk kedalam *waterblock* dan disalurkan kembali kedalam aquarium. Terakhir,

bagian alat ukur digunakan sensor tegangan menggunakan prinsip pembagi tegangan (*voltage divider*) sensor arus ACS712 dan Max6675 sebagai rangkaian penguat sensor dari thermocouple. Kemudian semua komponen sensor dikontrol oleh arduino UNO berbasis ATmega 328 yang dapat menyimpan data ke *SD card* berupa perbedaan suhu antara kedua sisi TEG, tegangan dan arus secara *real time* dan ditampilkan pada *LCD graphic 16x2*, pada gambar 3.2 dapat dilihat perancangan alat yang akan dibuat. Tahap-tahap penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 berupa diagram alir penelitian.

3.2.2 Perancangan Alat

Perancangan alat terbagi menjadi tiga bagian yaitu sistem pemanas, sistem pendingin dan alat ukur yang akan dijelaskan berikut ini :

a. Sistem pemanas



Gambar 3.3 *Heater dan temperature control*

Pada gambar 3.3 merupakan heater dan temperature control yang telah selesai dirangkai. Untuk merancang sistem pemanasan dibutuhkan *heater* berbentuk strip dan *temperature control*. Untuk mengukur suhu *heater* dibutuhkan thermocouple tipe K yang dihubungkan dari *temperature control* ke bagian bawah *heater*

b. Sistem pendingin

Pada bagian ini air akan dialirkan melalui pompa DC 12V yang dihubungkan ke *waterblock* dengan menggunakan selang seperempat inchi. Thermometer digital dipasang pada aquarium untuk untuk mengetahui suhu air. Volume air didalam aquarium adalah 14-15 liter.

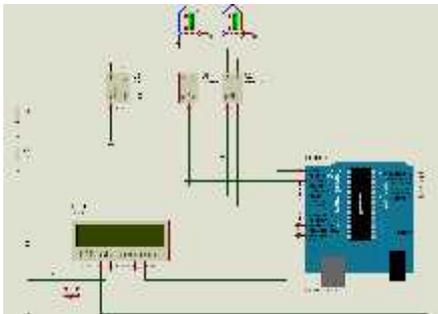


Gambar 3.4 Pompa mengalirkan air ke *waterblock* lalu dialirkan kembali ke aquarium

Untuk melihat rancangan system pendingin dapat dilihat pada gambar 3.4

c. Alat ukur

Pada tahap ini dilakukan perancangan untuk mengukur tegangan, arus dan suhu pada TEG sehingga dibutuhkan mikrokontroller berbasis ATmega 328 dengan tambahan beberapa modul sensor yaitu ACS712 (sensor arus), pembagi tegangan (sensor tegangan) dan max6675 (sensor suhu). Sensor tegangan terdiri dari dua resistor yang dirangkai seri dan tegangan referensi diperoleh di titik pencabangan resistor. Hasil tegangan referensi akan dihubungkan ke Arduino UNO sebagai mikrokontroller untuk mengukur dan memonitoring tegangan secara *real time*.



Gambar 3.5 Rangkaian sensor beserta mikrokontroller



Gambar 3.6 Alat ukur tegangan, arus dan suhu

Data yang diukur selanjutnya disimpan dalam SD card dengan data logger dan ditampilkan melalui LCD graphic 16x2. Untuk mengintegrasikan mikrokontroller dengan sensor maka dibutuhkan pembuatan *software* yang dibuat melalui arduino IDE. Rangkaian yang digunakan dalam pembuatan alat ukur ini terdapat pada gambar 3.5 sedangkan pada gambar 3.6 adalah alat ukur yang telah selesai dirangkai.

3.2.3 Pengujian Alat

Pada tahap ini alat yang telah dirangkai akan diuji terlebih dahulu sehingga dapat diketahui karakteristik alat yang dibuat.

a. Karakteristik sistem pemanas

Untuk mengetahui karakteristik sistem pemanas akan dilakukan pengujian perubahan suhu terhadap waktu dengan nilai *setting value* (SV) *temperature control* 150°C, setelah mencapai suhu tersebut lalu *heater* dimatikan sehingga diketahui karakteristik penurunan suhunya, selain itu dilakukan pengujian dengan membiarkan heater berada dalam suhu *setting value* (SV) sehingga diketahui karakteristik suhu dalam keadaan stabil.

b. Karakteristik sistem pendingin

Sistem pendingin ini sangat penting karena berfungsi menjaga bagian dingin TEG tetap bersuhu rendah sehingga TEG memiliki perbedaan suhu antara sisi bagian panas dan sisi bagian dingin. Data yang diambil adalah kenaikan suhu air dan debit air pompa yang dipakai

c. Karakteristik sensor tegangan dan arus

Untuk mengetahui karakteristik sesor tegangan dan sensor arus yang dibuat akan dibandingkan pengukuran pembacaan nilai arus dan tegangan dengan multimeter Agilent U1233a.

d. Karakteristik sensor suhu

Untuk mengetahui karakteristik sesor suhu yang dibuat akan dibandingkan dengan pengukuran dengan thermometer thermokopel tipe K merek TM-1300K Thermometer.

3.3. Pengambilan Data

Pada tahap ini akan dilakukan pengambilan data karakterisasi thermoelektrik generator tipe SP184827145SA dengan alat telah dirancang. Metode pengambilan data akan dijelaskan pada diagram alir pada gambar 3.7 berikut ini



Gambar 3.7 Metode pengambilan data

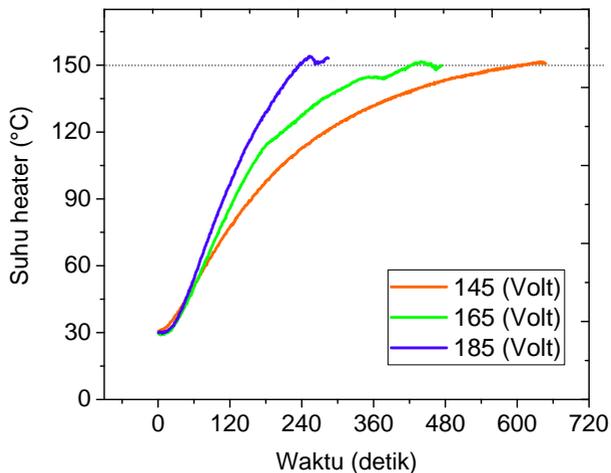
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan dari tujuan penelitian ini adalah merancang sistem yang dapat mengkarakterisasi modul generator thermoelektrik, mengetahui karakteristik alat yang dibuat dan mengetahui karakteristik modul SP184827145SA melalui uji pembebanan, maka dalam bab ini akan dijabarkan hasil dari penelitian. Pembahasan akan diuraikan dalam dua bagian, yaitu (1) Pengujian karakteristik alat, (2) Karakterisasi generator thermoelektrik

4.1 Pengujian Karakteristik Alat

4.1.1 Pengujian Karakteristik Sistem Pemanas

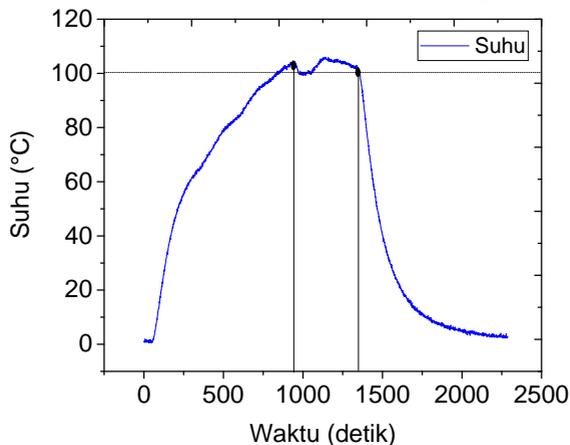
Untuk menguji sistem pemanas berfungsi dengan baik dilakukan beberapa pengujian yaitu menguji tanggapan terhadap variasi nilai tegangan sehingga dapat dilihat kenaikan suhu pada plat heater. Pada gambar 4.1 disajikan grafik hasil pengujian *heater* dengan 3 variasi nilai tegangan.



