



**PEMANFAATAN PANAS PHOTOVOLTAIC PANEL  
MENGUNAKAN THERMOELECTRIC GENERATOR (TEG)**

**SKRIPSI**

Oleh:

**Alfian Hidayat**

**NIM 161910201094**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO STRATA 1**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2020**



**PEMANFAATAN PANAS *PHOTOVOLTAIC* PANEL  
MENGUNAKAN *THERMOELECTRIC* GENERATOR (TEG)**

**SKRIPSI**

Oleh:

**Alfian Hidayat**

**NIM 161910201094**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO STRATA 1**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

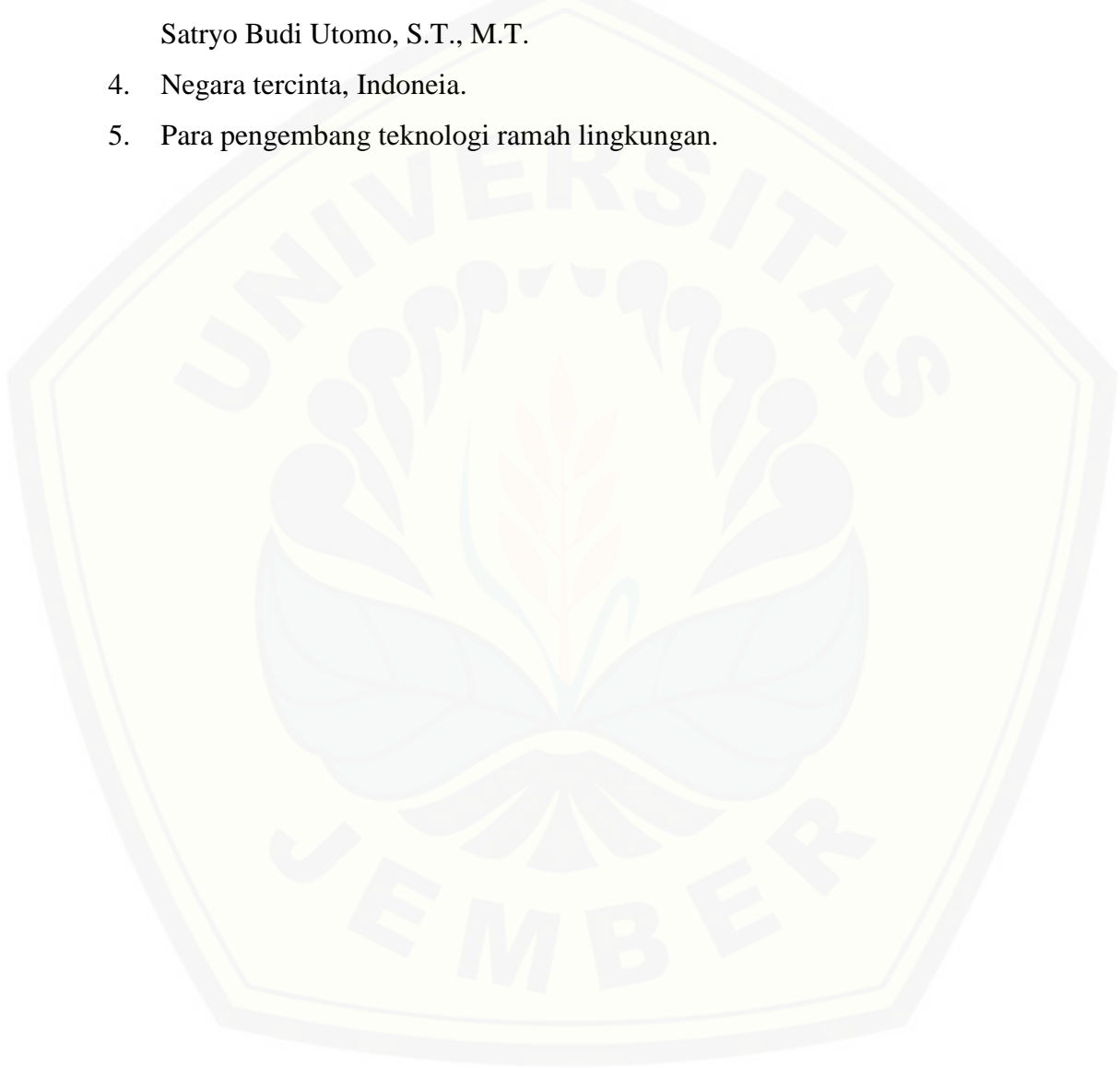
**UNIVERSITAS JEMBER**

**2020**

**PERSEMBAHAN**

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya, bapak Misyanto dan ibu Dewi Sujiati.
2. Keluarga besar (Alm.) Jemirah.
3. Dosen pembimbing saya, bapak Andi Setiawan, S.T., M.T. dan bapak Dr. Ir. Satryo Budi Utomo, S.T., M.T.
4. Negara tercinta, Indoneia.
5. Para pengembang teknologi ramah lingkungan.



**MOTTO**

*“Diatas langit masih ada langit”*

*“Didarat ada naga di laut ada dewa.”*

*“Terpaksa, dipaksa, terbiasa.”*

*“Lahir biasa saja, kehidupan biasa, dan hanya sebagai orang biasa yang tak mempunyai bakat. Hanya melalui usaha, dapat membuka pintu batasan itu..”*

*“Usaha tidak akan mengkhianati hasil.”*

*“Sebuah layang-layang terbang tinggi karena melawan angin, bukan mengikutinya.”*

*“Too fool, stupid, wait, and lazy make you never close from success. Control your self and do the best.”*

*“Yang sudah ya sudah. Sakit boleh, tapi tetap harus kerja. Karena hidup tidak bisa dipenuhi dengan tangisan.”*

**(Didik Prasetyo)**

*“Life isn't about waiting for the storm to pass. It's about learning how to dance in the rain.”*

**(Vivian Greene)**

*“Barang siapa yang membantu seorang Muslim (dalam) suatu kesusahan di dunia, maka Allah akan menolongnya dalam kesusahan pada Hari Kiamat. Dan barang siapa yang meringankan (beban) seorang Muslim yang sedang kesulitan, maka Allah akan meringankan (bebannya) di dunia dan di akhirat.”*

**(HR. Muslim)**

*“Ibu,ibu,ibu, ayah.”*

**(Rasulullah S.A.W.)**

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Alfian Hidayat

NIM : 161910201094

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pemanfaatan Panas *Photovoltaic Panel* meggunakan *Thermoelectric Generator* (TEG) ” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 7 Oktober 2020

Yang menyatakan,

Alfian Hidayat

NIM. 161910201094

**SKRIPSI**

**PEMANFAATAN PANAS *PHOTOVOLTAIC* PANEL  
MENGUNAKAN *THERMOELECTRIC GENERATOR* (TEG)**

Oleh:

Alfian Hidayat

NIM. 161910201094

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Andi Setiawan, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota: Dr. Ir. Satryo Budi Utomo, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi yang berjudul “Pemanfaatan Panas *Photovoltaic Panel* menggunakan *Thermoelectric Generator (TEG)*” karya Alfian Hidayat telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal : Rabu, 7 Oktober 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua

Anggota I

Andi Setiawan, S.T., M.T.

NIP. 196910101997021001

Dr. Ir. Satryo Budi Utomo, S.T., M.T.

NIP. 198501262008011002

Anggota II

Anggota III

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

NIP. 197008261997021001

Dr. Ir. Widjonarko, ST., MT.

NIP 197109081999031001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Jember

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

NIP. 197008261997021001



## RINGKASAN

**Pemanfaatan Panas *Photovoltaic Panel* menggunakan *Thermoelectric Generator (TEG)*; Alfian Hidayat; 161910201094; 2020; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.**

Dewasa ini kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat. Sedangkan energi yang masih banyak digunakan hingga saat ini yaitu fosil dan batu bara merupakan 85% bahan bakar listrik, yang semakin lama semakin menipis ketersediaannya. Batu bara dan fosil juga merupakan sumber energi yang tidak ramah lingkungan untuk dimanfaatkan. Berbeda dengan energi yang dapat diperbaharui dan tidak dapat habis, beberapa dapat dimanfaatkan dan tidak menimbulkan dampak buruk pada lingkungan. Seperti cahaya matahari yang dapat dimanfaatkan secara terus menerus dan tidak dapat habis. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu contoh pemanfaatan energi matahari. Panel surya dan *Solar Thermal* merupakan salah satu alat pengolahan energi matahari menjadi energi listrik. Untuk panel surya sendiri dibentuk menggunakan semikonduktor dengan bahan utama silikon (Si) tipe-p dan tipe-n. Namun untuk pemanfaatan panel surya memiliki nilai efisiensi yang rendah, berkisar pada 8,5% hingga 20%. Peningkatan efisiensi panel surya sangat diperlukan untuk *energy harvesting* yang lebih baik. Memanfaatkan panas yang dihasilkan oleh panel surya akibat terpapar sinar matahari merupakan salah satu bentuk optimalisasi *energy harvesting* pada panel surya. *Thermoelectric generator* merupakan salah satu komponen yang dapat menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan *seebeck effect*. Dengan bahan utama semikonduktor yaitu *ceramic* dan *Bismuth Telluride* ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ), *thermoelectric generator* (TEG) dapat menghasilkan panas memanfaatkan perbedaan panas yang terjadi pada kedua sisi. Pengujian dilakukan pada kondisi alam dengan panel surya sebagai *hot side* dan *heat sink* sebagai *cool side* dari *thermoelectric generator*. Variasi pengujian dilakukan dengan cara melakukan konfigurasi seri dan parallel pada sebelas sel *thermoelectric generator*. Pengujian juga dilakukan dengan memberi *thermoelectric generator* beban berupa resistor. Hasil pengujian menunjukkan pengaruh perbedaan suhu terhadap tegangan



yang dihasilkan oleh *thermoelectric generator*, dengan tegangan tertinggi yang didapatkan saat pengujian 1,1 Volt.



## SUMMARY

### **Hot Utilization Of Photovoltaic Panel Using Thermoelectric Generator (Teg);**

Alfian Hidayat; 161910201094; 2020; Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

In the future, the need for electrical energy is increasing. Meanwhile, the energy that is still widely used today, namely fossil and coal, constitutes 85% of electric fuel, which is increasingly depleting its availability. Coal and fossil are also sources of energy that are not environmentally friendly to use. In contrast to renewable and inexhaustible energy, some can be utilized and do not have a negative impact on the environment. Like sunlight that can be used continuously and cannot run out. The Solar Power Plant (PLTS) is an example of utilizing solar energy. Solar panels and *Solar Thermal* are a means of processing solar energy into electrical energy. The solar panel itself is formed using semiconductors with the main material being p-type and n-type silicon (Si). However, the use of solar panels has a low efficiency value, ranging from 8.5% to 20%. Increasing the efficiency of solar panels is needed for better *energy harvesting*. Utilizing the heat generated by solar panels due to sun exposure is one form of optimizing *energy harvesting* on solar panels. *Thermoelectric generator* is a component that can generate electrical energy by utilizing the *seebeck effect*. With the main ingredients of semiconductors, namely *ceramic* and *Bismuth Telluride* (Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>), the *thermoelectric generator* (TEG) can generate heat by utilizing the heat differences that occur on both sides. The test is carried out in natural conditions with solar panels as the *hot side* and *heat sinks* as the *cool side* of the *thermoelectric generator*. Variations of the test were carried out by performing series and parallel configurations on eleven cells *thermoelectric generator*. Testing is also carried out by giving the *thermoelectric generator* a load of resistors. The test results show the effect of temperature differences on the voltage generated by the *thermoelectric generator*, with the highest voltage obtained during the 1.1 Volt test.

