

**PENGARUH PENGGUNAAN *THERMOELECTRIC COOLER* PADA
PHOTOVOLTAIC THERMAL (PV/T) SIRIP BERSUDUT
TERHADAP EFISIENSI ELEKTRIK DAN TERMAL**

(Skripsi)

Oleh:

MUHAMMAD HILMI AKRAM

NPM 1715021053



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2023

ABSTRAK

PENGARUH PENGGUNAAN *THERMOELECTRIC COOLER* PADA *PHOTOVOLTAIC THERMAL (PV/T)* SIRIP BERSUDUT TERHADAP EFISIENSI ELEKTRIK DAN TERMAL

Oleh

Muhammad Hilmi Akram

Karakteristik unjuk kerja kolektor surya pelat datar dipengaruhi oleh beberapa parameter. Mulai dari jenis material yang digunakan dan juga apa yang terpasang dibagian bawahnya seperti sirip *absorber* dan *Thermoelectric Cooler*. Bentuk, sudut, dan ketebalan sirip yang digunakan juga berpengaruh pada karakteristik unjuk kerja dari kolektor surya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perbandingan PV/T dengan PV/T-TEC dengan dipasang TEC (1-12706) sebanyak 44 buah dibagian berlobang sirip *absorber* bersudut ketebalan 2 mm dengan pengujian menggunakan *solar simulator*. Dilakukan pengujian dengan laju aliran massa *single pass* dan aliran udara lingkungan diatas permukaan panel surya. Dengan memperhatikan temperatur panel surya, efisiensi termal, daya listrik yang didapat serta efisiensi listrik. Hasil efisiensi termal terbesar 96,74% dengan T_{pv} sebesar 64,84°C dan efisiensi listrik terbesar 6,456% untuk daya yang dihasilkan yaitu 27,63 Watt pada PV/T ($V_{udara} = 1\text{m/s}$) dengan laju aliran massa udara 0,339 kg/s. Hasil daya listrik *Thermoelectric Cooler* (TEC) terbesar 0,2583 Watt pada ($V_{udara} = 0\text{ m/s}$) laju aliran massa 0,339 kg/s.

Kata Kunci : Kolektor Surya, Sirip Bersudut, *Thermoelectric Cooler*, Efisiensi Termal, Efisiensi Elektrik, Daya listrik.

ABSTRACT**EFFECT OF USING THERMOELECTRIC COOLER ON THERMAL
PHOTOVOLTAIC (PV/T) ANGLE FIN TO ELECTRICAL AND
THERMAL EFFICIENCY**

By

Muhammad Hilmi Akram

The performance characteristics of flat plate solar collectors are influenced by several parameters. Starting from the type of material used and also what is installed at the bottom such as the absorber fins and the Thermoelectric Cooler. The shape, angle, and thickness of the fins used also affect the performance characteristics of the solar collector. This study aims to determine the effect of the ratio of PV/T to PV/T-TEC by installed TEC (1-12706) as many 44 pieces in the perforated absorber fins with an angle of 2 mm thickness by testing using a solar simulator. Tests were carried out with a single pass mass flow rate and ambient air flow over the surface of the solar panel. By paying attention to the temperature of the solar panels, thermal efficiency, the electric power obtained and electricity efficiency=[]. The highest thermal efficiency results are 96.74% with a T_{pv} of 64.84oC and the greatest electrical efficiency is 6.456% for the power produced, which is 27.63 Watt at PV/T ($V_{air} = 1m/s$) with a mass air flow rate of 0.339 kg/s. The biggest Thermoelectric Cooler (TEC) electric power yield is 0.2583 Watt at ($V_{air} = 0 m/s$) mass flow rate of 0.339 kg/s.

Keywords : Solar Collector, Angular Fin, Thermoelectric Cooler, Thermal Efficiency, Electrical Efficiency, Electric Power.

**PENGARUH PENGGUNAAN *THERMOELECTRIC COOLER* PADA
PHOTOVOLTAIC THERMAL (PV/T) SIRIP BERSUDUT
TERHADAP EFISIENSI ELEKTRIK DAN TERMAL**

Oleh:

MUHAMMAD HILMI AKRAM

NPM 1715021053

(Skripsi)

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung



FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2023

Lembar Pengesahan

Judul Skripsi : **PENGARUH PENGGUNAAN THERMOELECTRIC COOLER PADA PHOTOVOLTAIC THERMAL (PV/T) SIRIP BERSUDUT TERHADAP EFISIENSI ELEKTRIK DAN TERMAL**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Hilmi Akram**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1715021053**

Jurusan : **Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**

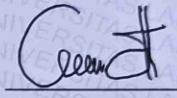

Komisi Pembimbing 1 : 
Amrizal, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 19700202 199803 1 004

Komisi Pembimbing 2 : 
Ahmad Yonanda, S.T., M.T.
NIP 19930110 201903 1 008

Ketua Jurusan Teknik Mesin : 
Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP 19710331 199903 1 003

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin : 
Novri Tanti, S.T., M.T.
NIP 19701104 199703 2 001



MENGESAHKAN**1. Tim Penguji****Ketua Penguji : Amrizal, S.T., M.T., Ph.D.****Anggota Penguji : Ahmad Yonanda, S.T., M.T.****Penguji Utama : Agus Sugiri, S.T., M.Eng.****2. Dekan Fakultas Teknik**
Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. ♪
NIP 19750928 200112 1 002**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 20 Januari 2023**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan. Sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau ditentukan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebut dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 15 Februari 2023



Muhammad Hilmi Akram

1715021053

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Palembang pada tanggal 10 September 1999, yang merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Soeheri dan Ibu Unariyah. Penulis memulai pendidikan pertama kali di Taman Kanak-kanak (TK) Bhayangkara Tanjung Tabalong Kalimantan Selatan dan menyelesaikannya pada tahun 2005, lalu menyelesaikan pendidikan dasar di SD Tulus Bakti Kota Palembang pada tahun 2011. Kemudian melanjutkan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 10 Palembang dan menyelesaikannya pada tahun 2014. Selanjutnya penulis menyelesaikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Muhammadiyah 1 Palembang pada tahun 2017.

Selanjutnya pada tahun 2017 penulis tercatat sebagai mahasiswa Universitas Lampung pada Fakultas Teknik yang diterima melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam kegiatan IKAM SUMSEL UNILA sebagai anggota Dana dan Usaha pada tahun 2018. Pada tahun 2019, penulis aktif dalam kegiatan Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin sebagai anggota Dana dan Usaha. Pada tahun 2020, penulis aktif dalam kegiatan Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin sebagai Kepala Divisi Penelitian. Pada tahun 2021 Penulis melakukan kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional (LAPAN) dalam satuan kerja Fabrikasi dan Desain Struktur dengan judul “Simulasi Tegangan Dengan *Software Solidwork* Untuk Baut Sambungan Dudukan Dengan Mesin *Winch* Alat Ekstraksi Mandrel di Pustek Roket LAPAN. Kemudian penulis melakukan penelitian untuk menyelesaikan tugas akhir di Jurusan Teknik Mesin Fakultas

Teknik dengan judul “Pengaruh Penggunaan *Thermoelectric Cooler* Pada *Photovoltaic Thermal* (PV/T) Sirip Bersudut Terhadap Efisiensi Elektrik dan Termal” dibawah bimbingan Bapak Amrizal, S.T., M.T., Ph.D. selaku pembimbing pertama dan Bapak Ahmad Yonanda, S.T., M.T. selaku pembimbing kedua.