Gambar 4.1 Suhu *heater* dengan *setting value* 150°C

Dari gambar 4.1 terlihat kenaikan suhu *heater* berbentuk kurva eksponensial yaitu perubahan nilai yang sangat cepat pada titik

tertentu hingga menuju titik yang stabil. *Setting value temperature control* terlebih dahulu diatur pada suhu 150°C sehingga ketika suhu heater mencapai 150°C relay pada *temperature control* akan memutuskan input tegangan ke *heater* yang berakibat terjadinya penurunan suhu pada *heater*. Pada variasi tegangan 185 volt terlihat adanya penurunan suhu ketika mencapai suhu 150°C . Artinya, *temperature control* berfungsi dengan baik sehingga pengujian untuk sistem pemanas berjalan dengan baik. Setelah itu dilanjutkan pengujian untuk melihat respon ketika heater dibiarkan dalam waktu *setting value* 100°C .



Gambar 4.2 Karakteristik heater dengan *setting value* 100°C

Dari gambar 4.2 terlihat bahwa heater mampu mempertahankan keadaan *setting value* pada $100\text{-}105^{\circ}\text{C}$ dengan dibiarkan suhu stabil beberapa menit pada saat suhunya 100°C .

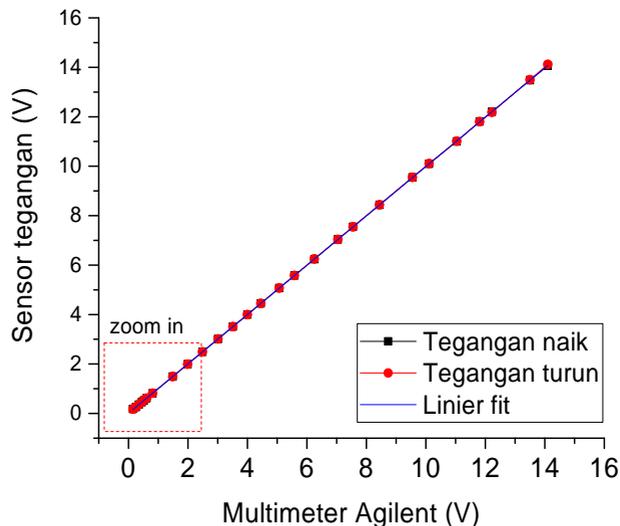
4.1.2 Pengujian Karakteristik Sistem Pendingin

Sistem pendingin yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan air yang dipompa kedalam *waterblock* sehingga dapat mendinginkan modul thermoelektrik generator yang diuji. Untuk desain *waterblock* yang digunakan bisa dilihat pada lampiran. Selain itu sistem ini menggunakan aquarium dengan volume air 14 liter untuk menampung air, selama pengujian modul thermoelektrik generator suhu air didalam aquarium naik

1-2°C dengan kata lain volume air yang digunakan sudah cukup untuk menjaga agar suhu modul thermoelektrik generator tetap dalam batas penggunaan suhu pemakaian. Apabila sistem pendingin tidak berfungsi akan berakibat rusaknya modul sehingga bagian ini sangat penting dalam sistem yang dibuat. Pompa DC 12V yang digunakan memiliki debit air 3liter/menit sudah lebih dari cukup untuk memompa air masuk kedalam sistem.

4.1.3 Pengujian Karakteristik Sensor Tegangan

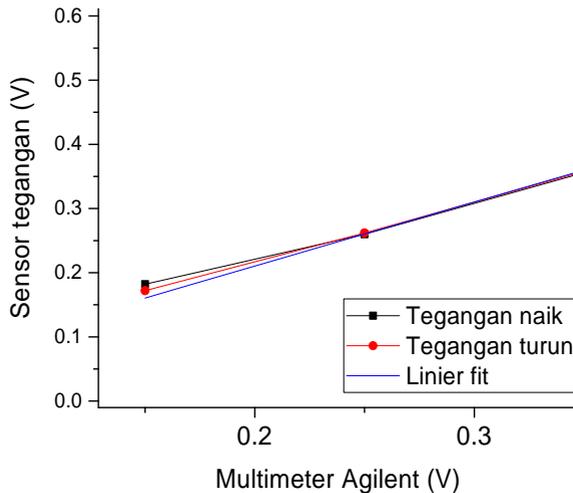
Sensor tegangan digunakan untuk mengukur tegangan yang dihasilkan oleh generator thermoelektrik (TEG). Sensor tegangan yang dibuat menggunakan prinsip pembagi tegangan (*voltage divider*) yang terdiri dari dua buah resistor dirangkai seri sehingga diperoleh tegangan referensi pada titik percabangan resistor.



Gambar 4.3 Grafik pengujian sensor tegangan

Pada gambar 4.3 adalah hasil pengujian sensor tegangan yang dibandingkan dengan tegangan multimeter Agilent U1233a

yang telah standard secara analisa grafik pengukuran dengan sensor yang dirangkai memiliki pembacaan yang relative bagus. Tegangan referensi sensor menggunakan tegangan batas Arduino UNO yakni maksimal pada tegangan +5VDC. Tegangan yang dihasilkan oleh thermoelektrik generator merupakan tegangan DC dan berupa sinyal analog oleh karena itu perlu dikonversikan kedalam bentuk bilangan *biner* dimana Arduino UNO berbasis Atmega 328 memiliki pengukuran maksimal 10bit atau dengan kata lain memiliki nilai maksimum pengukuran sebesar 1023. Untuk mendapatkan nilai yang valid maka digunakan multimeter Agilent U1233a sebagai pembanding. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *powersupply* DC 15V yang range tegangannya dapat diubah-ubah pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan mulai dari 0.1-14.1 Volt.



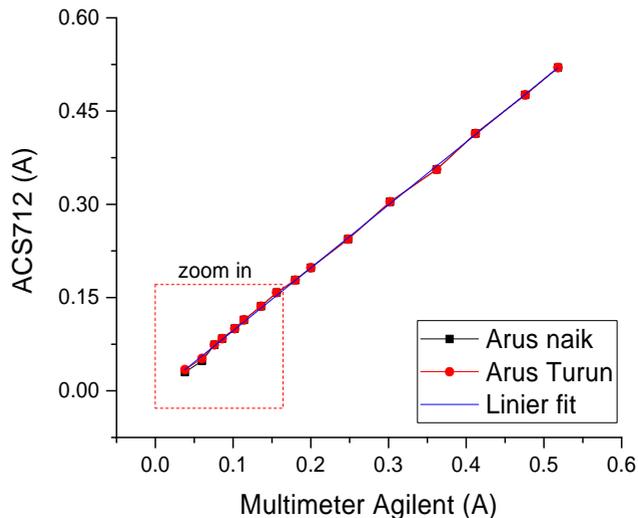
Gambar 4.4 Perbesaran pada daerah 0.15-0.5 Volt

Dari grafik pada gambar 4.4 yang merupakan perbesaran grafik hasil uji sensor tegangan pada gambar 4.3 terlihat adanya sedikit perbedaan dalam garis linear fit (garis merah) hal ini menjelaskan bahwa pada pengukuran tegangan dalam range tersebut terdapat error pada pembacaan sensor. Berdasarkan

pengujian karakteristik sensor tegangan dapat disimpulkan bahwa sensor tegangan yang digunakan pada penelitian ini dapat mengukur antara rentang pengukuran 0.1-14.1 Volt, sedangkan berdasarkan rancangan yang dibuat batas maksimal pengukuran sensor tegangan ini adalah 21Volt akan tetapi belum dilakukan pengukuran dengan dengan tegangan diatas 14.1 Volt sehingga dalam penelitian ini hanya saya simpulkan bahwa sensor tegangan yang dibuat mampu mengukur antara rentang 0.15-14.1 Volt.