## PRAKATA

Sembah sujud serta puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan kasih dan karunia-Nya. Atas karunia dan kemudahan yang diberikan akhirnya penulis dapat menyelesaikan penelitian sekaligus penyusunan skripsi yang berjudul ” **Pemanfaatan Panas *Photovoltaic Panel* meggunakan *Thermoelectric Generator (TEG)*”**. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat dalam penyelesaian pendidikan Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dalam penulisan skripsi ini tentunya banyak pihak yang telah memberikan bantuan baik moril ataupun materiil. Oleh karena itu penulis menyampaikan terimakasih kepada :

1. Allah SWT, atas kuasa-Nya penulis dapat menuntaskan skripsi ini;
2. Nabi besar Muhammad SAW, Nabi yang menjadi suri tauladan bagi seluruh umat;
3. Kedua orang tua saya, bapak Misyanto dan ibu Dewi Sujiati. Terima kasih atas pengorbanan dan usaha dalam membesarkan saya serta doa yang senantiasa mengiringi langkah perjuangan dan keberhasilan saya;
4. Keluarga besar mbah Jemirah yang telah ikut merawat saya sedari kecil hingga dewasa dan memberikan kasih sayang sepenuh hati;
5. Bapak Andi Setiawan, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Dr. Ir. Satrio Budi Utomo, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan fikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan arahan demi terselesainya skripsi ini;
6. Bapak Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku dosen penguji utama dan bapak Dr. Ir. Widjonarko, ST., MT. selaku dosen penguji anggota yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan skripsi ini;
7. Ibu Ike Febriani, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing, membantu dan menjadi inspirasi saya dalam menanamkan rasa disiplin serta tanggung jawab selama menjadi mahasiswa;

8. Guru-guru pengajar TK ABA 1 Tanjungrejo, MIM 01 Tanjungrejo, SMPM 6 Wuluhan, SMAN Ambulu dan dosen-dosen pengajar Teknik Elektro Universitas Jember. Terima kasih atas doa, semangat dan semua ilmu yang telah diberikan;
9. Teman seperjuangan sepenelitian yang saling membantu, mendukung, menyemangati, dan memotivasi dalam penyusunan skripsi;
10. Almamaterku Universitas Jember yang aku cintai dan banggakan;
11. Dulur-dulur INDUKTRO 16 yang telah memberikan berjuta cerita. Saya bersyukur menjadi bagian dari kalian calon orang-orang hebat;
12. Para sahabat, teman-teman terdekat, teman seperjuangan dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu-persatu namanya yang telah membantu dalam segala hal.
13. Teman-teman dari IMM koTA dan cabang, yang selalu memberikan dukungan, bantuan dan hiburan;
14. Pemerintah Republik Indonesia atas bantuan secara finansial dalam bentuk beasiswa dan pendidikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan jenjang pendidikan.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena sempurna hanya milik Allah SWT. Harapan penulis adalah supaya informasi dari skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Jember, 7 Oktober 2020

Penulis



DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	<b>I</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>II</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>III</b>
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	<b>IV</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>V</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>VII</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>VIII</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>X</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>XI</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>XIII</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>XV</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>XVI</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1    LATAR BELAKANG .....	1
1.2    RUMUSAN MASALAH .....	2
1.3    BATASAN MASALAH .....	3
1.4    TUJUAN PENELITIAN .....	3
1.5    MANFAAT PENELITIAN .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1    THERMOELECTRIC GENERATOR (TEG) SP1848-27145 SA .....	5
2.2    SOLAR PANEL .....	7
2.3    ARDUINO UNO R3 .....	9
2.4    SENSOR ARUS DAN TEGANGAN INA219 .....	11
2.5    RTC DS3231 .....	12
2.6    MODUL MICROSD CARD .....	14
2.7    HEAT SINK .....	15
2.8    THERMAL GREASE HY510 .....	17
2.9    EFEK <i>SEEBECK</i> .....	18
2.10   EFEK <i>PELTIER</i> .....	18
2.11   EFEK <i>THOMSON</i> .....	18
2.12   SENSOR DHT22 .....	19
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>20</b>
3.1    TEMPAT PENELITIAN .....	20
3.2    WAKTU PENELITAN .....	20



3.3	TAHAPAN PENELITIAN.....	21
3.4	ALAT DAN BAHAN PENELITIAN .....	23
3.5	RANCANGAN PENELITIAN.....	23
3.5.1	<i>Diagram Blok Sistem</i> .....	24
3.5.2	<i>Perancangan Alat</i> .....	25
3.5.3	<i>Desain Keseluruhan</i> .....	26
3.6	PENGUJIAN ALAT .....	26
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>28</b>
4.1	PENGUJIAN SENSOR ARUS DAN TEGANGAN INA219 .....	28
4.2	PENGUJIAN SENSOR SUHU .....	31
4.3	PENGUJIAN TANPA BEBAN THERMOELECTRIC GENERATOR (TEG).....	33
4.3.1	<i>Pengujian Tanpa Beban Setiap Sel Thermoelectric Generator</i> .....	33
4.3.2	<i>Pengujian Tanpa Beban Seri dan Paralel sel Thermoelectric Generator</i> .....	35
4.4	PENGUJIAN TEG DENGAN VARIASI BEBAN .....	41
4.4.1	<i>Pengujian Sel Tunggal TEG Berbeban</i> .....	41
4.4.2	<i>Pengujian Sel Seri TEG Berbeban</i> .....	49
4.4.3	<i>Pengujian Sel Paralel TEG Berbeban</i> .....	58
<b>BAB 5. PENUTUP .....</b>		<b>68</b>
5.1	KESIMPULAN .....	68
5.2	SARAN.....	69
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>70</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>72</b>



**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 <i>Thermoelectric Generator (TEG) SP1848-27145 SA</i> .....	5
Gambar 2.2 Rangkaian <i>TEG Module</i> Terhubung dengan Beban.....	6
Gambar 2.3 <i>Solar Panel 10 Wp</i> .....	8
Gambar 2.4 Mikrokontroler Arduino Uno R3 .....	10
Gambar 2.5 Modul Sensor INA219 .....	11
Gambar 2.6 Modul RTC DS3231 .....	13
Gambar 2.7 Modul MicroSD Card.....	14
Gambar 2.8 Bentuk <i>Heat Sink</i> yang Digunakan .....	16
Gambar 2.9 <i>Thermal Grease HY510</i> .....	17
Gambar 2.10 Sensor Suhu DHT22 .....	19
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	21
Gambar 3.2 Gambar Diagram Blok Sistem .....	24
Gambar 3.3 Gambar Desain Perancangan Alat.....	25
Gambar 3.4 Gambar Desain 3D Perancangan Alat.....	26
Gambar 4.1 Grafik Pengujian Sensor Tegangan INA219.....	29
Gambar 4.2 Grafik Pengujian Sensor Arus INA219.....	30
Gambar 4.3 Gambar Sensor INA219 .....	31
Gambar 4.4 Grafik Pengujian Sensor Suhu DHT22 .....	32
Gambar 4.5 Gambar Sensor Suhu DHT22.....	32
Gambar 4.5 Gambar Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Tegangan Paralel .....	37
Gambar 4.6 Gambar Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Tegangan Seri.....	40
Gambar 4.7 Gambar Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Tegangan Beban 150 $\Omega$ ..	43
Gambar 4.8 Gambar Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Tegangan Beban 470 $\Omega$ ..	46
Gambar 4.9 Gambar Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Tegangan Beban 1000 $\Omega$	48
Gambar 4.10 Gambar Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Tegangan Konfigurasi Seri Beban 150 $\Omega$ .....	52
Gambar 4.11 Gambar Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Tegangan Konfigurasi Seri Beban 470 $\Omega$ .....	54
Gambar 4.12 Gambar Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Tegangan Konfigurasi Seri Beban 1000 $\Omega$ .....	57
Gambar 4.13 Gambar Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Tegangan Konfigurasi Paralel Beban 150 $\Omega$ .....	60
Gambar 4.14 Gambar Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Tegangan Konfigurasi Paralel Beban 470 $\Omega$ .....	63
Gambar 4.15 Gambar Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Tegangan Konfigurasi Paralel Beban 1000 $\Omega$ .....	66

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Spesifikasi <i>Solar Panel</i> 10 Wp .....	7
Tabel 2.2 Spesifikasi <i>Solar Panel</i> 10 Wp .....	8
Tabel 2.3 Spesifikasi Arduino Uno R3 .....	10
Tabel 2.4 Spesifikasi INA219 .....	12
Tabel 2.5 Data Spesifikasi RTC DS3231.....	13
Tabel 2.6 Spesifikasi Modul MicroSD.....	15
Tabel 2.7 Spesifikasi <i>Heat Sink</i> .....	16
Tabel 2.8 Spesifikasi <i>Thermal Grease</i> .....	17
Tabel 2.9 Spesifikasi DHT22.....	19
Tabel 3.1 Rencana dan Jadwal Pelaksanaan Penelitian .....	20
Tabel 3.2 Target Nilai yang Dicapai .....	24
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sensor Tegangan INA219 .....	29
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Sensor Arus INA219 .....	30
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Sensor Suhu DHT22.....	31
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian 11 Sel Teg .....	33
Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Paralel Sel Teg .....	36
Tabel 4.6 Data Hasil Pengaruh Suhu Paralel Sel Teg.....	37
Tabel 4.7 Data Hasil Pengujian Seri Sel Teg .....	38
Tabel 4.8 Data Hasil Pengaruh Suhu Seri Sel Teg .....	39
Tabel 4.9 Data Hasil Pengujian Sel Tunggal Teg dengan Beban 150 $\Omega$ .....	41
Tabel 4.10 Data Hasil Pengaruh Suhu Sel Teg Beban 150 $\Omega$ .....	42
Tabel 4.11 Data Hasil Pengujian Sel Tunggal Teg dengan Beban 470 $\Omega$ .....	44
Tabel 4.12 Data Hasil Pengaruh Suhu Sel Teg Beban 470 $\Omega$ .....	45
Tabel 4.13 Data Hasil Pengujian Sel Tunggal Teg dengan Beban 1000 $\Omega$ .....	46
Tabel 4.14 Data Hasil Pengaruh Suhu Sel Teg Beban 1000 $\Omega$ .....	48
Tabel 4.15 Data Hasil Pengujian Seri Sel Teg dengan Beban 150 $\Omega$ .....	49
Tabel 4.16 Data Hasil Pengaruh Suhu Sel Teg Konfigurasi Seri dengan Beban 150 $\Omega$ .....	51
Tabel 4.17 Data Hasil Pengujian Seri Sel Teg dengan Beban 470 $\Omega$ .....	52
Tabel 4.18 Data Hasil Pengaruh Suhu Sel Teg Konfigurasi Seri dengan Beban 470 $\Omega$ .....	53
Tabel 4.19 Data Hasil Pengujian Seri Sel Teg dengan Beban 1000 $\Omega$ .....	55
Tabel 4.20 Data Hasil Pengaruh Suhu Sel Teg Konfigurasi Seri dengan Beban 1000 $\Omega$ .....	56
Tabel 4.21 Data Hasil Pengujian Paralel Sel Teg dengan Beban 150 $\Omega$ .....	58
Tabel 4.22 Data Hasil Pengaruh Suhu Sel Teg Konfigurasi Paralel dengan Beban 150 $\Omega$ .....	59
Tabel 4.23 Data Hasil Pengujian Paralel Sel Teg dengan Beban 470 $\Omega$ .....	61
Tabel 4.24 Data Hasil Pengaruh Suhu Sel Teg Konfigurasi Paralel dengan Beban 470 $\Omega$ .....	62
Tabel 4.25 Data Hasil Pengujian Paralel Sel Teg dengan Beban 1000 $\Omega$ .....	64