MOTTO

“Berpikir Tajam, Bekerja Keras, Konsisten, Tawakal , dan Berdoa”

(Muhammad Hilmi Akram)

“Wahai Orang – orang yang Beriman, Jadikanlah Sabar dan Salat Sebagai Penolongmu Sesungguhnya Allah Beserta Orang –orang yang Sabar”

(QS Al Baqarah;153)

“Melangkahlah terus Bergerak Konsisten, Berlarilah, Lalu Lepas Landaslah dan Terbang Setinggi Mungkin”

(Muhammad Hilmi Akram)

“Seorang laki-laki dapat Berdiri di atas Telapak Kakinya Sendiri”

(Soeheri)

“Keberhasilan bukanlah milik orang yang Pintar. Keberhasilan adalah kepunyaan mereka yang senantiasa Berusaha”

(Prof. Dr.-Ing.Ir.H. Bacharuddin Jusuf Habibie, FREng)

PERSEMBAHAN

Dengan Penuh rasa Syukur Kepada Allah Subhanahu Waa Ta'ala,

Karya ini

Dipersembahkan kepada :

Kedua Orang Tuaku yang Kucintai

Ayah dan Ibu

Terimakasih untuk segala do'a dan usaha yang selalu kalian berikan demi kesuksesan putranya hingga mampu menyelesaikan pendidikan di tingkat

Universitas sebagai Sarjana Teknik Mesin

Kedua Saudaraku Salwa Salsabillah dan Muti'ah Aqila Zahra

Terimakasih atas segala dukungan dan semangat yang diberikan dalam menemani untuk memberikan keceriaan di waktu istirahat dari kegiatan kuliah

Eyang Putri

Terimakasih sudah memberikan do'a dan semangat sejak dari bangku SMA

Titin Na'fiah

Terimakasih atas segala dukungan, motivasi serta saran yang telah diberikan di waktu suka maupun duka sehingga dapat bertahan untuk menyelesaikan skripsi ini

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kupanjatkan atas kehadiran Allah SWT karena atas karunia-Nya dan kesehatan yang telah diberikan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Penggunaan *Thermoelectric Cooler* Pada *Photovoltaic Thermal (PV/T)* Sirip Bersudut Terhadap Efisiensi Elektrikal dan Termal”. Tujuan dari penulisan skripsi ini yaitu sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar S1 dan untuk melatih mahasiswa dalam berfikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah. Penulis menyadari masih ada banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis meminta kritik dan saran yang dapat membangun dalam pembuatan skripsi ini.

Penulis



Muhammad Hilmi Akram

SANWACANA

Assalamu'alaikum wr.wb., puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena atas segala rahmat dan karunia yang telah dilimpahkanNya, penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan mempersembahkan judul “Pengaruh Penggunaan *Thermoelectric Cooler* Pada *Photovoltaic Thermal* (PV/T) Sirip Bersudut Terhadap Efisiensi Elektrik dan Termal” dengan sebaik-baiknya, sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih atas semua bimbingan, motivasi, dan bantuan baik moral maupun materi oleh banyak pihak, untuk itu dengan segala ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih antara lain kepada:

1. Ibu tercinta Unariyah dan ayahku Soeheri atas segala nasehat yang telah diberikan, atas semua kasih sayang yang tulus, atas segala pengorbanan dan perjuangan untuk memberikan pendidikan yang terbaik untuk anak-anaknya, serta air mata do'a yang tulus yang terus menerus mengalir untuk mendo'akan anak-anaknya.
2. Adikku tercinta Salwa Salsabillah dan Muti'ah Aqila Zahra yang menjadi penyemangat dikala waktu istirahat.
3. Eyang putri yang telah memeberikan do'a dan nasehat selama ini.
4. Cinta dan sayangku Titin Na'afiah yang sudah selalu memberikan semangat dan do'a saat penulis mengerjakan tugas akhirnya. Terimakasih juga sudah menjadi teman, sahabat, dan keluarga di perantauan ini.
5. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T.,M.Sc. selaku Ddekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.

6. Bapak Dr. Amrul, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
7. Ibu Novri Tanti, S.T.,M.T. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung.
8. Bapak Amrizal, S.T.,M.T.,Ph.D. selaku dosen pembimbing utama tugas akhir ini, yang banyak memberikan waktu, arahan, semangat, serta motivasi.
9. Bapak Ahmad Yonanda, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing kedua tugas akhir yang telah memberikan masukan dan arahan bagi penulis.
10. Bapak Agus Sugiri, S.T.,M.Eng. selaku dosen pembahas tugas akhir yang sudah memberikan kritik dan saran yang bermanfaat bagi penulis.
11. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung berkat ilmu dan pembelajaran yang telah diberikan kepada penulis selama menjalani masa studi di bangku perkuliahan.
12. Anggota grup Ali House yang sudah menjadi teman seperjuangan diperantauan selama ini.
13. Tim Laboratorium Termodinamika : Fernando, Yuli, Indra, dan Rinol yang telah menjadi rekan tim selama ini.
14. Keluarga besar Teknik Mesin Angkatan 2017.
15. Penulis yang telah banyak memberikan waktu sehingga selesainya penulisan laporan ini.

Penulis menyadari dalam penyajian laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran membangun sangat diharapkan guna perbaikan kedepannya. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Bandar Lampung, 15 Februari 2023

Penulis,



Muhammad Hilmi Akram

NPM. 171021053

Daftar Isi

Daftar Isi

ABSTRAK	i
Lembar Pengesahan.....	iv
PERNYATAAN.....	Error! Bookmark not defined.
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN.....	x
KATA PENGANTAR.....	Error! Bookmark not defined.
SANWACANA	xii
Daftar Isi.....	xiv
Daftar Gambar	xviii
Daftar Tabel.....	xx
I. PENDAHULUAN	22
1.1 Latar Belakang	22
1.2. Tujuan Penelitian	24
1.3. Batasan Masalah	24
1.4. Sistematika Penulisan	25
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	27
2.1. Matahari	27
2.2. Perpindahan Kalor	27
2.2.1 Konveksi.....	28
2.2.2 Konduksi	31
2.2.3 Radiasi.....	32
2.3 Sel Surya	33
2.3.1 Monokristal (<i>Mono-crystalline</i>)	33

2.3.2	Polikristal (<i>Poly-Crystalline</i>).....	34
2.3.3	<i>Thin Film Photovoltaic</i>	35
2.4	Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T).....	35
2.5	Persamaan Dasar Photovoltaic Thermal (PV/T) Fluida Udara.....	36
2.6	Thermoelectric Cooler (TEC).....	39
2.7	Solar Charge Controller	41
2.8	Pengujian Menggunakan Standar EN12975-2.....	41
2.9	Prinsip Kerja Panel Surya	42
III.	METODOLOGI PENELITIAN	45
3.1.	Tempat Dan Waktu Penelitian	45
3.1.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	45
3.2.	Alat dan Bahan	45
3.2.1.	<i>Solar Simulator</i>	45
3.2.2.	<i>Solar Photovoltaic</i>	46
3.2.3	<i>Thermocouple</i>	47
3.2.4	<i>Temperature Recorder</i>	47
3.2.5	Blower.....	48
3.2.6	<i>Thermoelectric Cooler</i>	48
3.2.7	Aki.....	49
3.2.8	<i>Solar Power Meter</i> SPM-116 SD	49
3.2.9	Tristar Solar Charge Controller TS-45	49
3.2.10	Saluran Udara.....	50
3.2.11	Multitester	51
3.2.12	<i>Flat Plate Collector</i>	51
3.2.13	Kipas	52
3.2.14	Anemometer.....	52
3.2.15	LED.....	53
3.3.	Prosedur Penelitian.....	53