4.1.4 Pengujian Karakteristik Sensor Arus

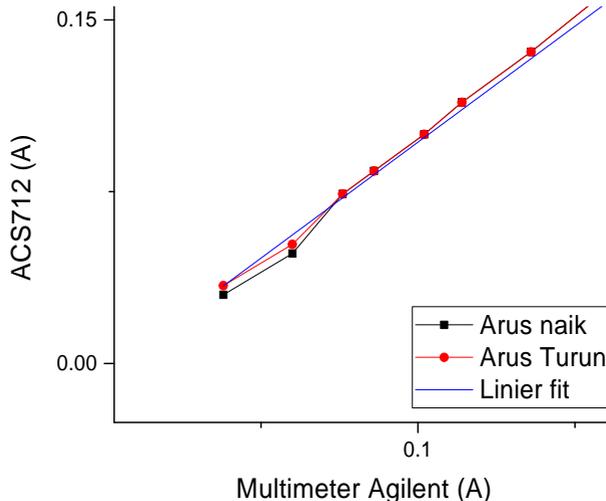
Sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah ACS712, untuk datasheet ACS712 bisa dilihat dilampiran. Pengujian sensor arus dilakukan dengan memberikan input arus dari *power supply* DC 12V lalu pengujian dibandingkan dengan arus yang terbaca pada multimeter Agilent U1233a.



Gambar 4.5 Grafik pengujian sensor arus ACS712

Pada gambar 4.5 adalah hasil pengujian sensor arus ACS712, terlihat dari grafik secara keseluruhan hampir mengikuti garis linier sehingga pengukuran arus dengan sensor ACS712 bisa dikatakan relatif cukup baik akan tetapi pada pengukuran dibawah

0.07A nilai error yang terjadi lebih besar dari pengukuran diatas 0.07A.

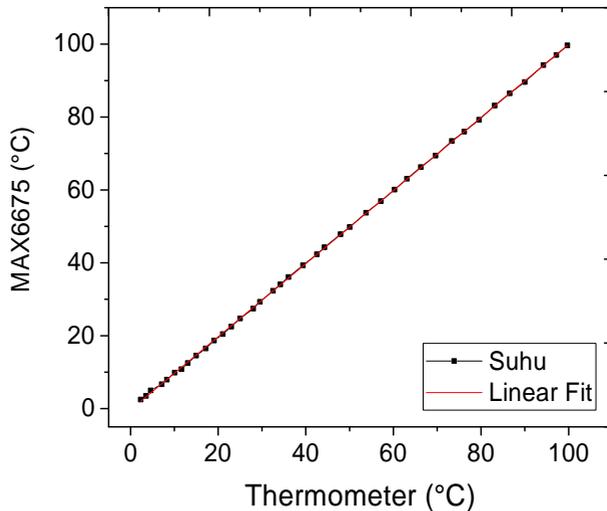


Gambar 4.6 Perbesaran pada nilai 0.03-0.15 A

Pada gambar 4.6 merupakan perbesaran nilai pengukuran sensor dibawah rentang 0.15A terlihat bahwa pengukuran arus pada daerah 0.07A berada dibawah garis linier sehingga terdapat error pada pengukuran sensor arus ACS712, walaupun secara keseluruhan pengukuran menggunakan sensor ini relatif cukup baik.

4.1.5 Pengujian Karakteristik Sensor Suhu

Sensor yang telah dirancang dibandingkan dengan thermometer bermerek TM-1300K Thermometer, pengujian dilakukan dengan mengukur kenaikan temperatur air dari titik beku hingga titik didih air.



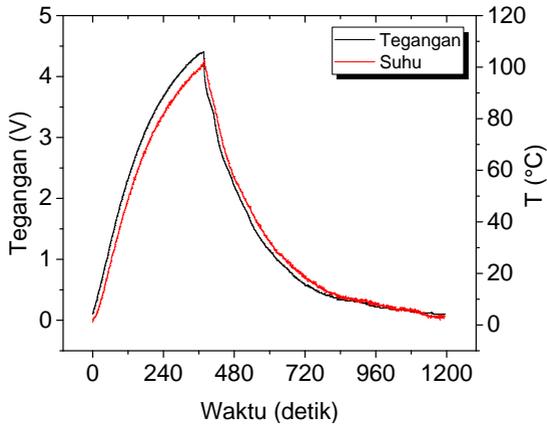
Gambar 4.7 Grafik pengujian sensor suhu

4.2 Karakterisasi Generator Termoelektrik

Termoelektrik merupakan konversi langsung dari energi panas menjadi energi listrik. Termoelektrik didasarkan pada sebuah efek yang disebut efek Seebeck. Prinsip kerja dari efek Seebeck yang bekerja pada termoelektrik adalah jika ada dua buah material atau lempeng logam yang tersambung berada pada lingkungan dengan suhu yang berbeda maka di dalam material atau lempeng logam tersebut akan mengalir arus listrik. Teknologi termoelektrik relatif lebih ramah lingkungan, tahan lama dan bisa digunakan dalam skala yang besar. Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai karakterisasi modul TEG khususnya tipe SP184827145SA tunggal dan susun seri sebanyak 3 keping

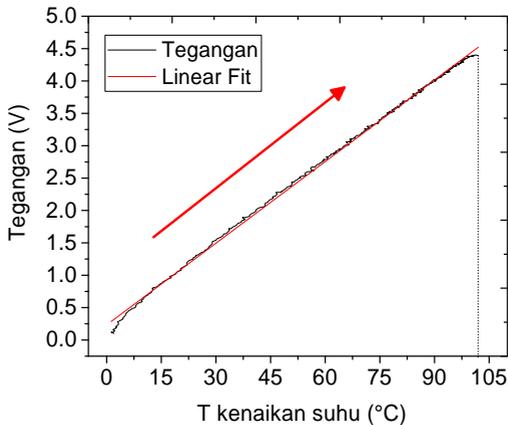
4.2.1 Karakterisasi Satu Keping Generator Termoelektrik

Pada karakterisasi TEG ini akan ditampilkan kurva hasil pengujian tanpa beban dan kurva uji pembebanan sehingga dapat diketahui karakteristiknya.