Tabel 4.26 Data Hasil Pengaruh Suhu Sel Teg Konfigurasi Paralel dengan Beban  
1000  $\Omega$  ..... 65



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi merupakan sesuatu yang sangat dibutuhkan didalam kehidupan manusia. Pemanfaatan energi memiliki berbagai macam bentuk yang beragam. Sumber energi didalam kehidupan manusia juga mempunyai kapasitas masing-masing. Beberapa sumber energi dapat diperbaharui dan tidak dapat diperbaharui, dimana sumber energi yang tidak dapat diperbaharui suatu saat akan habis. Seperti sumber energi dari fosil yang suatu saat dapat habis karena penggunaan yang berlebihan. Bahan bakar fosil terbentuk karena adanya proses ilmiah pembusukan dari organisme yang telah mati. Proses pengendapan dan penguraian makhluk hidup sendiri membutuhkan waktu yang sangat lama sehingga dapat menghasilkan energi fosil dalam bentuk gas, cair, maupun padat yang siap untuk dimanfaatkan. Penggunaan bahan bakar dari fosil juga dapat menyebabkan masalah-masalah lingkungan seperti pencemaran udara maupun air. Selain fosil, nuklir (uranium) juga merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Namun pemanfaatan energi nuklir sangat berbahaya dan dapat mengancam kehidupan manusia didalam pemanfaatannya.

Berbeda dengan energi yang tidak dapat diperbaharui, energi yang dapat diperbaharui dapat digunakan secara terus menerus tanpa dapat habis. Selain itu beberapa energi yang dapat diperbaharui tidak menimbulkan dampak negatif pada lingkungan. Cahaya matahari merupakan contoh sumber energi yang tidak dapat habis dan dapat diperbaharui. Cahaya matahari biasa digunakan sebagai sumber pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Produksi tenaga listrik dengan memanfaatkan tenaga surya telah berkembang dari skala kecil hingga skala besar untuk memenuhi kebutuhan akan sumber listrik. Pemanfaatan energi surya biasanya dilakukan dengan menggunakan *Solar Cell* (Panel Surya) dan *Solar thermal*. Pemanfaatan energi matahari menggunakan panel surya dengan silikon tipe-p dan tipe-n, dimana silikon terbentuk dari lapisan silikon murni yang bersifat semikonduktor. Semikonduktor terdiri dari ikatan atom dengan elektron sebagai penyusun dasar pada silikon tipe-n. Sedangkan pada silikon tipe-p terdapat muatan

positif yang berlebih didalam struktur atomnya. Panel surya bekerja dengan menggunakan lapisan silikon tipe-n dan tipe-p yang membentuk suatu aliran listrik pada saat silikon terkena cahaya matahari. Aliran listrik dapat terjadi akibat silikon tipe-n memiliki kelebihan elektron pada saat tersinari oleh matahari. Sehingga pada saat kedua tipe silikon dihubungkan menggunakan penghantar maka elektron dari sisi silikon tipe-n akan mengalir menuju sisi silikon tipe-p. Namun efisiensi pemanfaatan energi surya menggunakan panel surya memiliki nilai yang rendah, berkisar antara 8,5% - 20% (Purwoto, Jatmiko, F., & Huda, 2017).

Peningkatan efisiensi pada *solar cell* sangat diperlukan untuk *energy harvesting* yang lebih baik (Hudak & Amatucci, 2008). Pemanfaatan panas yang dihasilkan dari panel surya merupakan salah satu bentuk optimalisasi *energy harvesting* pada panel surya. *Thermoelectric generator* merupakan komponen yang dapat digunakan sebagai penghasil listrik dengan memanfaatkan *seeback effect*. *Thermoelectric generator* dapat dibentuk dari berbagai macam bahan dasar, seperti *Half-Heusler (HH) alloys*, *Bismuth Telluride* ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ), *Telluride Alloy* ( $\text{PbTe}$ ), *Silicone-germanium*, *Amorphous Silicone* dan masih banyak lagi (Voss, 2002). *Seeback effect* sendiri merupakan sebuah fenomena yang dapat menghasilkan energi listrik saat terjadi perbedaan suhu pada sebuah komponen. Namun perbedaan suhu tersebut juga akan menyebabkan perpindahan panas yang disebut *peltier effect*. *Peltier effect* sendiri merupakan perpindahan kalor pada suatu bahan. Pada pemanfaatannya *peltier effect* dapat dimanfaatkan sebagai pendingin untuk *Thermoelectric Generator* (TEG) dengan cara mengalirkan perpindahan kalor pada bahan pelepas panas seperti air (Wikipedia, 2017).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas dapat ditarik beberapa permasalahan yaitu:

1. Bagaimana merancang pemanfaatan panas *Photovoltaic Solar Panel* dengan *Thermoelectric Generator* (TEG)?



2. Berapa nilai tegangan, arus, dan suhu yang dapat diperoleh pada pemanfaatan panas *Photovoltaic Panel* menggunakan *Thermoelectric Generator* (TEG) ?

### 1.3 Batasan Masalah

Pada proses studi kasus dan penelitian tentu terdapat masalah yang akan terjadi, agar tidak timbul pembahasan masalah yang terlalu meluas, maka diperlukan pembatasan masalah yaitu:

1. *Thermoelectric Generator* (TEG) yang digunakan SP1848-27145 SA
2. Tidak membahas konstruksi *Thermoelectric Generator* (TEG).
3. Mikrokontroler yang digunakan merupakan Arduino UNO.
4. Panel yang digunakan 10 WP jenis *polycrystalline*.
5. *Thermoelectric Generator* (TEG) yang digunakan berjumlah 11 (sebelas).
6. Tidak membahas komponen *measure*.

### 1.4 Tujuan Penelitian

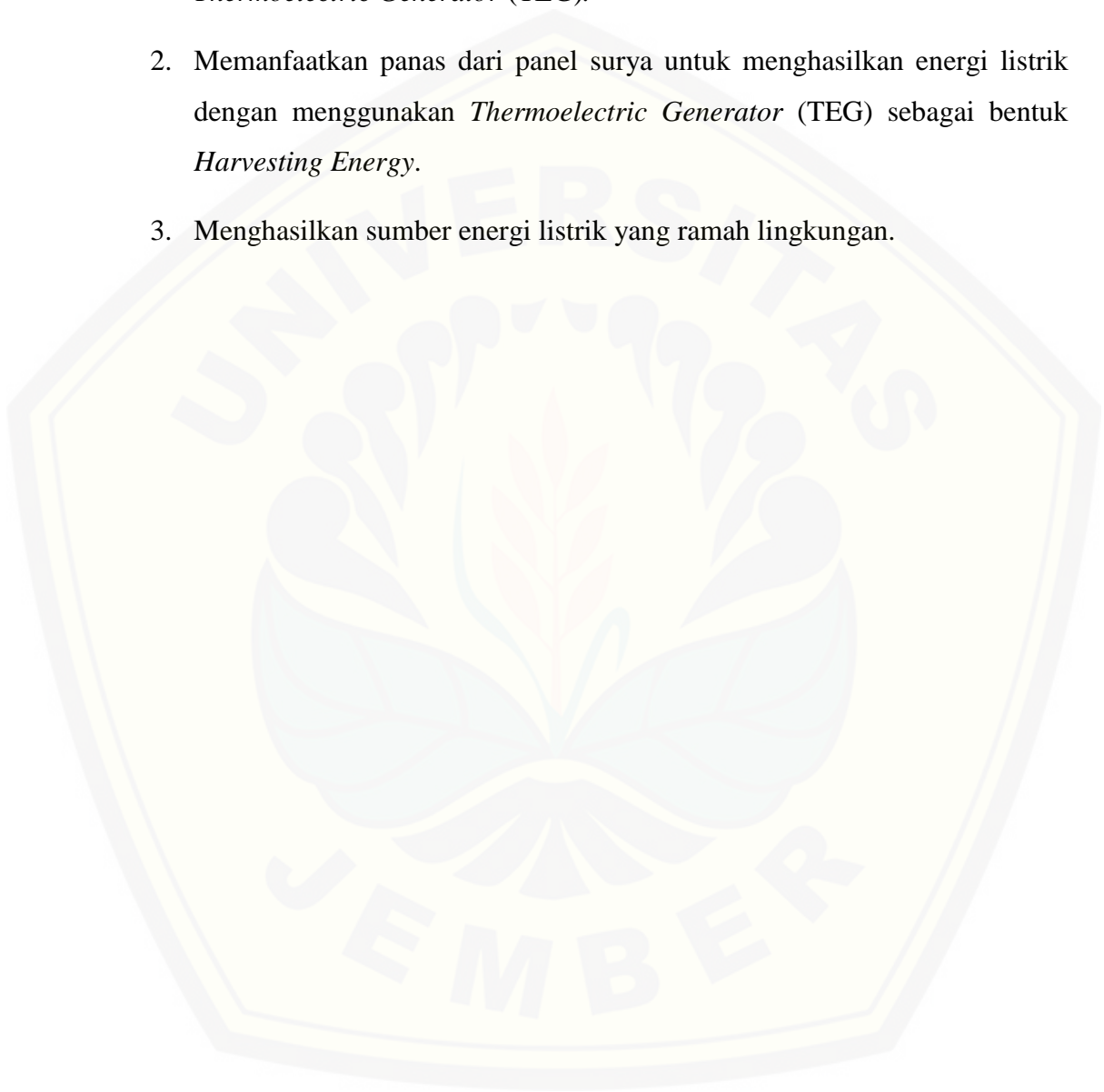
Penelitian yang dilakukan ini memiliki beberapa tujuan untuk dicapai sebagai pencapaian akhir, diantaranya:

1. Membuat rancang bangun pemanfaatan panas *Photovoltaic Solar Panel* dengan *Thermoelectric Generator* (TEG).
2. Mengetahui berapa nilai tegangan, arus, dan suhu yang dapat diperoleh dari pemanfaatan panas *Photovoltaic Panel* menggunakan *Thermoelectric Generator* (TEG) yang telah dibuat.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat diantaranya:

1. Merancang pemanfaatan panas *Photovoltaic Solar Panel* menggunakan *Thermoelectric Generator* (TEG).
2. Memanfaatkan panas dari panel surya untuk menghasilkan energi listrik dengan menggunakan *Thermoelectric Generator* (TEG) sebagai bentuk *Harvesting Energy*.
3. Menghasilkan sumber energi listrik yang ramah lingkungan.





## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

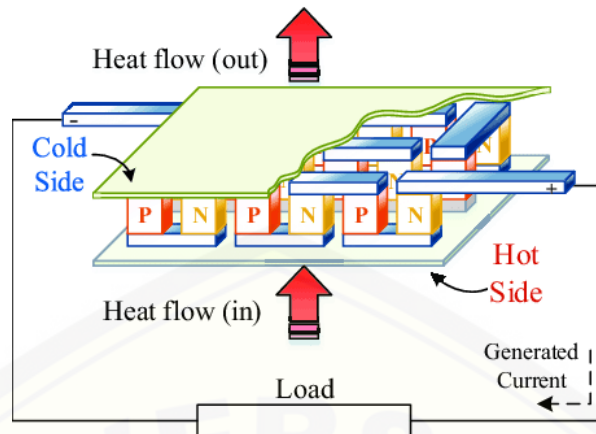
### 2.1 Thermoelectric Generator (TEG) SP1848-27145 SA

*Thermoelectric Generator* atau pembangkit termoelektrik merupakan perangkat yang mampu menghasilkan listrik dari perbedaan suhu yang terjadi pada komponen. Dengan memanfaatkan efek seebeck dari perbedaan panas pada komponen sehingga dapat menghasilkan tegangan yang mengalir dari sisi panas (*hot side*) ke sisi dingin (*cool side*). Namun pada saat bekerja *Thermoelectric Generator* juga akan menghasilkan efek peltier atau efek pemompa kalor dari sisi bersuhu panas ke sisi bersuhu dingin. Yang mengakibatkan kalor berpindah dari sisi panas ke sisi dingin. Dapat berfungsi sebagai pendingin pada komponen elektronika (Wikipedia, 2017).



Gambar 2.1 *Thermoelectric Generator* (TEG) SP1848-27145 SA

(Sumber : [www.shopee.co.id](http://www.shopee.co.id))



Gambar 2.2 Rangkaian *TEG Module* Terhubung dengan Beban

(Sumber : [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net))

Pada penerapannya TEG banyak digunakan sebagai sumber tegangan bagi alat elektronika yang membutuhkan sumber tidak terlalu besar. TEG dapat bekerja secara seri maupun paralel seperti pada panel surya. TEG mampu dimanfaatkan dalam berbagai kondisi. Dengan susunan semikonduktor bertipe p dan tipe n yang tersusun didalam modul TEG.

Model matematis dari efek *seebeck* pada *thermoelectric* yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tegangan yang dihasilkan, 
$$V = \alpha \Delta T \quad (2.1)$$

$V$  = tegangan yang dihasilkan (volt)

$\alpha$  = koefisien *seebeck* ( $V/^{\circ}C$ )

$\Delta T$  = perbedaan temperatur pada sisi panas dan sisi dingin ( $T_h - T_c$ )( $^{\circ}C$ )

Penentuan nilai koefisien *seebeck*, 
$$\alpha = \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (2.2)$$

$\alpha$  = koefisien *seebeck* ( $V/^{\circ}C$ )

$\Delta T$  = perbedaan temperatur pada sisi panas dan sisi dingin ( $T_h - T_c$ )( $^{\circ}C$ )

$\Delta V$  = tegangan yang dihasilkan pada pengukuran kedua ujung terminal (volt)

TEG *Module* yang digunakan bertipe SP1848-27145 SA dengan spesifikasi seperti pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Spesifikasi *Solar Panel* 10 Wp

Spesifikasi	Keterangan
Thermal Conductivity (K)	15-16x10 <sup>3</sup> W/ °C
Conductivity	850-1250Ω/cm
Working Environment	60-125 °C
Weight	25g
Material	Ceramic/Bismuth Telluride
Dimension	4 x 4 x 0.34 cm
Voltage Operation	0 – 4.8V
Current Operation	3 – 669 mA

## 2.2 Solar Panel

*Solar Panel* atau panel surya adalah sebuah peralatan listrik yang tersusun dari *Solar Cell* (sel surya) yang dirangkai secara seri dan paralel. Sel surya tersusun dari bahan semikonduktor jenis p dan jenis n yang memiliki kelebihan muatan hole dan elektron pada material penyusunnya. Bahan yang umum digunakan sebagai penyusun sel surya adalah silicon (Si) (Tira, 2018). Panel surya memiliki prinsip kerja ketika sinar matahari mengenai permukaan dari sel surya, yang akan menambah jumlah elektron pada sisi semikonduktor jenis n. Apabila sisi semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron dan kelebihan hole dihubungkan melalui terminal maka aliran elektron akan berjalan melewati terminal menuju sisi p dan menghasilkan aliran arus.



Gambar 2.3 Solar Panel 10 Wp

(Sumber : [www.solarpanelid.com](http://www.solarpanelid.com))

Sinar matahari terdiri dari berbagai macam gelombang elektromagnetik yang berupa *spektrum elektromagnetik*. Dimana sinar matahari memiliki peran utama sebagai sumber daya panel surya. Namun panel surya juga memiliki beberapa kelemahan seperti turunnya efisiensi pada saat suhu panel terlalu panas, sangat bergantung pada cuaca, memerlukan area yang cukup luas untuk pemasangan, dan harga panel surya yang masih dianggap mahal.

Berikut spesifikasi panel surya 10 Wp yang digunakan.

Tabel 2.2 Spesifikasi Solar Panel 10 Wp

Spesifikasi	Keterangan
Rated Maximum Power (Pm)	10W
Voltage at Pmax (Vmp)	18.0V
Current at Pmax (Imp)	0.56A
Open-Circuit Voltage (Voc)	20.88V
Short-Circuit Voltage (Isc)	0.59A

Spesifikasi	Keterangan
Maximum System Voltage	1000VDC
Maximum Series Fuse Rating	15A
Normal Operating Cell Temp (NOCT)	47 ± 2°C
Cell Technology	Poly-Si
Weight	1.1Kg

### 2.3 Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 merupakan sebuah mikrokontroler yang berbasis pada ATmega328P. Arduino memiliki beberapa macam *board* seperti Arduino Uno, Arduino Nano, Arduino Pro Mini, Arduino Mega, Arduino Yun. Modul Arduino Uno R3 sudah dilengkapi dengan berbagai komponen yang telah terintegrasi dan membentuk suatu sistem kontrol yang dapat berjalan dengan perintah pengguna. Arduino Uno R3 memiliki 14 pin *digital input / output*, dengan 6 pin diantaranya dapat digunakan sebagai PWM *output*. Arduino Uno R3 juga memiliki sebuah 16 MHz *quartz crystal*, sebuah lubang USB, sebuah ICSP *header* dan sebuah tombol reset. Arduino Uno R3 membutuhkan sumber tegangan DC untuk beroperasi yang dapat diperoleh pada komputer maupun *adapter AC-to-DC* (Dahlan, 2017).

“Uno” dalam bahasa Italia berarti satu untuk menandai peluncuran *Arduino Software (IDE) 1.0*. *Arduino Software 1.0* sendiri merupakan *software* yang berguna untuk transfer perintah pengguna kedalam *Uno Board*. perintah yang diolah pada *Arduino Board* berbentuk bahasa pemrograman C++ yang mudah dimengerti oleh manusia. Dengan dukungan *library* yang lengkap, Arduino Uno R3 memiliki banyak kelebihan seperti adanya modul yang siap pakai dengan *shield* yang terpasang langsung (Arduino, 2019).





Gambar 2.4 Mikrokontroler Arduino Uno R3

(Sumber : [www.arduino.com](http://www.arduino.com))

Arduino merupakan *platform open source* yang memudahkan pengguna untuk merancang sebuah alat mikrokontroler maupun peralatan elektronika yang interaktif dengan memanfaatkan fitur pada Arduino sendiri. Arduino juga memberikan berbagai jenis pin pada mikrokontroler, seperti pin analog dan pin digital yang dapat beroperasi pada tegangan 5 volt dengan arus 40 mA. Arduino juga memiliki *pull-up resistor* 20-50 k $\Omega$  yang terpisah.

Berkut merupakan tabel spesifikasi yang ada pada Arduino R3.

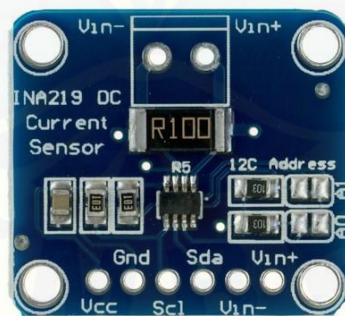
Tabel 2.3 Spesifikasi Arduino Uno R3

Spesifikasi	Keterangan
Mikrokontroler	Atmega 328
Tegangan Operasi	5 V
Tegangan Input	7-12 V
Tegangan Input (Batas)	6-20 V
I/O Digital	14 (dengan tersedia 6 buah PWM output)
PWM digital I/O	6 buah
Input Analog	6 buah

Arus DC per I/O pin	40 mA
Arus DC untuk pin 3.3	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) Dengan 0.5 KB digunakan oleh Bootloader
SRAM	2 Kb (ATmega328p)
EEPROM	1 Kb (ATmega328p)
Kecepatan Clock	16 Hz

#### 2.4 Sensor Arus dan Tegangan INA219

Sensor arus dan tegangan INA219 merupakan sensor yang berfungsi sebagai pengukur arus, tegangan, serta daya pada suatu rangkaian dengan tingkat presisi yang tinggi. Modul sensor arus dan tegangan INA219 mampu mengukur tegangan dengan batas maksimal 26 volt, dengan arus sebesar 3,2 ampere. Modul sensor sendiri menggunakan sumber tegangan sebesar 5 volt atau 3 volt. Pada modul sendiri terdapat *high-side current sensing* sehingga tidak akan terganggu karena perubahan *ground* (pada saat melakukan pengukuran arus secara seri).



Gambar 2.5 Modul Sensor INA219

(Sumber : [www.amazon.com](http://www.amazon.com))

Dengan 6-pin *header* 3,5 mm sebagai terminal data, dan 2-pin sebagai *detector*. INA219 menggunakan I2C sebagai serial untuk pengiriman data pada mikrokontroler. I2C sendiri merupakan standar komunikasi serial dua arah yang



berguna untuk mengirim dan menerima data dengan memanfaatkan saluran SDA (*Serial Data*) dan SCL(*Serial Clock*) dengan bertindak sebagai *master* dan *slave*.