3.3.1. Pengaplikasian desain <i>Photovoltaic Thermal</i> PV/T dengan sirip bersudut metode zig zag	53
3.3.2. Pabrikasi sirip <i>absorber</i> variasi <i>rectangel fin</i> dengan sudut 45° material alumunium menggunakan <i>Computer Numerical Control</i> ketebalan 2mm.	54
3.3.3. Pengaplikasian desain <i>Photovoltaic Thermal</i> PV/T dengan TEC-12706	55
3.3.4. Pemasangan <i>Thermoelectric Cooler</i>	55
3.3.5. Pengujian Performa PV/T (<i>Hybrid Photovoltaic Thermal</i>) dengan <i>Thermoelectric Cooler</i> pada <i>photovoltaic</i> dengan sirip <i>absorber</i> bersudut.	56
3.4 Diagram Alir Metode Penelitian	59
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	60
4.1 Hasil Pengujian.....	60
4.2 Temperatur Permukaan Panel.....	67
4.2.1. Unjuk Kerja Termal	67
4.2.1.1. Unjuk kerja termal tanpa kecepatan udara lingkungan ($V_{udara} = 0$ m/s)	67
4.2.1.2. Unjuk kerja termal menggunakan kecepatan udara lingkungan ($V_{udara} = 1$ m/s).....	71
4.2.2. Unjuk Kerja Elektrik.....	75
4.2.2.1 Unjuk kerja elektrik tanpa kecepatan udara lingkungan ($V_{udara} = 0$ m/s)	75
4.2.2.2. Unjik kerja elektrik dengan kecepatan udara lingkungan ($V_{udara} = 1$ m/s)	78
4.2.3. Perbandingan efisiensi termal dan elektrik dengan dua macam metode pengujian.	80
4.3. Temperatur Thermoelectric cooler	81
4.3.1. Unjuk kerja <i>thermal</i> pada <i>thermoelectric cooler</i> dengan menunjukkan nilai ΔT	81

V. PENUTUP	83
5.1 Simpulan.....	83
5.2. Saran	83
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	65

Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Perpindahan panas konveksi	29
Gambar 2. 2 Konveksi paksa dan alami	30
Gambar 2. 3 Perpindahan panas konduksi	31
Gambar 2. 4 Radiasi pada <i>blackbody</i>	32
Gambar 2. 5 Ilustrasi PV/T sistem udara aliran <i>double pass</i>	36
Gambar 2. 6 Ilustrasi PV/T aliran udara <i>single pass</i>	37
Gambar 2. 7 Diagram skematik dari <i>thermoelectric cooler</i> (TEC)	40
Gambar 2. 8 Modul TEC berpasangan dengan panel PV	40
Gambar 2. 9 Skema efek <i>photovoltaic</i>	42
Gambar 3. 1 <i>Solar simulator</i>	46
Gambar 3. 2 <i>Photovoltaic</i>	46
Gambar 3. 3 <i>Thermocouple</i>	47
Gambar 3. 4 <i>Temperature Recorder</i>	47
Gambar 3. 5 Blower	48
Gambar 3. 6 <i>Thermoelectric Cooler</i>	48
Gambar 3. 7 Aki	49
Gambar 3. 8 Solar Meter SPM-116 SD	49
Gambar 3. 9 Tristar Solar Charge Controller TS-45	50
Gambar 3. 10 Saluran udara	50
Gambar 3. 11 Multimeter tester	51
Gambar 3. 12 <i>Flat Plate Collector</i> dan <i>Plate Absorber</i> sirip bersudut	51
Gambar 3. 13 Kipas	52
Gambar 3. 14 Anemometer	52
Gambar 3. 15 LED	53
Gambar 3. 16 Gambar Teknik sirip absorber 45°	54
Gambar 3. 17 Pabrikasi dengan CNC (<i>Computer Numerical Control</i>)	55
Gambar 3. 18 Pemasangan TEC (<i>Thermoelectric Cooler</i>)	56

Gambar 3. 19 Skema rangkaian pengujian PV/T-TEC.....	58
Gambar 3. 20 Skema Diagram Alir	59
Gambar 4. 1 Perbandingan temperatur permukaan PV,PV/T, dan PV/T-TEC variasi laju aliran massa tanpa kecepatan udara Lingkungan ($V_{udara}=0\text{m/s}$)	68
Gambar 4. 2 Perbandingan efisiensi termal PV/T dan PV/T-TEC dengan laju aliran massa udara tanpa kecepatan udara lingkungan ($V_{udara}=0\text{ m/s}$)	70
Gambar 4. 3 Perbandingan temperatur permukaan PV, PV/T, dan PV/T-TEC variasi laju aliran massa dengan kecepatan udara Lingkungan ($V_{udara}=1\text{ m/s}$).	72
Gambar 4. 4 Perbandingan daya PV/T dan PV/TEC dengan ketebalan sirip absorber tanpa kecepatan udara lingkungan ($V_{udara} = 0\text{ m/s}$)...	75
Gambar 4. 5 Perbandingan Efisiensi elektrik PV/T dan PV/T-TEC dengan ketebalan sirip absorber bersudut tanpa kecepatan udara lingkungan ($V_{udara} = 0\text{ m/s}$).....	77
Gambar 4. 6 Perbandingan daya PV/T dan PV/T-TEC sirip absorber bersudut menggunakan kecepatan udara lingkungan ($V_{udara} = 1\text{ m/s}$).....	78
Gambar 4. 7 Perbandingan efisiensi elektrik PV/T dan PV/T-TEC sirip absorber ketebalan 2 mm dengan pengujian udara lingkungan ($V_{udara} = 1\text{ m/s}$).	79
Gambar 4. 8 Beda temperatur rata-rata (ΔT) pada <i>thermoelectric cooler</i> pada PV/T-TEC.....	81
Gambar 4. 9 Daya listrik yang dihasilkan <i>thermoelectric cooler</i> pada PV/T-TEC	82

Daftar Tabel

Tabel 4. 1 Pengujian <i>photovoltaic</i> tanpa laju aliran massa udara sebagai fluida kerja dan tanpa menggunakan kecepatan udara lingkungan ($V_{udara} = 0$ m/s).....	61
Tabel 4. 2 Hasil pengujian PV/T air system aliran single pass dengan plat absorber ketebalan 2 mm dengan variasi laju aliran massa fluida kerja tanpa kecepatan udara lingkungan diatas permukaan PV/T ($V_{udara} = 0$ m/s)..	62
Tabel 4. 3 Hasil pengujian PV/T aliran single pass dengan plat absorber ketebalan 2 mm dengan variasi laju aliran massa fluida kerja dengan kecepatan udara lingkungan diatas permukaan PV/T ($V_{udara} = 1$ m/s).....	62
Tabel 4. 4 Hasil pengujian PV/T aliran single pass dengan plat absorber ketebalan 2 mm dan pemasangan TEC pada bagian bawah permukaan PV dengan variasi laju aliran massa fluida kerja dengan kecepatan udara lingkungan diatas permukaan PV/T-TEC ($V_{udara} = 0$ m/s).	63
Tabel 4. 5 Hasil pengujian PV/T-TEC aliran <i>single pass</i> dengan plat absorber ketebalan 2 mm dan pemasangan TEC pada bagian bawah permukaan PV dengan variasi laju aliran massa fluida kerja dengan kecepatan udara lingkungan diatas permukaan PV/T-TEC ($V_{udara} = 1$ m/s).	64
Tabel 4. 6 Hasil pengujian TEC pada PV/T-TEC aliran <i>single pass</i> dengan plat absorber ketebalan 2 mm pada bagian bawah PV dengan variasi laju aliran massa fluida kerja dengan kecepatan udara lingkungan diatas permukaan PV/T-TEC ($V_{udara} = 0$ m/s).	65
Tabel 4. 7 Hasil pengujian TEC pada PV/T-TEC aliran <i>single pass</i> dengan plat absorber ketebalan 2 mm pada bagian bawah PV dengan variasi laju aliran massa fluida kerja dengan kecepatan udara lingkungan diatas permukaan PV/T-TEC ($V_{udara} = 1$ m/s).	65

Tabel 4. 8 Hasil perhitungan efisiensi termal dan elektrik PV/T dan PV/T-TEC sirip <i>absorber</i> 2 mm tanpa kecepatan udara lingkungan diatas PV/T dan PV/T-TEC ($V_{udara} = 0m/s$).	66
Tabel 4. 9 Hasil perhitungan efisiensi termal dan elektrik PV/T dan PV/T-TEC sirip <i>absorber</i> 2 mm dengan udara lingkungan diatas permukaan PV/T dan PV/T-TEC ($V_{udara} = 1m/s$).....	66