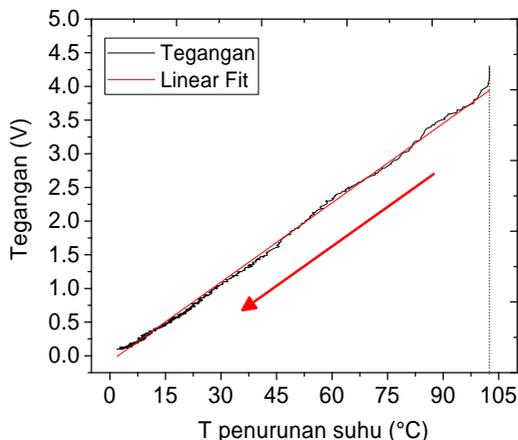
Gambar 4.8 Karakteristik satu keping generator termoelektrik pada $T=100^{\circ}\text{C}$

Pada gambar 4.8 menunjukkan perubahan tegangan TEG terhadap perubahan kenaikan maupun penurunan suhu dan menunjukkan karakteristik sistem pemanas yang berubah terhadap waktu. Dari analisa terhadap bentuk grafik yang dihasilkan bahwa semakin tinggi suhu kenaikan tegangan semakin besar atau dengan kata lain efisiensi juga meningkat seiring bertambahnya suhu.



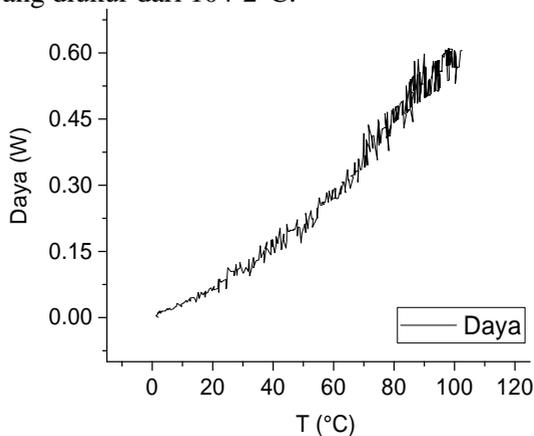
Gambar 4.9 Perubahan tegangan terhadap kenaikan suhu

Dari gambar 4.9 dapat diketahui bahwa perubahan nilai tegangan satu buah TEG tipe SP184827145SA berubah secara linier terhadap perubahan suhu. Pada suhu 100°C memiliki nilai tegangan *open voltage* sebesar 4.4 volt kondisi ini diukur ketika perubahan suhu naik dari $2-100^{\circ}\text{C}$.



Gambar 4.10 Perubahan tegangan terhadap penurunan suhu

Pada gambar 4.10 menunjukkan karakteristik tegangan yang dihasilkan oleh modul TEG dalam kondisi perbedaan suhu menurun yang diukur dari $104-2^{\circ}\text{C}$.

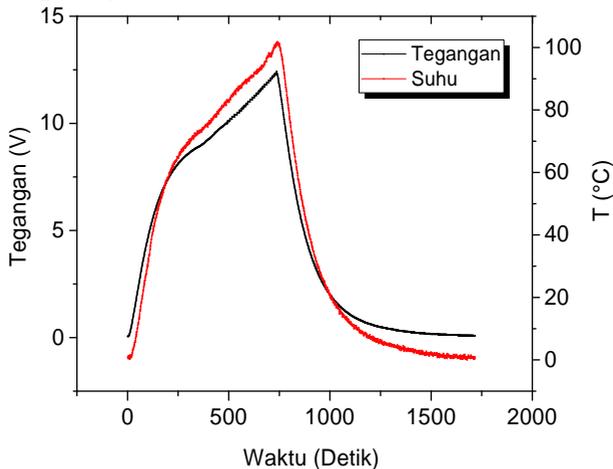


Gambar 4.11 Uji pembebanan pada $T=100^{\circ}\text{C}$

Selanjutnya pengujian untuk mengetahui daya yang dihasilkan oleh satu keping TEG tipe SP184827145SA dengan uji pembebanan, sehingga diketahui daya maksimum yang dihasilkan adalah 0.6 Watt. Hasil pengujian daya yang dimiliki oleh TEG tipe SP 184827145SA dapat dilihat pada gambar 4.11.

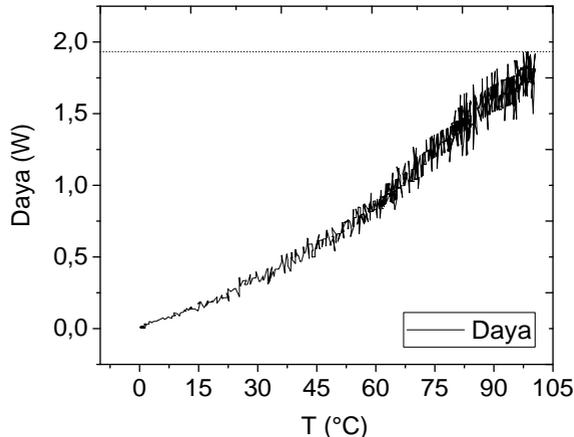
4.2.2 Karakterisasi Tiga keping Generator Thermoelektrik Susun Seri

Thermoelektrik yang disusun secara seri akan menghasilkan daya listrik yang lebih besar ketika disusun seri maka tegangan yang dihasilkan bertambah sedangkan arus yang dihasilkan tetap dengan merangkai seri modul generator thermoelektrik tipe SP184827145SA sebanyak 3 buah diharapkan hasil keluaran *open voltage* sebesar 13.2V dikarenakan dalam pengujian untuk satu buah generator thermoelektrik tipe SP184827145SA menghasilkan *open voltage* 4.4V pada $T = 100^{\circ}\text{C}$. Untuk karakteristik perubahan tegangan terhadap suhu juga memiliki bentuk kurva yang sama pada modul TEG SP1848271245 tunggal yaitu memiliki grafik bentuk linier seperti yang terlihat pada gambar 4.15 dan 4.16.



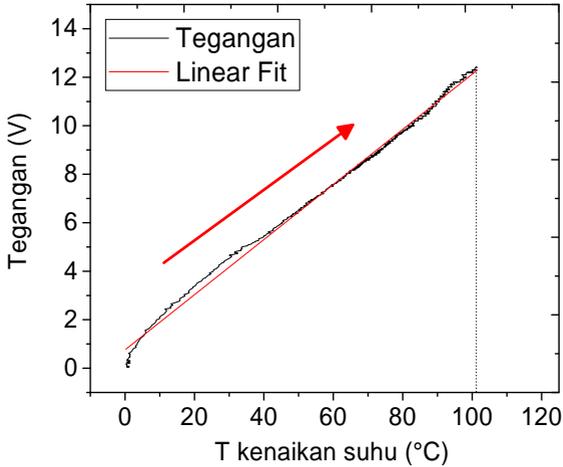
Gambar 4.12 Karakteristik tiga keping generator thermoelektrik susun seri pada $T=100^{\circ}\text{C}$

Pada gambar 4.12 tiga buah TEG disusun seri menghasilkan *open voltage* sebesar 12.4V pada $T = 100^{\circ}\text{C}$, hasil ini sedikit dibawah 13.2V walaupun demikian dengan menggunakan rangkain seri dapat dikatakan memiliki *open voltage* yang relatif baik. Dengan kata lain ketika dirangkai secara seri sebanyak 3 buah dapat memberikan nilai *open voltage* yang lebih besar 3 kali nya.