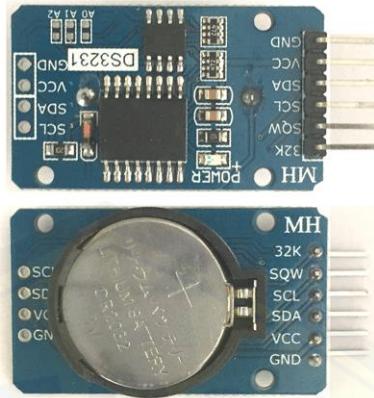
Berikut merupakan data spesifikasi dari modul sensor arus dan tegangan INA219.

Tabel 2.4 Spesifikasi INA219

Spesifikasi	Keterangan
<i>Resistor Current Sense</i>	100 $\Omega$
Maksimal pengukuran tegangan	26 VDC
Maksimal pengukuran arus	3,2 A
Ukuran modul	2 × 2,2 cm
<i>Maksimum supply voltage</i>	6 V
<i>Maksimum input current</i>	17 mA

## 2.5 RTC DS3231

RTC atau *Real Time Clock* merupakan suatu chip yang berfungsi sebagai penghitung waktu yang dapat diatur sesuai perintah pengguna. RTC DS3231 dilengkapi dengan sebuah baterai CR2032 3V agar dapat terus bekerja ketika tidak mendapat tegangan sumber 5V. RTC dapat digunakan untuk memelihara waktu dari detik, menit, jam, tanggal, bulan, hingga tahun (Maxim Integrated, 2015).



Gambar 2.6 Modul RTC DS3231

(Sumber : [www.shopee.co.id](http://www.shopee.co.id) )

RTC DS3231 memiliki transfer pin menggunakan I2C atau dengan menggunakan komunikasi serial SDA dan SCL sebagai transfer data. RTC DS3231 juga dilengkapi dengan pin SQW yang berfungsi sebagai pembangkit sinyal digital dengan frekuensi yang dapat diatur hingga 32.768 Hz. Terdapat juga EEPROM AT24C32 yang dapat digunakan sebagai 32K EEPROM untuk menyimpan data, biasanya digunakan untuk keperluan tingkat presisi yang lebih tinggi. Penggunaan RTC DS3231 memiliki sejumlah kekurangan dan kelebihan tergantung dari kebutuhan (Maxim Integrated, 2015).

Berikut data spesifikasi modul RTC DS3231.

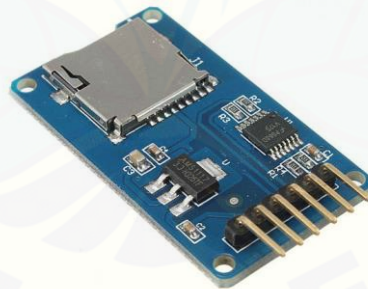
Tabel 2.5 Data Spesifikasi RTC DS3231

Spesifikasi	Keterangan
Suhu operasi	-40°C - 85 °C
Tegangan operasi	3,3 – 5,5 V
Dimensi	38 × 22 × 14 mm
Berat	8 g

Spesifikasi	Keterangan
Jenis baterai	CR2032
<i>Output</i>	1 Hz dan 32.768 kHz
<i>Timekeeping accuracy</i>	$\pm 0.432 \text{ second/day}$

## 2.6 Modul MicroSD Card

Modul MicroSD Card merupakan modul pembaca Micro SD. Melalui sistem dan SPI (*Serial Parallel Interface*) antarmuka *driver*, MCU untuk melengkapi sistem file sebagai pembaca dan penulis pada kartu MicroSD. Modul MicroSD memanfaatkan tegangan *supply* sebesar 4,5 hingga 5 volt dengan regulator tegangan 3,3 volt pada papan sirkuit. Dilengkapi dengan MISO (Master Out Slave In) dan MOSI (Master In Slave Out) sebagai jalur yang digunakan untuk menerima dan mengirim data. Sehingga pengiriman dan pengunduhan data dapat berjalan secara lancar.



Gambar 2.7 Modul MicroSD Card

(Sumber : [www.tokopedia.com](http://www.tokopedia.com))

Untuk menghindari kesalahan dalam komunikasi, dibutuhkan jalur SCK (Serial Clock) sebagai sinkronisasi data. Dengan pin CS (Chip Select) untuk mengaktifkan maupun mematikan perangkat *slave* SPI.

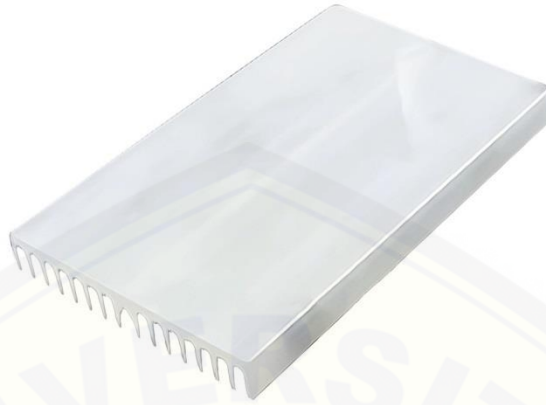
Berikut merupakan spesifikasi tentang modul MicroSD yang dipakai.

Tabel 2.6 Spesifikasi Modul MicroSD

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan <i>supply</i>	4.5 – 5V
<i>Interface Power Supply</i>	3.3 atau 5V
Tipe kartu	MicroSD / MicroSDHC
Ukuran	42mm × 24mm × 12mm

### 2.7 Heat Sink

*Heat sink* merupakan komponen yang berfungsi sebagai penyerap panas atau pelepas panas dari suatu komponen ke komponen lain. *Heat sink* bertujuan agar komponen tidak mengalami *overheat* atau kelebihan panas. Kelebihan panas pada sebagian komponen dapat menyebabkan menurunnya efisiensi kerja maupun rusaknya komponen tersebut. *Heat sink* secara umum terbuat dari bahan yang mudah mengalirkan panas dan memiliki ketahanan atas suhu yang tinggi. Sehingga pada saat *heat sink* bekerja sebagai perantara aliran panas, *heat sink* tidak mengalami kerusakan dan dapat bertahan lama. *Heat sink* juga sering dikenal sebagai *extended surface* atau perpanjangan dari permukaan suatu bidang untuk dapat meningkatkan luas area perpindahan kalor sehingga perpindahan kalor dapat dilakukan secara cepat dan dalam jumlah banyak.



Gambar 2.8 Bentuk *Heat Sink* yang Digunakan

(Sumber : [www.shopee.co.id](http://www.shopee.co.id) )

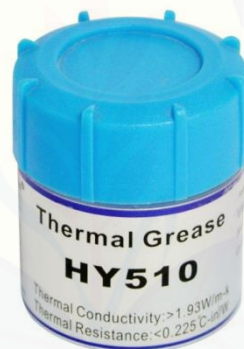
Berikut ukuran pada *heat sink* yang digunakan.

Tabel 2.7 Spesifikasi *Heat Sink*

Spesifikasi	Keterangan
Panjang	195 mm
Lebar	120 mm
Tinggi	35 mm
Tebal sirip	2 mm
Tebal <i>body</i>	4 mm
Bahan	Aluminium

## 2.8 Thermal Grease HY510

*Thermal grease* atau pasta termal merupakan komponen penghantar panas yang bertujuan untuk menghilangkan celah dari permukaan panas terhadap pendingin dengan tujuan untuk memaksimalkan perpindahan panas dan mengurangi pemborosan energi karena panas. Pasta termal biasa digunakan diantara *heat sink* dan *heat source* atau sumber panas pada peralatan semikonduktor. Dengan menggunakan bahan dasar silikon 50%, karbon 30%, dan *metal oxide* 20% pasta termal HY510 dapat beroperasi pada suhu -30 hingga 280 °C. *Thermal grease* sangat diperlukan untuk mengalirkan panas secara langsung pada pendingin TEG. Penggunaan *thermal grease* juga sangat membantu mencegah kerusakan pada komponen akibat *overheat*.



Gambar 2.9 *Thermal Grease* HY510

(Sumber : [www.shopee.co.id](http://www.shopee.co.id) )

Berikut merupakan spesifikasi dari pasta termal HY510 yang digunakan.

Tabel 2.8 Spesifikasi *Thermal Grease*

Spesifikasi	Keterangan
Suhu operasi	30 – 280 °C
Batas maksimal suhu operasi	50 – 300 °C



<i>Viscosity</i> (tingkat kerekatan)	1000
<i>Thermal conductivity</i>	>1,93 W/m.K

## 2.9 Efek Seebeck

Efek *seebeck* merupakan fenomena dimana sebuah perbedaan suhu antara dua bahan konduktor listrik atau semikonduktor yang dapat menghasilkan tegangan pada saat terjadi perbedaan suhu antar zat. Ketika salah satu dari kedua konduktor atau semikonduktor berada pada kondisi panas, maka elektron akan mengalir dari permukaan panas ke permukaan dingin. Jika kedua ujung dari permukaan tersebut disambungkan atau melewati sebuah penghubung listrik, maka tegangan searah atau DC akan mengalir dari ujung ke ujung. Tegangan yang dihasilkan dari efek *seebeck* merupakan tegangan yang kecil, hanya sebatas mikrovolt pada setiap suhu dalam kelvin pada perbedaan suhu antara *junction*. Beberapa alat menggunakan rangkain seri maupun paralel untuk menaikkan tegangan maupun arus hasil efek *seebeck*.

## 2.10 Efek Peltier

Efek *peltier* merupakan sebuah fenomena perpindahan kalor pada saat dua bahan semikonduktor (dingin dan panas) dihubungkan dengan elektroda yang dialiri oleh tegangan. Pada saat tegangan telah mengalir, maka kalor akan mengalir dari sisi panas menuju sisi dingin pada semikonduktor. Didalam peralatan *peltier*, elektroda yang digunakan harus memiliki bahan yang baik sebagai tempat mengalirkan tegangan. Bahan semikonduktor yang terdapat diantara elektroda akan membuat dua *junction* yang dipasangkan menghasilkan aliran energi panas mengalir.

## 2.11 Efek Thomson

Efek *thomson* merupakan suatu fenomena penyerapan dan pembuangan kalor ketika arus listrik mengalir melewati sebuah sirkuit, diantara dua bahan yang memiliki suhu berbeda. Kalor tersebut akan terbawa mengalir sepanjang jalur dari sirkuit. Kalor yang terbawa memiliki aliran sesuai dengan aliran arus yang melewati



bahan. Kalor yang dialirkan juga akan menyebabkan semakin tingginya resistansi pada bahan konduktor yang menyebabkan semakin panasnya bahan. Ketika kedua bahan memiliki jarak yang berdekatan, maka kalor akan diserap secara langsung dari konduktor oleh bahan yang memiliki suhu lebih rendah.