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini di Indonesia masih banyaknya penggunaan energi yang tak terbarukan mendominasi seperti energi yang berasal dari fosil, yaitu seperti yang berasal dari minyak bumi dan juga batu bara, namun jika seiring berjalannya waktu yang berlalu energi yang berasal dari fosil akan semakin menipis maka dari itu untuk kita mengantisipasinya di kembangkanlah energi terbarukan yang merupakan alternatif paling baiknya. Maka dari itu sebaiknya energi terbarukan harus menjadi perhatian yang utama bagi pemerintah Indonesia dimana hal tersebut dapat mengurangi kebijakan pemakaian energi konvensional yang berasal dari fosil nantinya. Selain itu kebijakan penggunaan energi terbarukan juga memiliki manfaat yang baik bagi keramahan lingkungan dimana energi terbarukan memanfaatkan sumber daya alam yang ada seperti panas matahari, kuat arus air, limbah sisa, dan juga panas bumi (Azhar, 2018).

Potensi energi terbarukan seperti salah satunya yaitu panas matahari atau energi surya merupakan energi yang giat dikembangkan oleh pemerintah Indonesia untuk saat ini. Hal tersebut terjadi karena Indonesia Negara dengan iklim tropis, karena hal tersebutlah Indonesia memiliki potensi energi surya yang cukup besar (Wiyana, 2012). Panas matahari yang dipancarkan memiliki energi yang sangat besar yang dapat diterima hingga sampai ke permukaan bumi mencapai lebih dari 1000W/m^2 .

Energi surya tersebut berpotensi sangat besar dimana cara pemanfaatannya dengan cara diubah menjadi energi listrik dan termal. Dimana energi listrik tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan sel surya (*photovoltaic cell*), pada *photovoltaic* hanya mampu untuk mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik dengan tingkat efisiensi 12-18% dan lebih dari 80% dimana energi tersebut dapat diubah atau diserap menjadi energi panas. Energi panas yang diterima pada setiap *photovoltaic* dapat menyebabkan kenaikan temperatur pada permukaannya. Dari kenaikan temperatur tersebut permukaan *photovoltaic* dapat mengalami penurunan efisiensi elektrik sebesar 0,5% setiap mengalami kenaikan temperature 1 °C (Amrizal, 2018).

Sel *photovoltaic* didinginkan dengan menggunakan *Thermoelectric Cooler Modules* (TEC). Modul *Thermoelectric Cooler* diperhitungkan untuk diletakkan dan dihubungkan disisi belakang sel *photovoltaic*. Untuk mendapatkan suhu dan fluks panas melalui system PV-TEC pada setiap suhu lingkungan dan tingkat radiasi matahari yang diberikan. Modul *Thermoelectric Cooler* (TEC) terpasang di sisi belakang modul *Photovoltaic* surya. Dampak dari pendinginan modul TEC dapat memberikan tegangan yang memiliki trade-off antara daya bersih yang dihasilkan antara *Photovoltaic* dengan modul *Thermoelectric Cooler* (Kumar, 2015).

Upaya untuk meningkatkan efisiensi elektrik *Photovoltaic Thermal* (PV/T). Dimana menggunakan pendingin udara yang merupakan salah satu metode yang baik untuk meningkatkan efisiensi dari PV/T dengan menambahkan sirip *absorber* metode zigzag. Dimana tinggi sirip yang digunakan memiliki tinggi 50 mm dengan panjang 100 mm tebal 2 mm dan sudut kemiringan 45°. Sirip tersebut berfungsi untuk membantu mengalirkan udara yang digunakan. Selain dengan menggunakan sirip *absorber* untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi *Photovoltaic*, maka digunakan juga *Thermoelectric Cooler* untuk membantu meningkatkan

nilai efisiensi daya listrik yang dihasilkan. *Thermoelectric Cooler* dengan cara memanfaatkan temperatur tinggi yang dihasilkan oleh *Photovoltaic* yang dimana temperatur tinggi tersebut tidak dimanfaatkan sebelumnya. *Thermoelectric Cooler* menghasilkan daya listrik dengan cara memanfaatkan perbedaan temperatur, dimana temperatur tinggi yang dihasilkan oleh *Photovoltaic* dan temperatur rendah yang diperoleh dari laju aliran udara dengan bantuan sirip *absorber*.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun didalam penelitian ini memiliki tujuan yaitu sebagai berikut :

1. Melakukan eksperimen pengujian PV/T dan PV/T-TEC dengan menggunakan aliran *single pass* dan penambahan modul *Thermoelectric Cooler*.
2. Mengetahui efisiensi elektrik dan termal PV/T dan PV/T-TEC pada sirip absorber dengan sudut 45° dengan material alumunium.

1.3. Batasan Masalah

Agar dalam penyusunan penelitian dapat sesuai dengan lingkup dalam pembahasan maka di buat batasan masalah dalam penelitian ini sehingga dapat lebih fokus dalam lingkup penelitian adapun batasan masalah adalah sebagai berikut :

1. Pengujian menggunakan kolektor PV/T dengan penambahan *Thermoelectric Cooler* 1-12706 pada sirip absorber dengan sudut 45° dan menggunakan material alumunium.
2. Fluida yang digunakan yaitu udara .
3. Pengujian dilakukan pada solar simulator dengan radiasi 1100 W/m² dan variasi kecepatan udara 0kg/s, 0,068kg/s, 0,203kg/s, 0,339kg/s.

4. Pengujian di lakukan untuk mengetahui kinerja PV/T-TEC yang digunakan dengan menambahkan sirip absorber bersudut 45° dan *Thermoelectric Cooler* pada bagian bawah *Photovoltaic*.
5. Pengujian di lakukan bertujuan untuk mengetahui efisiensi dan daya yang dihasilkan dari PV/T-TEC dari pemanfaatan temperatur tinggi yang dihasilkan pada *Photovoltaic* dan temperatur rendah pada bagian bawah yang dialirkan dengan laju aliran udara dengan bantuan sirip absorber 45° dengan menggunakan *Thermoelectric Cooler*.

1.4. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

I. PENDAHULUAN

Bab ini berisikan mengenai latar belakang dibentuk penelitian, kemudian terdapat tujuan serta batasan masalah dan sistematika penulisan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan mengenai teori pendukung penelitian, mulai dari teori perpindahan panas, iradiasi matahari, mekanisme dan cara kerja dari *Photovoltaic* (PV) ,*Photovoltaic Thermal* (PV/T), dan *Photovoltaic Thermal-Thermoelectric Cooler* (PV/T-TEC).

III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang parameter uji, tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan, prosedur pengujian dan diagram alir penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang data pengamatan hasil uji dari eksperimen dan melakukan analisa hasil pengamatan.

V. SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran yang diberikan untuk penelitian yang akan datang. DAFTAR PUSTAKA berisikan tentang rujukan atau referensi untuk menyokong dan mendukung penelitian yang dilakukan. LAMPIRAN berisikan tentang data tambahan yang mendukung penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Memuat referensi yang digunakan oleh penulis untuk dapat menyelesaikan laporan tugas akhir.