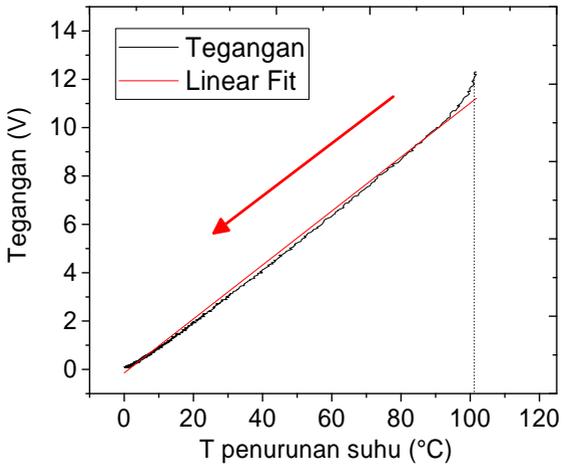


Gambar 4.13 Daya 3 keping TEG seri

Pada gambar 4.13 menunjukkan pengujian daya listrik yang dihasilkan pada 3 keping modul TEG SP1848271245SA susun seri ini menghasilkan daya maksimal sebesar 1.9Watt.



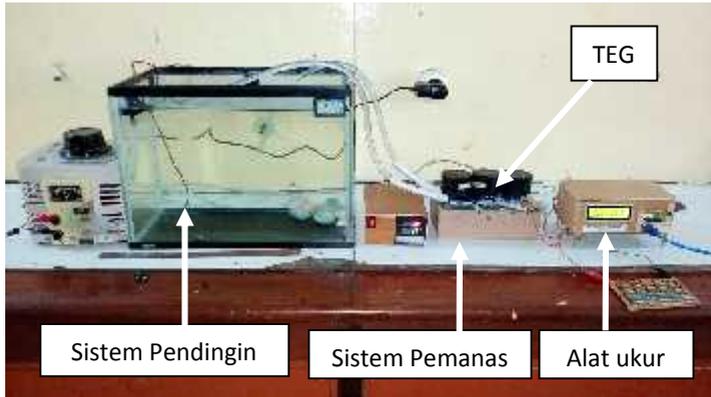
Gambar 4.14 Perubahan tegangan terhadap kenaikan suhu



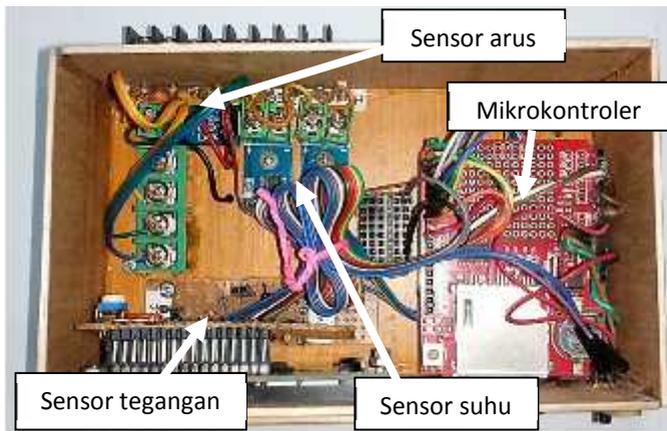
Gambar 4.15 Perubahan tegangan terhadap penurunan suhu

Pada gambar 4.14 maupun 4.15 menunjukkan karakteristik tegangan yang dihasilkan oleh modul TEG dalam kondisi kenaikan dan penurunan perbedaan suhu menghasilkan perubahan tegangan yang linier terhadap kenaikan maupun penurunan perbedaan suhu yang diberikan pada modul TEG.

LAMPIRAN A



Gambar 1. Rancang bangun alat karakterisasi modul generator termoelektrik yang terdiri dari sistem pemanas, sistem pendingin dan alat ukur



Gambar 2. Bagian dalam alat ukur

Alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

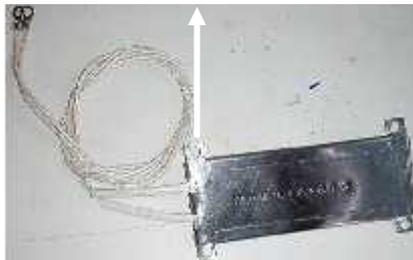
1. Thermostat Berme rex-C100



Gambar 3. 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*

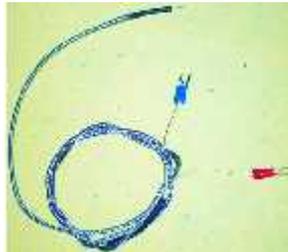


Gambar 4. *Heater Strip*

Spesifikasi :

-) Daya 300 Watt
-) Suhu maksimal $\pm 350^{\circ}\text{C}$
-) Dimensi 15x7x0.5 cm
-) Input power 60-260 V AC

3. Thermokopel

**Gambar 5.** Thermokopel tipe K**Spesifikasi :**

-) Input tipe flat
-) Probe diameter 0.88mm
-) Material insulated shielding
-) Rentang suhu $-50-400^{\circ}\text{C}$
-) Panjang $\pm 50\text{cm}$

4. Waterblock

**Gambar 6.** Waterblock dengan ukuran berbeda**Spesifikasi :**

-) Dimensi *Waterblock* biru 4x4x1 cm
-) Dimensi *Waterblock* hitam 12x4x1

-) Diameter lubang 0.9 cm
-) Material alumunium

5. Pompa DC



Gambar 7. 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 8. Aquarium berukuran 35x20x25 cm

7. Thermometer digital

**Gambar 9.** Thermometer Digital**Spesifikasi :**

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

8. MAX6675 Thermocouple K module

**Gambar 10.** Thermometer Digital**Spesifikasi :**

-) Input power 3.0-5.5 VDC
-) Rentang pengukuran $0-1024^{\circ}\text{C}$ atau $-20-(+85)^{\circ}\text{C}$
-) Resolusi 0.25°C
-) Output sinyal digital

9. ACS712



Gambar 11. ACS712 sensor arus

Spesifikasi :

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

10. SP184827145SA



Gambar 12. Modul TEG yang di uji

Spesifikasi :

-) Dimensi 40x40x35 mm
-) Berat 26 gr
-) Material *Bismuth Telluride*
-) Pada :

T 20°C : 0.97V/225MA	T 80°C : 3.6V/558MA
T 40°C : 1.8V/368MA	T 100°C : 4.8V/669MA
T 60°C : 2.4V/469MA	

11. Multimeter Agilent U1233a



Gambar 13. Multimeter Agilent U1233a

Spesifikasi :

-) Input power baterai 4x1.5V AAA
-) Dimensi 86x169x52 mm
-) Berat 371 gr
-) Resolusi 0.1 mV (Akurasi 0.5%+2)
-) Resolusi 0.01 μ A (akurasi 1.0%+2)

12. TM-1300K thermometer



Spesifikasi :

-) Pengukuran -30-1370 °C (-30-2000 °F)
-) Resolusi 0.1 °C/F
-) Berat 227 gr
-) Akurasi \pm 1%
-) Tipe K thermokopel
-) Input 9V baterai
-) Dimensi 14x7.6x2.7 cm

LAMPIRAN B

Tabel 1 Data sensor tegangan

No	multimeter	Sensor			
		Tegangan Naik		Tegangan Turun	
1	0.15	0.18	0.182	0.18	0.172
	0.15	0.2		0.17	
	0.15	0.18		0.17	
	0.15	0.17		0.16	
	0.15	0.18		0.18	
2	0.25	0.27	0.26	0.27	0.262
	0.25	0.27		0.28	
	0.25	0.25		0.25	
	0.25	0.26		0.26	
	0.25	0.25		0.25	
3	0.35	0.34	0.356	0.35	0.358
	0.35	0.36		0.35	
	0.35	0.36		0.36	
	0.35	0.36		0.36	
	0.35	0.36		0.37	
4	0.45	0.44	0.456	0.46	0.456
	0.45	0.45		0.45	
	0.45	0.46		0.45	
	0.45	0.46		0.45	
	0.45	0.47		0.47	
5	0.52	0.53	0.526	0.54	0.53
	0.52	0.53		0.53	
	0.52	0.53		0.53	
	0.52	0.52		0.52	
	0.52	0.52		0.53	