### 2.12 Sensor DHT22

DHT22 merupakan sensor pendeteksi suhu dan kelembapan yang biasa digunakan didalam pengukuran menggunakan mikrokontroler. DHT22 merupakan sensor yang memiliki tingkat presisi lebih tinggi dibandingkan DHT11. DHT22 memiliki bentuk yang sama persis dengan DHT11 namun memiliki warna yang berbeda. DHT22 memiliki 3 pin *input* yaitu berupa vcc, data, dan *ground* (Koestoer, Pancasaputra, Roihan, & Harinaldi, 2019).



Gambar 2.10 Sensor Suhu DHT22

(Sumber : [www.shopee.co.id](http://www.shopee.co.id) )

Berikut merupakan spesifikasi dari sensor suhu DHT22 yang digunakan.

Tabel 2.9 Spesifikasi DHT22

Spesifikasi	Keterangan
<i>Operating Voltage</i>	3.5 – 5.5V
<i>Output</i>	Serial Data
<i>Temperature Range</i>	- 40°C to 80°C
<i>Humidity Range</i>	0% - 100%
Akurasi	±0.5°C dan ±1%

**BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Listrik Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Slamet Riyadi No.62 Patrang, Jember 68111.

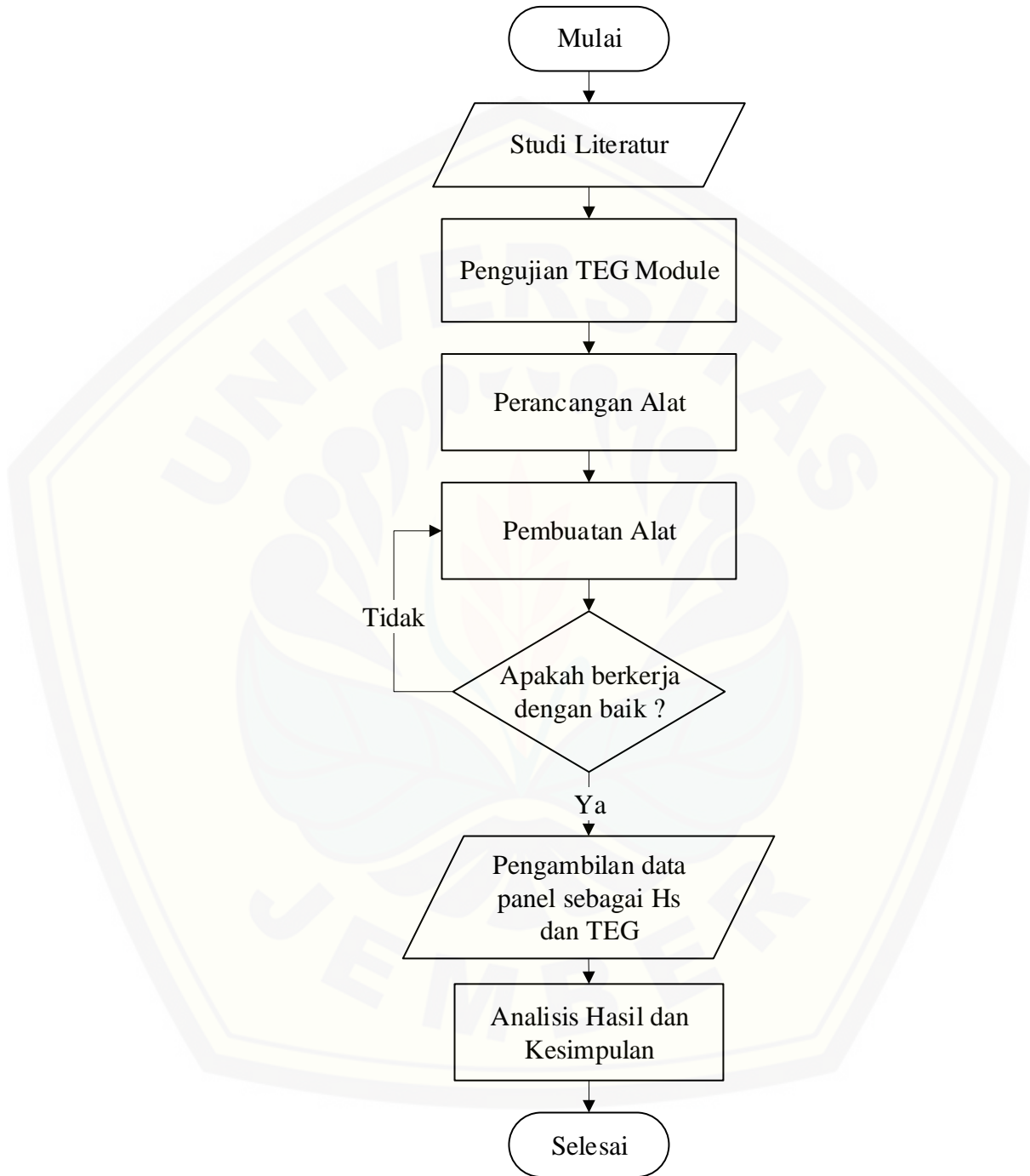
**3.2 Waktu Penelitian**

Waktu penelitian ini dimulai pada bulan Januari 2020 hingga Maret 2020, dengan rincian sebagai berikut :

Tabel 3.1 Rencana dan Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan/Minggu											
		Januari				Februari				Maret			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi literatur	■	■										
2	Rancangan sistem			■	■								
3	Pengukuran dan pengambilan data					■	■	■	■				
4	Analisa data dan pembahasan							■	■	■	■		
5	Penyusunan laporan									■	■	■	■

### 3.3 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

(Sumber : Penulis)

Dalam proses pembuatan rancangan alat tugas akhir ini langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

## 1. Studi Literatur

Tahap awal pelaksanaan penelitian ini adalah dengan mencari literatur dari hasil penelitian sebelumnya melalui jurnal, buku atau internet untuk mengetahui karakteristik komponen sistem, prinsip kerja serta teori yang menunjang lainnya. Diharapkan dengan literatur yang telah didapat dapat memberikan arahan untuk mengurangi kesalahan dalam penelitian.

## 2. Pengujian TEG *Module*

Tahapan ini melakukan pengujian pada modul TEG dengan cara memberikan panas pada salah satu sisi modul TEG. Sedangkan untuk sisi lainnya tetap dalam kondisi yang ada. Pada saat pengujian dapat diketahui perbedaan tegangan yang dihasilkan pada saat salah satu sisi panas maupun tidak. Sehingga pada saat pengujian dapat diketahui apakah modul TEG berfungsi dengan baik ataukah tidak.

## 3. Perancangan Alat

Pada tahapan ini merupakan tahap merancang alat yang akan dilakukan penelitian. Perancangan dilakukan dengan cara konsultasi dan membuat alat pendukung, serta membuat desain untuk alat yang akan dibuat.

## 4. Pembuatan Alat

Setelah perancangan alat berhasil telah disejui dan semua alat pendukung dapat berjalan dengan baik, maka pembuatan alat akan dilaksanakan.

## 5. Analisa dan Pengambilan Data

Setelah alat berhasil dibuat maka langkah selanjutnya yaitu melakukan pengujian pada keseluruhan sistem dan memastikan bekerja dengan baik dan hasilnya memenuhi target, maka hal yang dilakukan selanjutnya adalah pengambilan data yang diperlukan untuk dianalisa dari data yang telah didapatkan. Analisa yang dilakukan adalah alat yang telah dibuat apakah sesuai

dengan permintaan atau kehendak dan mengetahui respon atau variabel terkait sehingga didapatkan hasil yang optimal.

## 6. Penyusunan Laporan

Pada tahap akhir ini adalah hasil pengambilan data dan analisa untuk selanjutnya masuk ke pembahasan. Kemudian dari hasil analisa dapat ditarik beberapa kesimpulan yang menyangkut kinerja dari alat yang dibuat dan memberikan saran untuk memperbaiki kekurangan yang ada, kemungkinan pengembangan, serta penyempurnaan alat di masa mendatang.

### 3.4 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut ini:

1. *Thermoelectric Generator* (TEG) SP1848-27145
2. *Solar Panel* 10 Wp
3. Arduino UNO
4. Sensor Arus dan Tegangan INA219
5. RTC DS3231
6. Laptop/PC
7. Modul MicroSD Card
8. *Heat Sink*
9. *Thermal Grease* HY510
10. PCB (Printed Circuit Board)
11. Kabel Jumper
12. *Power Supply*

### 3.5 Rancangan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perancangan pemanfaatan panas *photovoltaic solar panel* menggunakan *thermoelectric generator* (TEG). Dengan suhu sebagai variabel bebas pada penelitian, tegangan sebagai variabel terikat, jumlah dan konfigurasi sel TEG sebagai variabel kontrol yang akan diteliti

pengaruh dan hasilnya. Penelitian berfokus pada peningkatan hasil dari rangkaian modul TEG pada saat panel surya mengalami pemanasan saat terkena sinar matahari. Sehingga didapatkan pembangkitan tegangan selain dari panel surya, juga berasal dari modul TEG.

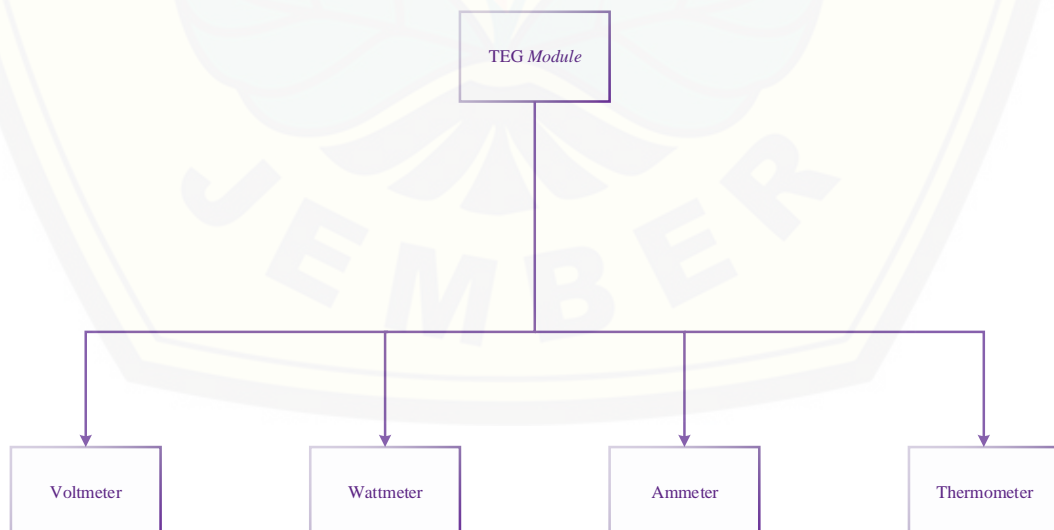
Dengan mengacu pada data tentang beberapa penelitian mengenai hasil percobaan dan spesifikasi resmi TEG diharapkan didapatkan hasil pengujian mendekati nilai berikut (Belakang, n.d.; Ginanjar, Hiendro, & Suryadi, 2019; Putri, Harjunowibowo, & Fauzi, 2015).