LAMPIRAN

Berisikan pelengkap laporan penelitian seperti foto-foto dan data yang mendukung laporan penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Matahari

Dari data yang dimana di ambill dari data yang dihimpun menurut 18 lokasi yang berada di Indonesia, diperoleh radiasi energi surya di Indonesia yang dimana diklarifikasikan bersamaa sebagai berikut. Berikut untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar $4,5 \text{ kWh/m}^2 / \text{hari}$ dengan variasi bulanan yang diperoleh yaitu sekitar 10%, dan untuk Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar $5,1 \text{ kWh/m}^2 / \text{hari}$ dengan variasi bulanan yang diperoleh sekitar 9%. Matahari adalah sumber energi utama yang dimana memancarkan energi sangat besar ke permukaan bumi saat kondisi cuaca yang cerah. Pada saat kondisi cuaca yang cerah permukaan bumi dapat menerima setidaknya sekitar 1000 watt dari energi matahari/ m^2 . Jumlah energi yang dipantulkan kembali ke angkasa sebesar 30%, 47% energinya dikonversikan menjadi panas, sedangkan untuk jumlah panas yang digunakan untuk sirkulasi kerja di permukaan bumi sebesar 23% (Widayana, 2012).

2.2. Perpindahan Kalor

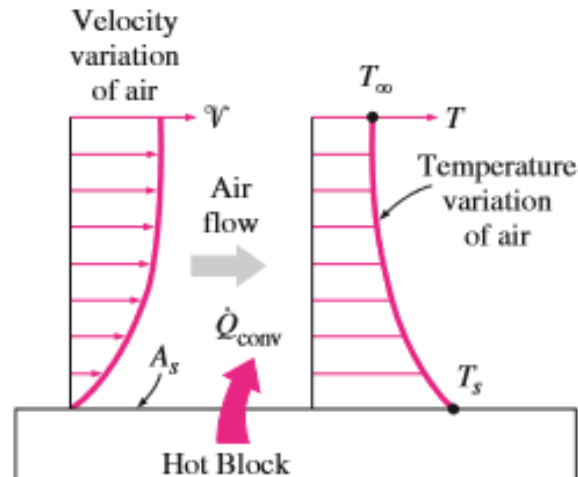
Perpindahan kalor ialah suatau perpindahan energi yang dimana memiliki energi lebih dari suatu zat ke partikel yang energinya kurang bedekatan dari hasil interaksi antar partikel yang berkaitan. Peralatan perpindahan panas seperti penukar panas, boiler, kondensor, radiator, pemanas, tungku, lemari es, dan kolektor surya dirancang terutama berdasarkan analisis

perpindahan panas. Masalah perpindahan panas yang dihadapi dalam praktek dapat dipertimbangkan dalam dua kelompok seperti peringkat dan masalah ukuran. Masalah peringkat berhubungan dengan penentuan laju perpindahan panas untuk sistem yang ada pada perbedaan suhu tertentu. Masalah ukuran berhubungan dengan penentuan ukuran sistem untuk mentransfer panas pada tingkat tertentu untuk perbedaan suhu tertentu.

Analisis termodinamika berkaitan dengan jumlah perpindahan kalor ketika suatu sistem mengalami proses dari satu keadaan setimbang ke keadaan setimbang lainnya. Ilmu yang mempelajari penentuan laju perpindahan energi tersebut adalah perpindahan kalor. Perpindahan kalor terjadi medium yang bertemperatur lebih tinggi ke medium yang bertemperatur lebih rendah, dan perpindahan kalor berhenti terjadi ketika kedua medium mencapai temperatur yang sama. Panas dapat ditransfer dalam tiga kategori yang berbeda antara lain konduksi, konveksi, dan radiasi. Semua jenis perpindahan kalor memerlukan adanya perbedaan temperatur, dan semua jenis berasal dari media bertemperatur tinggi ke yang bertemperatur lebih rendah. Di bawah ini kami memberikan deskripsi singkat dari masing-masing jenis.

2.2.1 Konveksi

Konveksi adalah mode transfer energi antara permukaan padat dan cairan atau gas yang berdekatan dan bergerak, melibatkan efek gabungan dari konduksi dan gerakan fluida. Semakin cepat gerakan fluida, semakin besar perpindahan panas konveksi. Dengan tidak adanya gerakan fluida, perpindahan panas antara permukaan padat dan fluida yang berdekatan adalah dengan konduksi murni. Kehadiran gerakan massal fluida meningkatkan perpindahan panas antara permukaan padat dan fluida, tetapi juga tetapi juga memperumit penentuan laju perpindahan panas.

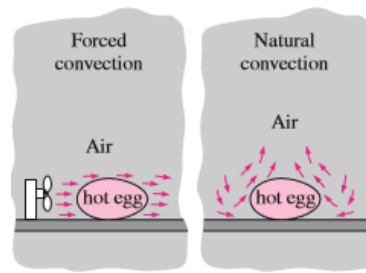


Gambar 2.1 Perpindahan panas konveksi

(Sumber : Cengel,2011)

Energi pertama-tama ditransfer ke lapisan udara yang berdekatan dengan blok dengan konduksi. Energi ini kemudian dibawa pergi dari permukaan melalui konveksi, yaitu, oleh efek gabungan konduksi di dalam udara yang disebabkan oleh gerakan acak molekul udara dan gerakan massal atau makroskopik udara yang menghilangkan udara panas di dekat permukaan. Dan menggantikannya dengan udara yang lebih dingin. Konveksi disebut konveksi paksa jika fluida dipaksa mengalir di atas permukaan dengan cara eksternal seperti kipas, pompa, atau angin.

Sebaliknya, konveksi disebut konveksi alami (atau bebas) jika gerakan fluida disebabkan oleh gaya apung yang disebabkan oleh perbedaan densitas karena variasi suhu dalam fluida. Perpindahan panas antara balok dan udara sekitarnya akan terjadi secara konduksi jika perbedaan suhu antara udara dan balok tidak cukup besar untuk mengatasi hambatan udara terhadap gerakan dan dengan demikian memulai arus konveksi alami (Cengel,2011).



Gambar 2.2 Konveksi paksa dan alami

(Sumber : Cengel,2011)

Persamaan dasar dari konsep perpindahan panas konveksi adalah hukum Newton. Rumus hukum Newton dinyatakan dengan:

$$Q_{\text{conv}} = h_c \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana: T = Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

A = luas permukaan (m^2)

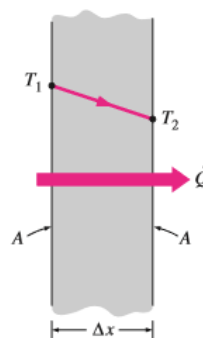
h_c = koefisien perpindahan panas konveksi ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)

Q_{conv} = laju perpindahan panas konveksi (Watt)

Heat sink sendiri berfungsi sebagai pelepas kalor secara alami ke udara bebas saat terjadinya. Hal tersebut dapat dipengaruhi karena luas penampang yang terdapat pada *heat sink* tersebut. Perpindahan panas yang terjadi pada area *heat sink* dapat bervariasi tergantung permukaannya, seperti yang terdapat pada area yang berdekatan dengan *heat sink* akan memiliki kecepatan pergerakan udara yang lebih kecil dibandingkan dengan jarak yang berjauhan dari *heat sink* tersebut. Hal tersebut juga dapat terjadi pada variasi suhu udara yang dimana semakin dekat dengan *heat sink* maka akan memiliki suhu yang lebih tinggi dan juga semakin jauh dari *heat sink* maka suhunya akan semakin rendah juga. Perbedaan tersebut dapat berpengaruh pada kalor yang diserap dan dapat terbuang ke lingkungan (Imawan, 2019).