6	0.61	0.61	0.616	0.61	0.614
	0.61	0.61		0.61	
	0.61	0.62		0.62	
	0.61	0.62		0.62	
	0.61	0.62		0.61	
7	0.81	0.81	0.812	0.82	0.82
	0.81	0.81		0.82	
	0.81	0.8		0.82	
	0.81	0.82		0.82	
	0.81	0.82		0.82	
8	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49
	1.49	1.49		1.49	
	1.49	1.49		1.49	
	1.49	1.49		1.49	
	1.49	1.49		1.49	
9	1.99	2.01	1.994	2.01	1.994
	1.99	1.99		1.99	
	1.99	1.99		1.99	
	1.99	1.99		1.99	
	1.99	1.99		1.99	
10	2.49	2.5	2.492	2.5	2.492
	2.49	2.5		2.5	
	2.49	2.5		2.5	
	2.49	2.48		2.48	
	2.49	2.48		2.48	
11	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01
	3.01	3.01		3.01	
	3.01	3.01		3.01	
	3.01	3.01		3.01	

	3.01	3.01		3.01	
12	3.51	3.53	3.514	3.53	3.514
	3.51	3.51		3.51	
	3.51	3.51		3.51	
	3.51	3.51		3.51	
	3.51	3.51		3.51	
13	4	4	4	4	4
	4	4		4	
	4	4		4	
	4	4		4	
	4	4		4	
14	4.45	4.45	4.45	4.45	4.45
	4.45	4.45		4.45	
	4.45	4.45		4.45	
	4.45	4.45		4.45	
	4.45	4.45		4.45	
15	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07
	5.07	5.07		5.07	
	5.07	5.07		5.07	
	5.07	5.07		5.07	
	5.07	5.07		5.07	
16	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58
	5.58	5.58		5.58	
	5.58	5.58		5.58	
	5.58	5.58		5.58	
	5.58	5.58		5.58	
17	6.25	6.24	6.242	6.25	6.25
	6.25	6.24		6.25	
	6.25	6.24		6.25	

	6.25	6.25		6.25	
	6.25	6.24		6.25	
18	7.04	7.04	7.04	7.04	7.04
	7.04	7.04		7.04	
	7.04	7.04		7.04	
	7.04	7.04		7.04	
	7.04	7.04		7.04	
19	7.55	7.55	7.55	7.55	7.55
	7.55	7.55		7.55	
	7.55	7.55		7.55	
	7.55	7.55		7.55	
	7.55	7.55		7.55	
20	8.44	8.44	8.44	8.44	8.44
	8.44	8.44		8.44	
	8.44	8.44		8.44	
	8.44	8.44		8.44	
	8.44	8.44		8.44	
21	9.55	9.55	9.55	9.55	9.55
	9.55	9.55		9.55	
	9.55	9.55		9.55	
	9.55	9.55		9.55	
	9.55	9.55		9.55	
22	10.11	10.1	10.1	10.1	10.106
	10.11	10.1		10.1	
	10.11	10.1		10.11	
	10.11	10.1		10.11	
	10.11	10.1		10.11	
23	11.04	11	11	11.01	11.01
	11.04	11		11.01	

	11.04	11		11.01	
	11.04	11		11.01	
	11.04	11		11.01	
24	11.8	11.81	11.81	11.8	11.8
	11.8	11.82		11.8	
	11.8	11.8		11.8	
	11.8	11.82		11.8	
	11.8	11.8		11.8	
25	12.22	12.2	12.2	12.1	12.18
	12.22	12.2		12.2	
	12.22	12.2		12.2	
	12.22	12.2		12.2	
	12.22	12.2		12.2	
26	13.5	13.5	13.48	13.5	13.5
	13.5	13.4		13.5	
	13.5	13.5		13.5	
	13.5	13.5		13.5	
	13.5	13.5		13.5	
27	14.1	14.1	14.06	14.1	14.12
	14.1	14.1		14.1	
	14.1	14		14.1	
	14.1	14		14.2	
	14.1	14.1		14.1	

Tabel 2. Sensor Arus (ACS712)

Uji sensor Arus					
No	Multimeter	ACS712			
		Naik		Turun	
1	0.05	0.03	0.038	0.03	0.03
	0.05	0.04		0.03	
	0.05	0.04		0.02	
	0.05	0.05		0.04	
	0.05	0.03		0.03	
2	0.07	0.05	0.06	0.04	0.048
	0.07	0.06		0.04	
	0.07	0.07		0.05	
	0.07	0.06		0.05	
	0.07	0.06		0.06	
3	0.08	0.08	0.076	0.07	0.074
	0.08	0.07		0.08	
	0.08	0.08		0.08	
	0.08	0.08		0.07	
	0.08	0.07		0.07	
4	0.09	0.08	0.086	0.08	0.084
	0.09	0.09		0.08	
	0.09	0.08		0.09	
	0.09	0.09		0.08	
	0.09	0.09		0.09	
5	0.1	0.1	0.102	0.1	0.1
	0.1	0.1		0.1	
	0.1	0.11		0.1	
	0.1	0.1		0.1	
	0.1	0.1		0.1	

6	0.12	0.12	0.114	0.12	0.114
	0.12	0.11		0.12	
	0.12	0.11		0.11	
	0.12	0.12		0.11	
	0.12	0.11		0.11	
7	0.14	0.13	0.136	0.14	0.136
	0.14	0.14		0.14	
	0.14	0.14		0.14	
	0.14	0.14		0.13	
	0.14	0.13		0.13	
8	0.16	0.16	0.156	0.15	0.158
	0.16	0.15		0.16	
	0.16	0.16		0.16	
	0.16	0.16		0.16	
	0.16	0.15		0.16	
9	0.18	0.19	0.18	0.18	0.178
	0.18	0.18		0.18	
	0.18	0.18		0.18	
	0.18	0.17		0.17	
	0.18	0.18		0.18	
10	0.2	0.2	0.2	0.2	0.198
	0.2	0.2		0.2	
	0.2	0.2		0.2	
	0.2	0.2		0.2	
	0.2	0.2		0.19	
11	0.25	0.25	0.248	0.24	0.244
	0.25	0.25		0.25	
	0.25	0.25		0.25	
	0.25	0.24		0.24	

	0.25	0.25		0.24	
12	0.31	0.29	0.302	0.3	0.304
	0.31	0.31		0.31	
	0.31	0.31		0.3	
	0.31	0.3		0.3	
	0.31	0.3		0.31	
13	0.36	0.38	0.362	0.36	0.356
	0.36	0.36		0.36	
	0.36	0.36		0.35	
	0.36	0.35		0.36	
	0.36	0.36		0.35	
14	0.41	0.42	0.412	0.4	0.414
	0.41	0.42		0.41	
	0.41	0.41		0.43	
	0.41	0.41		0.41	
	0.41	0.4		0.42	
15	0.47	0.49	0.476	0.48	0.476
	0.47	0.48		0.47	
	0.47	0.47		0.48	
	0.47	0.47		0.47	
	0.47	0.47		0.48	
16	0.51	0.53	0.518	0.52	0.52
	0.51	0.52		0.52	
	0.51	0.51		0.53	
	0.51	0.51		0.51	
	0.51	0.52		0.52	