Tabel 3.2 Target Nilai yang Dicapai

$\Delta T$	V(V)	I(mA)	$\alpha$
20	0,97	225	0,0485
40	1,8	368	0,045
60	2,4	469	0,04
80	3,6	558	0,045
100	4,8	669	0,048

### 3.5.1 Diagram Blok Sistem

Berikut ini adalah diagram block sistem:



Gambar 3.2 Gambar Diagram Blok Sistem

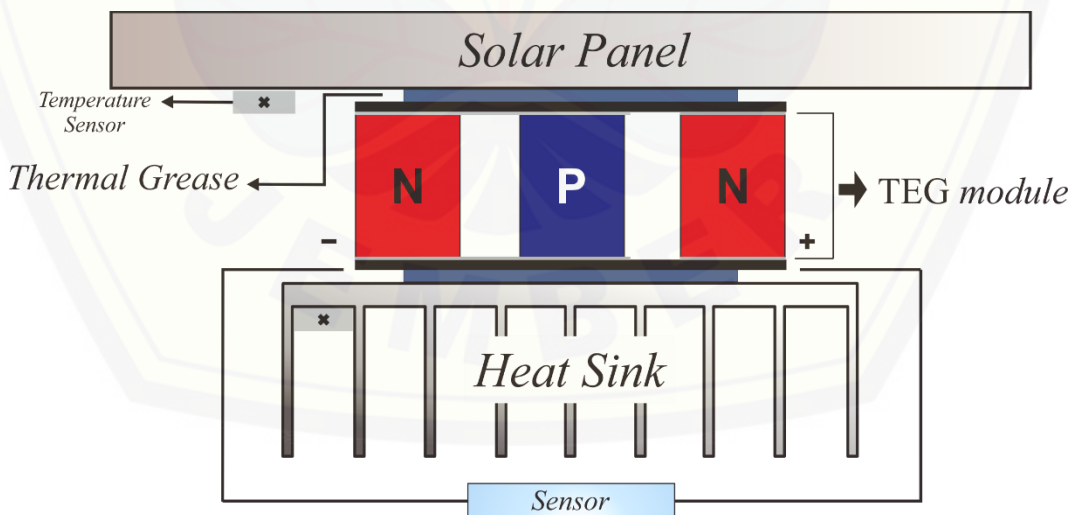
(Sumber : Penulis)



Pada Gambar 3.2 menunjukkan diagram blok sistem kerja dari perancangan sistem pada pengukuran pemanfaatan panas panel surya menggunakan modul TEG. Dari diagram blok dapat diketahui bahwa pengukuran dilakukan pada modul TEG. Dimana pengukuran dilakukan dengan merangkai modul TEG secara tunggal, seri maupun paralel. Dimana pengukuran pada pemanfaatan panas menggunakan TEG dilakukan secara langsung. Arus, tegangan dan daya diukur menggunakan sensor INA219. Pengukuran secara *real time* menggunakan arduino sebagai mikrokontroler dengan RTC dan modul SDcard sebagai *logger* untuk merekam nilai yang muncul pada saat penelitian.

### 3.5.2 Perancangan Alat

Pembuatan alat dilakukan dengan cara menggabungkan beberapa komponen menjadi rangkaian kelistrikan yang siap pakai. Rangkaian dilakukan dengan menyusun modul TEG diantara solar panel dengan *heat sink*. Sedangkan untuk menghilangkan celah antara kedua sisi *hot side* dan *cool side* pada TEG diberikan *thermal grease*. Sehingga modul TEG akan mendapatkan kalor yang terbuang dari panel surya pada sisi *hot side* dan menyalurkan panas tersebut pada *heat sink* yang berfungsi sebagai pembuang kalor pada sisi *cool side* modul TEG.

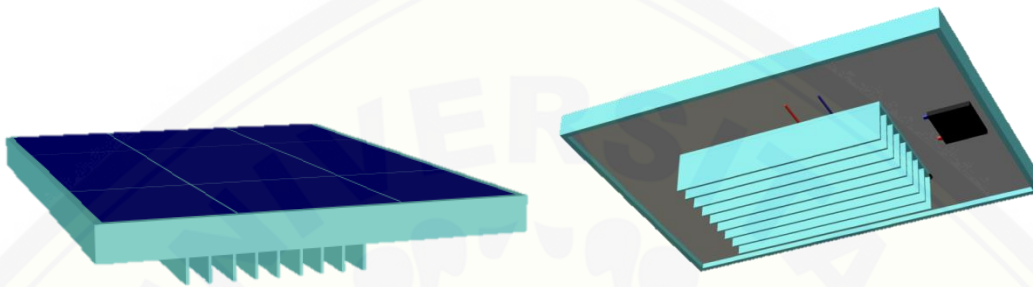


Gambar 3.3 Gambar Desain Perancangan Alat

(Sumber : Penulis)

### 3.5.3 Desain Keseluruhan

Pada desain keseluruhan dapat diketahui posisi yang digunakan dari modul TEG. Penempatan modul TEG berada diantara panel surya yang berfungsi sebagai *hot side* dan *heat sink* sebagai *cool side*. Pengukuran dilakukan pada kabel *output* komponen.



Gambar 3.4 Gambar Desain 3D Perancangan Alat

(Sumber : Penulis)

### 3.6 Pengujian Alat

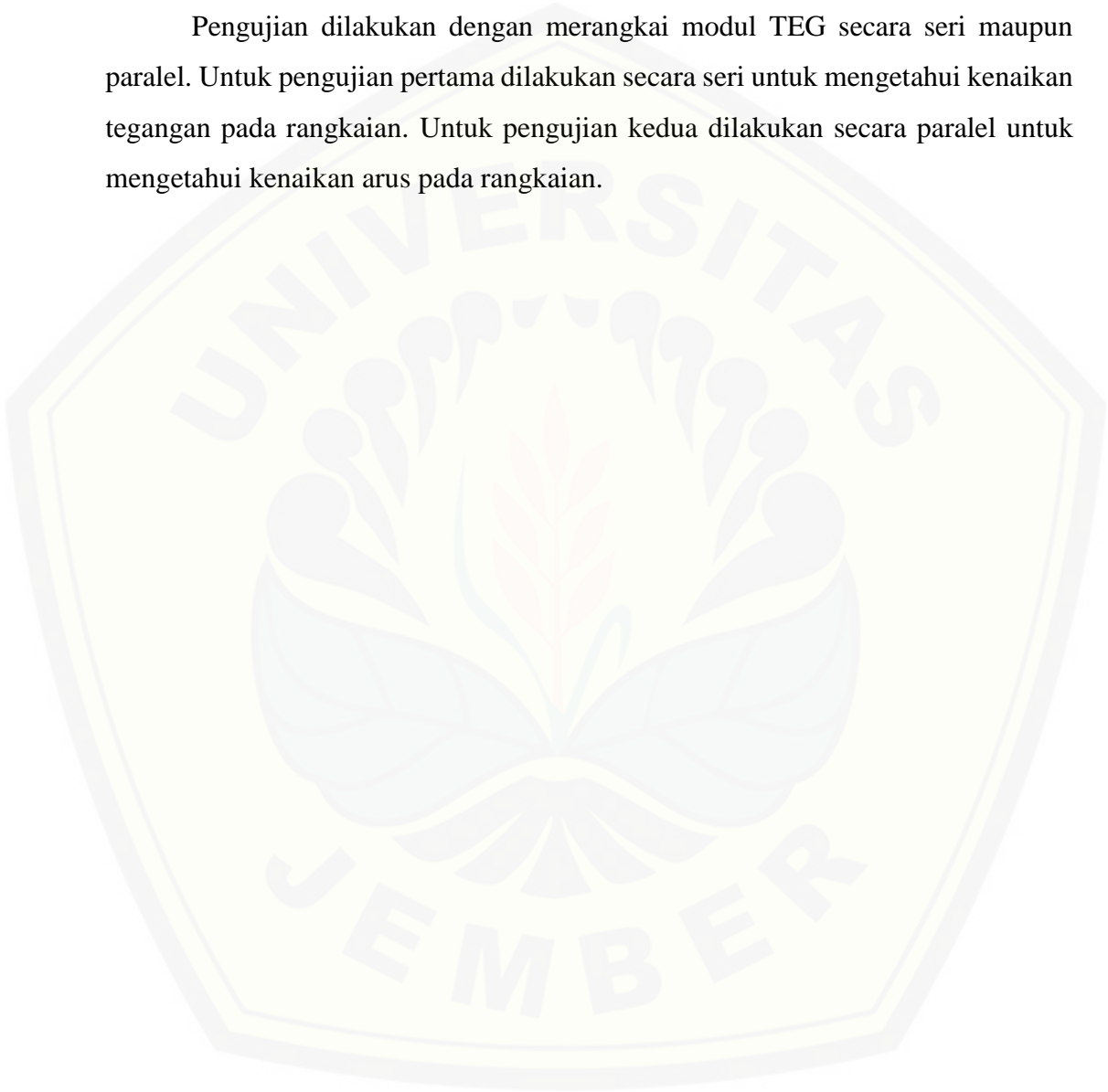
Pengujian dilakukan dengan cara mencatat tegangan, arus, dan daya secara *real time* menggunakan sensor INA219 dan *data logger*. Pengujian dilakukan pada saat terdapat matahari. Pengukuran juga dilakukan terhadap suhu benda pada modul TEG yang bertindak sebagai *cool side* dan *hot side* secara berkala dengan rentang waktu yang telah ditentukan. Pada saat pengambilan data, data yang didapatkan sesuai dengan keadaan cuaca pada saat pengambilan data. Pengukuran dilakukan pada komponen TEG yang dapat menghasilkan tegangan listrik. Pengambilan data setiap waktu dilakukan dengan cara mengambil nilai rata-rata data. Dimana rata-rata data diambil setiap 10 menit, seperti pada pengujian mulai jam 08.00 WIB hingga 09.00 WIB. Data rata-rata mulai dari 08.00 hingga 08.10 WIB pada jam 08.10 WIB dan seterusnya.

Selain pengujian secara tunggal, pengujian juga dilakukan terhadap nilai keluaran dari modul TEG yang dirangkai secara seri dan paralel. Untuk selanjutnya dapat diketahui berapa pertambahan nilai pemanfaatan panas yang didapatkan dari

rangkaian modul TEG. Pada pengukuran juga dilakukan pengukuran terhadap koefisien *seebeck* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\alpha = \frac{\Delta V}{\Delta T} \dots\dots\dots (3.1)$$

Pengujian dilakukan dengan merangkai modul TEG secara seri maupun paralel. Untuk pengujian pertama dilakukan secara seri untuk mengetahui kenaikan tegangan pada rangkaian. Untuk pengujian kedua dilakukan secara paralel untuk mengetahui kenaikan arus pada rangkaian.



## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa penelitian yang berjudul “pemanfaatan panas *Photovoltaic Panel* dengan *Thermoelectric Generator* (TEG)” didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Perancangan pemanfaatan panas *Photovoltaic Panel* dengan *Thermoelectric Generator* (TEG) yang telah dilakukan terbukti dapat dilakukan. Dimana perancangan dapat menghasilkan tegangan dan arus ketika berbeban dan tidak. Perancangan juga dapat dikombinasikan menggunakan konfigurasi seri dan paralel untuk meningkatkan tegangan dan arus sesuai kebutuhan.
2. Pada pengujian TEG dapat diketahui nilai hasil pengujian yang telah dilakukan. Dimana pada pengujian sel tunggal tanpa beban sendiri dapat menghasilkan nilai tegangan tertinggi sebesar 0,24 V. Koefisien *seebeck* tertinggi pada konfigurasi seri tanpa beban dengan nilai 3996,3669  $\mu\text{V}/^\circ\text{K}$  dengan tegangan tertinggi 1,1 V. Untuk daya terbesar yang didapatkan dari hasil pengujian sebesar 0,00416 W terdapat pada konfigurasi seri dengan beban 150  $\Omega$ . Dengan arus terbesar 10 mA pada pengujian paralel.
3. Untuk suhu maksimal dari penelitian yang telah dilakukan diketahui memiliki nilai tertinggi pada 50  $^\circ\text{C}$  sesuai dengan kondisi alam yang ada.

## 5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian pemanfaatan panas *Photovoltaic Panel* menggunakan *Thermoelectric Generator* (TEG), penulis dapat memberikan saran untuk pengembangan pada penelitian selanjutnya. Berikut saran yang dapat disampaikan :

1. Untuk *Cool Side* pada sel TEG dapat lebih dimaksimalkan dengan bahan maupun alat yang dapat membuang panas lebih maksimal dibandingkan *Heat Sink*.
2. Tegangan yang dihasilkan oleh TEG dapat lebih dimaksimalkan, dengan menggunakan converter. Untuk selanjutnya dapat dikombinasikan dengan penghasil tegangan lain seperti panel surya.
3. *Hot Side* pada sel TEG dapat lebih dimaksimalkan dengan bahan yang lebih sensitif untuk menerima dan menghantarkan panas lebih cepat.
4. Melakukan penelitian lebih lanjut untuk penggunaan komponen dalam skala yang lebih besar dengan konfigurasi seri dan paralel yang lebih bervariasi.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Arduino. (2019). No Title. Retrieved from Arduino Uno R3 website: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)
- Babu, C., & Ponnambalam, P. (2017). The role of thermoelectric generators in the hybrid PV/T systems: A review. *Energy Conversion and Management*, 151(August), 368–385. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.08.060>
- Belakang, A. L. (n.d.). *Pembuatan Pembangkit Energi Listrik Alternatif Dengan Model Sistem Hybrid Thermoelektrik Dengan Panel Sel Surya Mini Untuk Desa Mandiri Energi ( Tinjauan Potensi )*. 2–5.
- Dahlan, B. Bin. (2017). Sistem Kontrol Penerangan Menggunakan Arduino Uno Pada Universitas Ichsan Gorontalo. *ILKOM Jurnal Ilmiah*, 9(3), 282. <https://doi.org/10.33096/ilkom.v9i3.158.282-289>
- De Boor, J., & Müller, E. (2013). Data analysis for Seebeck coefficient measurements. *Review of Scientific Instruments*, 84(6). <https://doi.org/10.1063/1.4807697>
- Dimri, N., Tiwari, A., & Tiwari, G. N. (2018). Effect of thermoelectric cooler (TEC) integrated at the base of opaque photovoltaic (PV) module to enhance an overall electrical efficiency. *Solar Energy*, 166(March), 159–170. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.03.030>
- Ginanjari, Hiendro, A., & Suryadi, D. (2019). *Perancangan dan Pengujian Sistem Pembangkit Listrik Berbasis Termoelektrik dengan menggunakan Kompor Surya sebagai Media Pemusat Panas*.
- Gromov, G. (1962). Thermoelectric Cooling Modules. *American Journal of Physics*, 30(9), vii–vii. <https://doi.org/10.1119/1.1942168>
- Hudak, N. S., & Amatucci, G. G. (2008). Small-scale energy harvesting through thermoelectric, vibration, and radiofrequency power conversion. *Journal of Applied Physics*, 103(10). <https://doi.org/10.1063/1.2918987>
- Koestoer, R. A., Pancasaputra, N., Roihan, I., & Harinaldi. (2019). A simple calibration methods of relative humidity sensor DHT22 for tropical climates based on Arduino data acquisition system. *AIP Conference Proceedings*, 2062(February). <https://doi.org/10.1063/1.5086556>
- Li, G., Chen, X., & Jin, Y. (2017). Analysis of the primary constraint conditions of an efficient photovoltaic-thermoelectric hybrid system. *Energies*, 10(1), 1–12. <https://doi.org/10.3390/en10010020>
- Maxim Integrated. (2015). DS 3231 RTC General Description. Retrieved from Data Sheet website: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>
- Purwoto, B. H., Jatmiko, F., M. A., & Huda, I. F. (2017). Efisiensi Penggunaan



- Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif. *Emitor*, 18(1), 10–42.
- Putri, D. E., Harjunowibowo, D., & Fauzi, A. (2015). *Harvesting Energy Panas Matahari Menggunakan Thermoelectric Dan Photovoltaic*. 6(1), 63–68.
- Semiconductor thermoelements and thermo-electric cooling. (1960). *Solar Energy*, Vol. 4, p. 27. [https://doi.org/10.1016/0038-092x\(60\)90073-6](https://doi.org/10.1016/0038-092x(60)90073-6)
- Tira, H. S. (2018). Pengaruh Sudut Surya Terhadap Daya Keluaran Sel Surya 10 WP Tipe Polycrystalline. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(2), 69. <https://doi.org/10.22441/jtm.v7i2.2676>
- Tritt, T. M. (2002). *Recent Trends in Thermoelectric Materials Research I* (J. Goldsmid, Ed.). ACADEMIC PRESS.
- Voss, D. (2002). Thermoelectric materials. <https://doi.org/10.2497/jjspm.59.174>
- Wikipedia. (2017). Generator termoelektrik. Retrieved from [https://id.wikipedia.org/wiki/Generator\\_termoelektrik](https://id.wikipedia.org/wiki/Generator_termoelektrik)
- Zhang, J., Zhai, H., Wu, Z., Wang, Y., Xie, H., & Zhang, M. (2020). Enhanced performance of photovoltaic–thermoelectric coupling devices with thermal interface materials. *Energy Reports*, 6, 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.12.001>

## LAMPIRAN

### A. Program Arduino

```
#include <DHT.h>
#include <SD.h>
#include <DS3231.h>
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_INA219.h>
DHT dht1(7, DHT22);
DHT dht2(2, DHT22);
DS3231 rtc(SDA, SCL);
Time t;

const int chipSelect = 4;
const int INA_addr = 0x40;

Adafruit_INA219 ina219(INA_addr);

float tegangan = 00;
float arus = 00;
float daya = 00;

float suhuH = 00; // suhu dht
float suhuC = 00;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  dht1.begin();
  dht2.begin();
  rtc.begin();
  ina219.begin();
  //rtc.setDOW(SUNDAY);
  //rtc.setTime(7, 55, 0);
  //rtc.setDate(25, 6, 20);
  while (!Serial) {
    ;
  }

  Serial.print("Initializing SD card...");
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
```

```
Serial.println("Card failed, or not present");

while (1);
}
Serial.println("card initialized.");
}

void INA()
{
delay(200);
suhuH = dht1.readTemperature();
suhuC = dht2.readTemperature();

tegangan = ina219.getBusVoltage_V();
arus = ina219.getCurrent_mA(); //command untuk pembacaan arus
daya = tegangan * (arus/1000); //rumus untuk mendapatkan nilai watt

Serial.print(t.hour, DEC);
Serial.print(":");
Serial.print(t.min, DEC);
Serial.print(":");
Serial.print(t.sec, DEC);
Serial.print(" Tegangan : ");
Serial.print(tegangan);
Serial.print(" V");
Serial.print(" Arus : ");
Serial.print(arus);
Serial.print(" mA");
Serial.print(" Daya : ");
Serial.print(daya);
Serial.print(" W");
Serial.print(" Hot : ");
Serial.print(suhuH);
Serial.print(" C");
Serial.print(" Cool : ");
Serial.print(suhuC);
Serial.println(" C");

Serial.println("");
delay(5000);
}

void loop() {
```

```

INA(-);
String dataString = "";

File myFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
if (yyFile) {
    t = rtc.getTime();
myFile.print(t.hour, DEC);
myFile.print(":");
myFile.print(t.min, DEC);
myFile.print(":");
myFile.print(t.sec, DEC);
myFile.print(" Tegangan : ");
myFile.print(tegangan);
myFile.print(" V");
myFile.print(" Arus : ");
myFile.print(arus);
myFile.print(" mA");
myFile.print(" Daya : ");
myFile.print(daya);
myFile.print(" W");
myFile.print(" Hot : ");
myFile.print(suhuH);
myFile.print(" C");
myFile.print(" Cool : ");
myFile.print(suhuC);
myFile.println(" C");
    myFile.close();
    delay(5000);
}
else {
    Serial.println("error opening datalog.txt");
}
}

```

## B. Rumus

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

Keterangan :  $\alpha$  = Coefficient Seebeck ( $\mu\text{V}/^\circ\text{K}$ )

$V$

$\Delta T$  = Tegangan Ujung Terminal ( $\mu V$ )  
= Perbedaan Suhu *Hot Side* dan *Cool Side* ( $^{\circ}K$ )

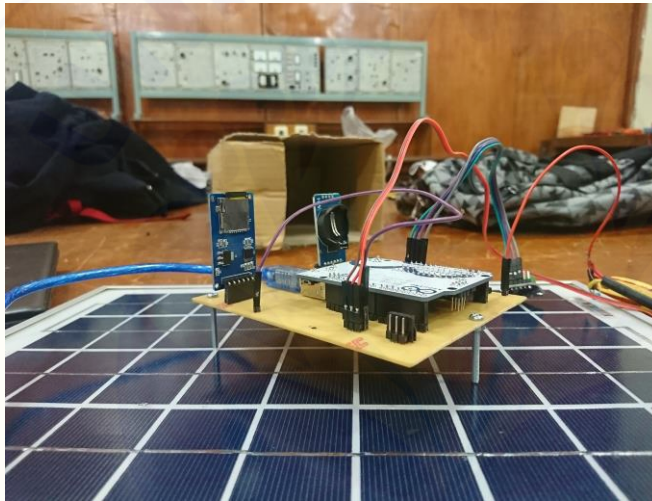
$$\alpha = \frac{V}{|\Delta T|} = \frac{0,95}{|(42,9 - 40,9) + 273|} = \frac{0,95}{|275|}$$

$$= 0,0034566 \times 1000000 = 3452,66 \mu V/^{\circ}K$$

Dengan cara yang sama, maka didapatkan hasil koefisien *seebeck*.

### C. Gambar

#### C1. Alat Measure



#### C2. Gambar Keseluruhan