2.2.2 Konduksi

Konduksi adalah perpindahan energi dari partikel yang lebih energik dari suatu zat ke partikel yang kurang energik yang berdekatan sebagai akibat dari interaksi antara partikel. Konduksi dapat terjadi pada zat padat, cair, atau gas. Dalam gas dan cairan, konduksi disebabkan oleh tumbukan dan difusi molekul selama gerakan acak mereka. Dalam padatan, ini disebabkan oleh kombinasi getaran molekul dalam kisi dan transpor energi oleh elektron bebas. Minuman kaleng dingin di ruangan yang hangat, misalnya, akhirnya menghangat hingga mencapai suhu ruangan sebagai akibat perpindahan panas dari ruangan ke minuman melalui kaleng aluminium secara konduksi. Laju konduksi panas melalui suatu medium tergantung pada geometri medium, ketebalannya, dan bahan mediumnya, serta perbedaan suhu melintasi medium. Kita tahu bahwa membungkus tangki air panas dengan wol kaca (bahan isolasi) mengurangi laju kehilangan panas dari tangki. Semakin tebal insulasi, semakin kecil kehilangan panas. Kita juga tahu bahwa tangki air panas akan kehilangan panas pada tingkat yang lebih tinggi ketika suhu ruangan yang menampung tangki diturunkan. Selanjutnya, semakin besar tangki, semakin besar luas permukaan dan dengan demikian tingkat kehilangan panas.



Gambar 2.3 Perpindahan panas konduksi

(Sumber : Cengel,2011)

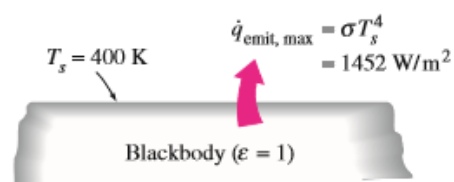
Persamaan dasar dari konsep perpindahan panas konduksi adalah hukum Fourier. Hukum Fourier dinyatakan dengan :

$$Q_{\text{cond}} = -kA \frac{dT}{dX} \dots\dots\dots (2.2)$$

- dimana:
- dT = Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
 - dX = jarak/tebal dinding (m)
 - A = luas dinding (luas perpindahan panas) (m^2)
 - k = konduktivitas termal ($\text{W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$)

2.2.3 Radiasi

Radiasi adalah energi yang dipancarkan oleh materi dalam bentuk gelombang elektromagnetik (atau foton) sebagai akibat dari perubahan konfigurasi elektron atom atau molekul. Tidak seperti konduksi dan konveksi, transfer energi oleh radiasi tidak memerlukan kehadiran media perantara. Faktanya, transfer energi melalui radiasi paling cepat (pada kecepatan cahaya) dan tidak mengalami redaman dalam ruang hampa. Ini adalah bagaimana energi matahari mencapai bumi (Cengel,2011).



Gambar 2.4 Radiasi pada *blackbody*

(Sumber : Cengel, 2011)

Benda yang memancarkan panas dengan sempurna disebut radiator yang dapat dikatakan sempurna dan juga dikenal sebagai benda hitam (*black body*). Sedangkan pada benda yang tidak dapat memancarkan panas dengan sempurna disebut dengan benda abu-

abu (*gray body*). Terdapat persamaan dasar dari konsep perpindahan panas konveksi ialah hukum Stefan Boltzman yaitu:

Boltzman, Hukum Stefan Boltzman dinyatakan dengan:

$$Q_{\text{emit}} = \varepsilon \sigma AT^4 \dots\dots\dots (2.3)$$

- dimana
- ε = emisivitas
 - T = suhu absolut benda, K
 - A = luas permukaan, m^2
 - Q_{emit} = laju perpindahan panas radiasi, Watt
 - σ = konstanta Stefan Boltzman, $5,699 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$

Untuk benda hitam sendiri emisivitasnya berharga satu , sedangkan untuk benda abu-abu nilai dari emisivitasnya selalu lebih kecil dari satu (Buchori ,2009).

2.3 Sel Surya

Sel surya sendiri merupakan perangkat pengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik dengan adanya efek *photovoltaic* yang dinamakan juga dengan sel *photovoltaic* (PV). Sel surya dapat menghasilkan tegangan, nilai dari tegangan tersebut tidak begitu besar berkisar 0,6V dengan tanpa beban atau 0.45V dengan menggunakan beban. Untuk mendapatkan nilai tegangan listrik yang cukup besar sesuai keinginan yang diperlukan, maka dibutuhkan beberapa sel surya yang disusun dengan rangkaian seri.

2.3.1 Monokristal (*Mono-crystalline*)

Monokristal merupakan panel yang memiliki nilai efisiensi yang dihasilkan dengan teknologi terkini dan dapat menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Panel surya jenis monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan tingkat

konsumsi listrik yang besar pada tempat yang beriklim ekstrim dan kondisi alam yang sangat ganas. Panel surya jenis monokristal ini memiliki nilai efisiensi sampai 15%. Panel monokristal ini memiliki kelemahan yaitu tidak dapat berfungsi dengan baik ditempat yang dimana nilai intensitas cahaya mataharianya redup atau kurang, dimana nilai efisiensinya akan turun drastis saat cuaca tidak cerah tau berawan.



Gambar 2.5 *Photovoltaic Mono-Crystalline*

(Sumber : Budiyanto, 2021)

2.3.2 Polikristal (*Poly-Crystalline*)

Polikristal merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak dikarenakan melalui proses pabrikasi dengan system pengecoran. Panel surya jenis polikristal ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar daripada jenis monokristal agar dapat menghasilkan nilai daya listrik yang sesuai. Panel surya jenis polikristal memiliki tingkat efisiensi yang lebih rendah daripada jenis monokristal.

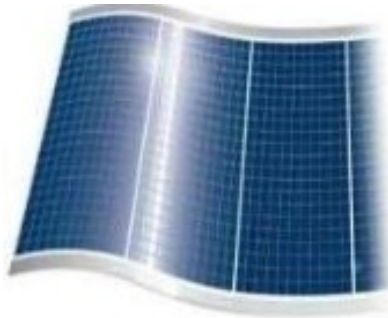


Gambar 2.6 *Photovoltaic Poly-Crystalline*

(Sumber : Pratama, 2018)

2.3.3 *Thin Film Photovoltaic*

Thin Film Photovoltaic merupakan panel surya yang memiliki dua lapisan dengan struktur dari lapisan tipis mikrokrystal-silicon dan amorphous yang memiliki nilai efisiensi modul sampai 8,5%. Untuk luas permukaan panel surya jenis ini diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada panel jenis monokristal dan polikristal. Inovasi terbaru dari panel surya yaitu *Thin Film Triple Junction Photovoltaic* dimana memiliki tiga lapisan yang dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% dimana lebih tinggi dari panel jenis lain.



Gambar 2.7 *Photovoltaic Thin Film*

(Sumber : Hayani, 2021)

2.4 **Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T)**

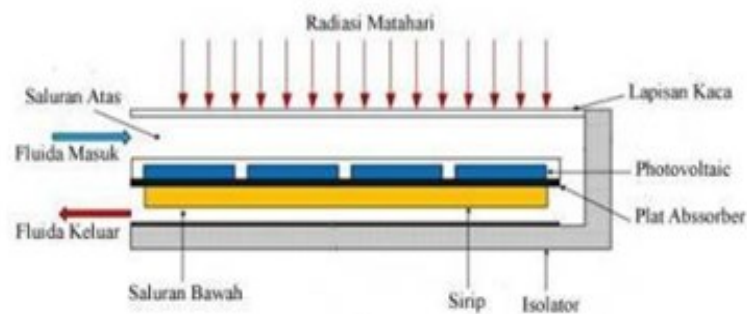
Hybrid Photovoltaic/Thermal adalah seperangkat alat yang dimana cara kerjanya bersamaan mengubah energi matahari menjadi listrik dan panas. Sebuah sel *Photovoltaic* mengubah hanya 10-15% dari radiasi matahari yang masuk menjadi listrik sementara persentase yang lebih besar dari radiasi diubah menjadi panas. Radiasi matahari yang diubah menjadi panas meningkatkan suhu modul PV, yang mengakibatkan penurunan efisiensi listriknya. Efek yang tidak diinginkan ini sebagian dapat dihindari dengan menerapkan fasilitas ekstraksi panas yang sesuai dengan sirkulasi fluida dan mempertahankan efisiensi listrik pada tingkat yang memuaskan.