Tabel 3. Uji sensor suhu

Uji sensor suhu				
No	thermometer	Rata-rata	sensor suhu	Rata-rata
1	2.2	2.325	2.25	2.5
	2.3		2.75	
	2.3		2.5	
	2.5		2.5	
2	3.5	3.525	3.25	3.5
	3.6		3.5	
	3.4		3.5	
	3.6		3.75	
3	4.7	4.6	5	5
	4.6		4.75	
	4.6		5.25	
	4.5		5	
4	7	7.125	6.5	6.6875
	7		7	
	7.3		7	
	7.2		6.25	
5	8.1	8.3	7.75	7.9375
	8.3		8	
	8.4		7.75	
	8.4		8.25	
6	10	10.075	9.75	9.875
	10		9.75	
	10.1		10	
	10.2		10	
7	11.6	11.625	10.75	10.8125

	11.5		10.25	
	11.7		11	
	11.7		11.25	
8	13	13.075	12.5	12.5
	13		12.5	
	13.1		12.25	
	13.2		12.75	
9	15	14.975	14.5	14.5625
	14.9		14.25	
	15		14.5	
	15		15	
10	17.1	17.15	16.25	16.5
	17.1		16.75	
	17.1		16.25	
	17.3		16.75	
11	19	19.075	18.725	18.68125
	19		18.25	
	19.1		18.75	
	19.2		19	
12	21	21.05	20.25	20.4375
	21.1		20.25	
	21		20.5	
	21.1		20.75	
13	23	23	22	22.5
	23		22.25	
	23		22.75	
	23		23	
14	25	25.025	24.5	24.75
	25		24.75	

	25		24.75	
	25.1		25	
15	28	28	27.25	27.4375
	28		27.25	
	28		27.5	
	28		27.75	
16	29.5	29.525	29.25	29.3125
	29.5		29.25	
	29.5		29	
	29.6		29.75	
17	32.5	32.525	32.25	32.3125
	32.5		32.25	
	32.6		32.25	
	32.5		32.5	
18	34.2	34.2	34	34.08333333
	34.2		34	
	34.2		34.25	
19	36	36.06666667	36	36.08333333
	36		36	
	36.2		36.25	
20	39.3	39.36666667	39.25	39.33333333
	39.3		39.25	
	39.5		39.5	
21	42.4	42.53333333	42.25	42.33333333
	42.5		42	
	42.7		42.75	
22	44	44.26666667	44	44.26666667
	44.3		44.25	
	44.5		44.55	

23	47.8	47.93333333	47.75	47.83333333
	48		47.75	
	48		48	
24	50	50.03333333	49.75	49.83333333
	50		49.75	
	50.1		50	
25	53.7	53.76666667	53.25	53.75
	53.7		54	
	53.9		54	
26	57.1	57.13333333	56.75	56.91666667
	57		57	
	57.3		57	
27	60.3	60.26666667	60.25	60.08333333
	60.3		60	
	60.2		60	
28	63	63.1	63	63.08333333
	63.1		63	
	63.2		63.25	
29	66.3	66.26666667	66.25	66.25
	66.2		66.25	
	66.3		66.25	
30	69.6	69.63333333	69.5	69.41666667
	69.6		69.25	
	69.7		69.5	
31	73.4	73.33333333	73.5	73.41666667
	73.3		73.25	
	73.3		73.5	
32	76.1	76.16666667	76	76
	76.2		75.75	

	76.2		76.25	
33	79.5	79.56666667	79.25	79.25
	79.5		79	
	79.7		79.5	
34	83	83.13333333	83	83.16666667
	83.2		83.25	
	83.2		83.25	
35	86.5	86.56666667	86.25	86.5
	86.5		86.5	
	86.7		86.75	
36	90	90	89.25	89.58333333
	90		89.75	
	90		89.75	
37	94.2	94.23333333	94.25	94.25
	94.1		94.25	
	94.4		94.25	
38	97	97.2	96.75	97
	97.3		97.25	
	97.3		97	
39	99.6	99.73333333	99.5	99.66666667
	99.8		99.75	
	99.8		99.75	

Tabel 4. Sampel data tegangan 1 keping TEG

Uji Karakteristik TEG tanpa Beban				
Tegangan (V)	T(Heater) (l)	T(Modul)	ΔT (°C)	Waktu (s)
4.35	131	32.5	98.5	355
4.35	131	32.75	98.25	356
4.35	131.5	32.5	99	357
4.35	131.25	32.25	99	358
4.35	131.5	32.5	99	359
4.37	131.75	32.5	99.25	360
4.37	132	32.75	99.25	361
4.37	132	32.5	99.5	362
4.37	131.75	32.5	99.25	363
4.38	132	33.25	98.75	364
4.38	132	32.75	99.25	365
4.38	132	32.75	99.25	366
4.38	132.5	32.5	100	367
4.38	132.75	32.75	100	368
4.38	132.75	32.75	100	369
4.39	133.25	32.5	100.75	370
4.39	133	32.75	100.25	371
4.39	133.25	32.75	100.5	372
4.39	133.25	32.5	100.75	373
4.39	132.75	32.5	100.25	374
4.39	133	32.5	100.5	375
4.4	133.5	32.5	101	376
4.4	134	32.5	101.5	377

Tabel 5. Sampel data uji pembebanan 1 Keping TEG

Uji Pembebanan TEG Pada T = 100 °C									
No	Tegangan (V)	Arus (I)	Rata-Rata (I)			T(Heater)	T(Modul)	T (°C)	hambatan ()
			Tegangan (V)	Arus (I)	T (°C)				
1	4.66	0	4.6675	0	99.8125	134.75	34	100.75	0
2	4.68	0				133.5	34	99.5	
3	4.68	0				133.5	33.75	99.75	
4	4.65	0				133	33.75	99.25	
5	4.3	0.053	4.2975	0.053	100.375	133.25	33.25	100	79.2
6	4.29	0.053				133.5	33	100.5	
7	4.3	0.053				134	33.25	100.75	
8	4.3	0.053				134	33.75	100.25	
9	4.3	0.054	4.295	0.05375	101.125	134.25	32.5	101.75	77.2
10	4.3	0.053				134.25	33.5	100.75	
11	4.28	0.054				135	33.25	101.75	
12	4.3	0.054				133.5	33.25	100.25	
13	4.3	0.055	4.2975	0.05475	100.375	133.25	33.25	100	75.1
14	4.29	0.054				133.5	33	100.5	
15	4.3	0.055				134	33.25	100.75	
16	4.3	0.055				134	33.75	100.25	

Tabel 6. Sampel data tegangan 3 keping TEG susun seri

Uji Karakterisasi TEG Seri (Tanpa Beban)				
Tegangan (V)	T(Heater)	T(Modul)	T (°C)	Waktu (s)
12.2	146	45.75	100.25	724
12.2	145.75	46	99.75	725
12.3	146	45.75	100.25	726
12.3	146.25	45.5	100.75	727
12.3	146	46	100	728
12.3	146.25	46.25	100	729
12.3	146.25	45.75	100.5	730
12.3	146.5	45.75	100.75	731
12.3	147.25	46.25	101	732
12.3	147	46.75	100.25	733
12.3	147.5	46.5	101	734
12.3	147	46.5	100.5	735
12.4	147	46	101	736
12.4	147.5	46	101.5	737
12.4	147.5	46	101.5	738
12.3	147.75	46	101.75	739
12.3	147.75	46.5	101.25	740
12.3	147.5	46.25	101.25	741
12.2	147.75	46.5	101.25	742