Selanjutnya, panas yang diekstraksi ini dapat digunakan untuk memanaskan udara dan/atau air. Untuk tujuan ini, sistem surya *Photovoltaic/Thermal* (PV/T atau PVT) hibrida telah diperkenalkan (Karim, 2011).

Kolektor surya hibrida termal, yang secara luas dikenal sebagai sistem PV / T hibrida, mengubah radiasi matahari yang datang menjadi energi panas dan listrik. Prinsip dasar mereka didasarkan pada kombinasi modul *Photovoltaic*, yang mengubah sebagian kecil cahaya menjadi energi listrik, dan kolektor panas matahari, yang menangkap sisa energi matahari dan mengevakuasi panas dari modul PV. Beberapa konfigurasi PV/T ada dan bervariasi sesuai dengan sifat medium (air atau udara), jenis absorber dan jenis sistem yang terhubung dengannya (Touafek, 2015).

2.5 Persamaan Dasar Photovoltaic Thermal (PV/T) Fluida Udara

Untuk melihat ilustrasi keseimbangan dari sebuah PV/T aliran double pass dapat dilihat pada gambar 2 di bawah sebagai berikut :



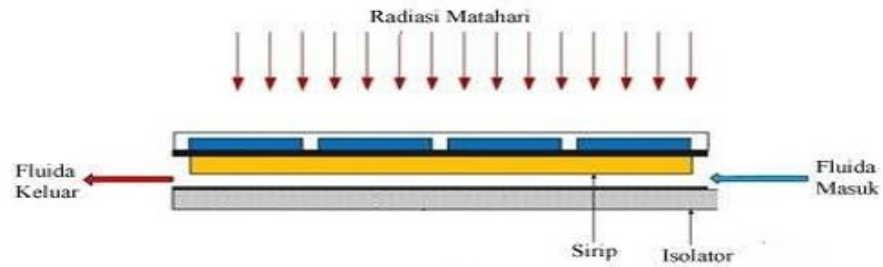
Gambar 2.8 Ilustrasi PV/T sistem udara aliran *double pass*

(Sumber : Elsafi, 2015)

Cahaya matahari memancarkan radiasi yang dapat menembus kaca dan permukaan panel, kemudian diserap oleh plat absorber dan fin atau sirip yang dapat berfungsi sebagai penambahan luas permukaan. Setelah panas

diserap lalu akan ditransfer ke fluida kerja. Udara yang mengalir melalui bagian permukaan panel akan keluar melewati bawah permukaan panel.

Energy balance sebuah PV/T air system aliran *single pass* di ilustrasikan pada gambar dibawah ini adalah sebagai berikut pada gambar 2.7.



Gambar 2.9 Ilustrasi PV/T aliran udara *single pass*

(Sumber : Elsafi, 2015)

Pada persamaan (2.4) keseimbangan energi aliran *single pass* dapat di hitung dengan menggunakan kondisi batas pada $x=0$ $T_{f2} = T_{in}$ dan persamaan (2.) untuk menghitung efisiensi termal sesaat juga persamaan (2.) untuk menghitung persamaan efisiensi elektrik dari *photovoltaic* (Elsafi,2015).

Adapun untuk menghitung laju aliran massa menggunakan persamaan 2.4 $\dot{m} = \rho v A$ (2.4)

Dimana :

- \dot{m} = Laju aliran massa (kg/s)
- ρ = Densitas (kg/m³)
- v = kecepatan rata-rata fluida (m/s)
- A = Luas penampang saluran (m²)

Untuk menghitung panas kemampuan panas serap dari *Photovoltaic* yaitudengan persamaan 2.5:

$$Q = \dot{m} c_p \Delta T$$
 (2.5)

Dimana :

- Q = Jumlah kalor yang di serap (kal atau J)

- C_p = Kalor jenis zat (kal/g °C atau J/g°C)
 ΔT = Perubahan temperatur (°C atau °K)

Efisiensi termal sesaat Dari PV/T *air system* dapat dihitung menggunakan persamaan (2.6):

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m} C_p (T_{fo} - T_{fi})}{A I_t} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

- η_{th} = Efisiensi termal (%)
 C_p = Panas spesifik udara (W/m².K)
 T_{fi} = Temperatur fluida masuk (°C)
 T_{fo} = Temperatur udara keluar (°C)
 A = Luas *absorber* (m²)
 I_t = Iradiasi total (W/m²)

Untuk menghitung daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya maka menggunakan persamaan (2.7):

$$P = V \times I \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

- P = Daya (Watt)
 V = Tegangan (Volt)
 I = Arus (A)
 R = Hambatan (Ohm)

Untuk Menghitung efesiensi elektrik dari sebuah *Photovoltaic* dapat

dihitung dengan menggunakan persamaan (2.8):

$$\eta_{el} = \frac{I_m V_m}{G A_c} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

η_{el} = Efisiensi elektrik *Photovoltaic* (%)

I_m = Arus maksimal (A)

V_m = Tegangan matahari (Volt)

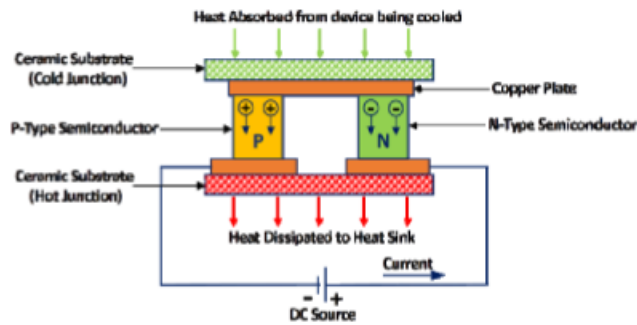
G = Iradiasi matahari (W/m²)

A_c = Luas *Photovoltaic* (m²)

2.6 Thermoelectric Cooler (TEC)

Thermoelectric Cooler (TEC) adalah bagian elektronik berbasis semikonduktor yang menggabungkan sejumlah komponen termoelektrik, yang dihubungkan secara paralel secara termal dan secara seri secara elektrik. Elemen termoelektrik terbuat dari sepasang semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Ketika arus listrik mengalir melintasi komponen termoelektrik, panas dipindahkan dari sisi dingin ke sisi panas yang disebabkan oleh efek *Peltier*.

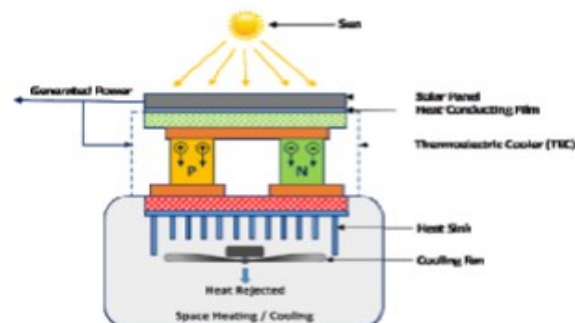
Skema modul TEC ditunjukkan pada Gambar 2.5. Sistem pendingin termoelektrik biasanya terdiri dari pelet semikonduktor berstruktur grid yang diapit di antara dua elektroda besar. Ketika daya DC disuplai di antara elektroda, sisi yang bermuatan negatif menjadi lebih dingin sedangkan sisi yang bermuatan positif menjadi lebih hangat. Elektroda negatif diatur dalam kontak dengan media yang akan didinginkan, sedangkan elektroda positif digabungkan ke *heat sink* yang membuang energi panas ke lingkungan eksternal.