Tabel 7. Sampel data daya 3 keping TEG susun seri

Uji pembebanan Dengan R konstan (79.5 Ω)						
Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	T(Heater)	T(Modul)	ΔT ($^{\circ}C$)	Waktu (s)
10.43	0.18	1.8774	149	46.75	102.25	1080
10.41	0.17	1.7697	149.25	46.75	102.5	1081
10.43	0.16	1.6688	149.25	46.75	102.5	1082
10.45	0.17	1.7765	149.25	46.5	102.75	1083
10.45	0.18	1.881	149.25	46.75	102.5	1084
10.47	0.17	1.7799	149.25	46.75	102.5	1085
10.51	0.17	1.7867	149.75	47	102.75	1086
10.29	0.16	1.6464	149.5	47	102.5	1087
10.41	0.15	1.5615	149.5	47.25	102.25	1088
10.43	0.18	1.8774	149.75	47	102.75	1089
10.39	0.16	1.6624	149.75	47.25	102.5	1090
10.43	0.17	1.7731	149.75	46.75	103	1091
10.45	0.17	1.7765	149.5	47.25	102.25	1092
10.45	0.18	1.881	149.75	47	102.75	1093

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian dengan judul “**Studi Karakterisasi Modul Generator Thermoelektrik Tipe SP184827145SA**” maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Secara keseluruhan sistem yang dibuat dapat berfungsi sebagai alat karakterisasi modul generator thermoelektrik
- b. Sensor tegangan yang dibuat memiliki range pengukuran terkecil 0.15 Volt
- c. Sensor arus yang dibuat memiliki range pengukuran terkecil 0.05 A
- d. Alat ukur berbasis mikrokontroler Atmega328 yang dibuat mampu merekam data dalam *SD Card* berupa tegangan, arus dan suhu per satu detik
- e. Pada $T = 100^{\circ}\text{C}$ modul thermoelektrik tunggal tipe SP184827145SA mempunyai nilai *open voltage* 4.4V dengan daya 0.6Watt sedangkan ketika disusun seri sebanyak 3 buah mempunyai nilai *open voltage* sebesar 12.4V dengan daya 1.9 Watt. Dengan kata lain, nilai open voltage dan daya meningkat 3 kalinya ketika dirangkai secara seri sebanyak 3 buah.

5.2 Saran

Saran untk penelitian lebih lanjut :

- a. Sensor arus diperbaiki hingga dapat mengukur nilai arus kecil atau dalam rentang miliampere
- b. Sensor tegangan diperbaiki hingga dapat mengukur nilai dalam skala milivolt
- c. Sensor suhu diperbaiki hingga memiliki resolusi dibawah 0.25°C
- d. Pengujian modul TEG dengan tipe lain yang memiliki daya lebih besar dari tipe SP185812745

- e. Bisa dikembangkan menjadi prototype pembangkit listrik skala rumah dengan sumber panas buang yang ada seperti sinar matahari dan kondesor AC

DAFTAR PUSTAKA

- Bao-Liang Chen. 2008. "Alternative energy hits the road". Worcester Polytechnic Institute (WPI).
- Heremans, J.P. 2005. Low Dimensional Thermoelectricity. Proceeding of the XXXIV International School and Semiconducting Compounds: Ohio, USA.
- Holman, J.P. 1994. Perpindahan Kalor Edisi Keenam, Alih Bahasa Ir. E. Jasjfi, Msc, Erlangga, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Irawan Rahardjo, Ira Fitriana. 2010. "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia".
- Ismail, B.I., Ahmed, W.H. 2009. Thermoelectric Power Generation Using Waste-Heat Energy as an Alternative Green Technology, Recent Patents on Electricals Engineering, Vol.2, p. 2739.
- Lertsatitthanakorn, C. 2007. Electrical Performance Analysis and Economic Evaluation of Combine Biomass Cook Stove Thermoelectric (BiTe Generator, Bioresource Technology 98, p1670-1674.
- Morris, A.S. 2001. Measurement and Instrumentation Principles Third Edition, Butterworth-Heinemann, ISBN 0-7506-5081-8.
- Nandy Putra, Raldi Artono Koestoer, M. Adhitya, Ardian Roekettino, dan Bayu Trianto. 2009. "Potensi Pembangkit Daya Thermoelektrik Untuk Kendaraan Hibrid". Depok 16424, Indonesia.
- Nuwayhid, R.Y., Rowe, D.M., dan Min, G. 2003. Low Cost Stove -Top Thermoelectric Generator for Region with Unreliable Electricity Supply, J. Renewable Energy 29, p. 205 - 222.
- Pahlevi, R.G. 2015. Rancang Bangun Catu Daya Dengan Sumber Arus Konstan Untuk Geolistrik Resistivitas Meter. Dipublikasi di: Surabaya.

- Riffat, S.B. 2003. Fundamental of Applied Thermoelectricity in Engineering, 23/8. Applied Energy: London, Inggris.
- R. Wirawan. 2012. "Analisa penggunaan heat pipe pada thermoelectricgenerator," Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- S. L. Soo. 1968. Direct Energy Conversion, London, UK: Prentice Hall.
- Snyder, G. Jeffrey. "Small Thermoelectric Generators," The Electrochemical Society Interface, Fall 2008
- Zuryati Djafar, Nandy Putra, R.A. Koestoer. 2010. "Kajian Eksperimental Pengembangan Generator Thermoelektrik Sebagai Sumber Listrik", UI Depok 16424, Indonesia.

BIODATA PENULIS



Nama saya Muhammad Abrar, populer dengan panggilan abyan. Ayah saya bernama Yusmar dan ibu saya bernama Sofie Yulianti. Saya anak ketiga dari lima bersaudara. Saat ini saya tinggal di Tangerang, tepatnya di jalan Anggrek III No.59 blok C. Saya lahir di Bekasi tanggal 9 bulan Oktober tahun 1993. Pada tahun 2000, saya mulai memasuki bangku sekolah dasar di SDN Muhammadiyah 47 Bekasi. Setelah itu saya melanjutkan ke jenjang pendidikan yang lebih tinggi di SMP-IT Albinaa Islamic Boarding School atau bisa disebut juga pesantren Albinaa, selama enam tahun saya habiskan menuntut ilmu disana. Tahun 2011 saya merantau ke Surabaya kota pahlawan untuk melanjutkan kuliah di kampus perjuangan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, disinilah saya mulai membangun cita-cita, mimpi dan harapan saya kedepan. Setelah beberapa semester saya kuliah di jurusan fisika, ternyata.... berat. Fisika dipenuhi dengan sederet rumus dan nama-nama anehnya. Sepertinya saya salah masuk jurusan, itulah yang saya pikirkan kala itu. Namun saat ini saya tahu jawabannya, tidak lain karena ini merupakan takdir dari yang maha kuasa . Pemikiran saya akan 'salah jurusan' langsung sirna. Saya yakin, apabila Allah swt. telah memilihkan jalan untuk saya, maka itulah jalan yang benar. Semasa kuliah penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Jurusan Fisika (HIMASIKA) ITS, selain itu juga menjadi guru privat untuk jenjang anak sekolah SD,SMP maupun SMA. Untuk saran dan kritik atau sekedar ingin mengenal silakan menghubungi email saya.

abrar.physicist@gmail.com