Gambar 2.10 Diagram skematik dari *thermoelectric cooler* (TEC)

(Sumber : Kumar, 2015)

Secara umum, pendingin termoelektrik akan mengkonsumsi lebih banyak daya daripada sistem konvensional lainnya. Namun, dalam situasi pada media kompak, strategi pendinginan termoelektrik lebih masuk akal dan ekonomis daripada sistem pendingin konvensional. Modul TEC memiliki fitur yang mencolok yaitu ringan, tidak adanya bagian mekanis yang bergerak, kekompakan, pengoperasian tanpa suara, kemampuan transfer, sangat andal, masa pakai yang lama, dan persyaratan perawatan yang lebih sedikit 7-10. *Thermoelectric Cooler* (TEC), mengubah arus searah menjadi gradien suhu. Efek modul TEC meningkat dengan meningkatkan arus listrik yang pada gilirannya menyebabkan meminimalkan suhu sel dan daya output yang lebih tinggi. Diagram skema modul TEC yang digabungkan dengan panel surya dalam pendekatan yang diusulkan ditunjukkan pada Gambar 2.8 (Kumar,2015).



Gambar 2.11 Modul TEC berpasangan dengan panel PV

(Sumber : Kumar, 2015)

2.7 Solar Charge Controller

Solar charge controller adalah komponen yang terdapat dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya, komponen ini berfungsi untuk mengatur arus listrik saat masuk dari panel surya atau arus beban keluar yang digunakan. *Solar charge controller* bekerja untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan. Alat ini bekerja mengatur tegangan dan arus dari panel surya ke baterai. *Solar charge controller* juga memiliki beberapa fungsi utamanya.

Saat tegangan pengisian pada baterai telah mencapai kondisi penuh, maka *controller* akan menghentikan arus listrik yang mengalir masuk ke baterai, agar tidak terjadi pengisian berlebihan. Hal tersebut dapat menjaga ketahanan umur pakai baterai. Dalam hal ini listrik yang tersuplai dari panel surya akan langsung terdistribusi ke beban atau peralatan listrik yang terhubung sesuai konsumsi daya peralatan listriknya.

Pada saat tegangan baterai dalam keadaan hampir tidak terisi sama sekali, maka *controller* berfungsi untuk menghentikan pengambilan arus listrik dari baterai oleh beban atau peralatan listrik yang terhubung. Dalam kondisi tegangan tertentu seperti sisa tegangan 10% yang terdapat di baterai, maka pemutusan arus beban akan dilakukan oleh *controller*. Hal tersebut menjaga baterai dan dapat mencegah terjadinya kerusakan pada sel-sel baterai.

2.8 Pengujian Menggunakan Standar EN12975-2

EN 12975-2 adalah standar yang berkaitan dengan metode pengujian sistem panas surya dan komponen-komponen solar kolektor. Sementara itu unjuk kerja listrik diperoleh berdasarkan tegangan dan arus yang dihasilkan oleh PV ketika disinari dengan radiasi. Tahapan alur prosedur pengujian dimulai dengan mempersiapkan pengujian baik alat ukur dan kolektor PV/T yang akan diuji unjuk kerjanya. Pengujian unjuk kerja

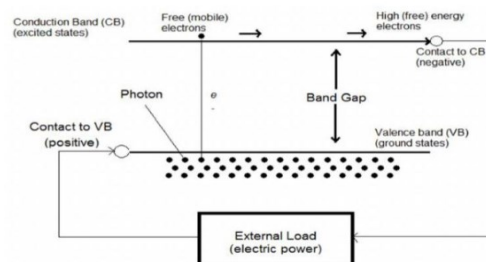
termal pada kondisi *steady-state* menggunakan solar simulator dengan prosedur sebagai berikut :

1. Pengujian dilakukan pada 4 (empat) variasi temperatur fluida inlet (T_{fin}) yang berbeda yakni mulai dari temperatur mendekati nilai temperatur lingkungan sampai dengan mendekati nilai temperatur keluar dan masing-masing dilakukan 4 (empat) kali pengujian.
2. Pengukuran temperatur fluida outlet (T_{fout}) disetiap pengujian
3. Pengukuran dan tegangan dan arus yang diterima oleh PV/T.
4. Pengukuran Solar *Irradiation* disetiap pengujian menggunakan Solarimeter, dengan waktu pengkondisian sebelum pengujian selama 20 menit
5. Pengukuran temperatur udara Lingkungan (T_{amb}).

Data yang diperoleh kemudian diolah dengan menggunakan metode *multiple linear regression* yaitu mencari nilai dan perbandingan antara dua variable pada hasil pengujian (Amrizal, 2019).

2.9 Prinsip Kerja Panel Surya

Panel surya memiliki material yang terbuat dari bahan semikonduktor dimana memiliki elektron yang terikat dengan lemah pada suatu pita energi yang disebut dengan pita valensi. Saat energi yang lebih besar dari batas *threshold* atau *band gap* energi diberikan ke elektron di pita valensi tersebut, maka ikatan elektron tersebut akan putus.. Elektron bebas yang dihasilkan oleh pita konduksi dapat menghasilkan listrik yang dibutuhkan untuk membebaskan elektron yang berasal dari foton, dimana foton tersebut merupakan partikel dari cahaya.



Gambar 2.12 Skema efek *photovoltaic*

Pada gambar 2.9 tersebut menunjukkan suatu proses pada panel surya ketika terpapar cahaya dimana foton foton yang merupakan partikel cahaya menabrak elektron tersebut. Elektron tersebut akan keluar ketika energi foton tercukupi, elektron tersebut terdorong keluar dari pita valensi (V) melewati pita pemisah (*band gap*) dan selanjutnya menuju pita konduksi (CB). Setelah proses tersebut terjadi maka selective contact akan mengumpulkan elektron – elektron pada pita konduksi dan akan menggerakkannya. Elektron tersebut yang bergerak disebut dengan arus listrik.

Energi dari arus listrik akan digunakan untuk mengerjakan hal – hal dimana sebelum kembali menuju pita valensi melalui *selective contact* yang kedua. Panel surya dianggap sebagai suatu junction karena adanya penguat. Penguat ini dapat menyebabkan salah satu *selective contact* menjadi sisi p atau banyak muatan positif dan yang lain menjadi sisi n atau banyak muatan negatif. Pemodelan dan pemahaman prinsip kerja panel surya akan menjadi lebih sederhana dengan menggunakan pn *junction* (Monika,2020).

2.10. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) ialah pembangkit listrik yang mengubah energi surya menjadi sebuah energi listrik menggunakan *module photovoltaic* (PV) . PLTS sendiri merupakan energi listrik yang mulai besar pertumbuhannya dari tahun ketahun. Pertumbuhan tersebut terjadi karena adanya dukungan regulasi dari pemerintah tentang energi baru dan terbarukan (EBT). Dimasa yang akan datang indonesia akan menghadapi era energi baru dan terbarukan (EBT) dimana produksi energi listrik akan banyak memanfaatkan pembangkit listrik tenaga energi baru dan terbarukan.

Penggunaan energi baru dan terbarukan (EBT) bertumbuh pesat secara global dimana total kapasitas PLT EBET sendiri di seluruh dunia akhir

tahun 2019 mencapai 176 GW dengan kapasitas *photovoltaic* yang terpasang sebesar 580,1 GW . Di Benua Asia sendiri memasang *photovoltaic* sebesar 330,1 GW yang menjadikannya paling banyak. PLTS skala besar dan luas lahan saluran transmisi merupakan hal yang sangat penting dalam penentuan lokasi pemasangan dan kapasitas dari suatu PLTS. Dampak letak astronomis Indonesia yang berada di 6° LU (Lintang Utara) sampai dengan 11° BT (Bujur Timur) menjadikan wilayah Indonesia berada di kawasan iklim tropis dengan dua kali pergantian musim yaitu musim hujan dan musim kemarau (Imawan, 2019).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat Dan Waktu Penelitian

Dalam penelitian ini penulis memilih waktu dan tempat untuk melakukan penelitian yaitu sebagai berikut:

3.1.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Pada penelitian ini peneliti melakukan pengujian yang bertempat di Gedung Laboratorium Termodinamika Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Adapun waktu penelitian dilaksanakan pada bulan April 2022 hingga September 2022.

3.2. Alat dan Bahan

Berikut ini adalah alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.2.1. *Solar Simulator*

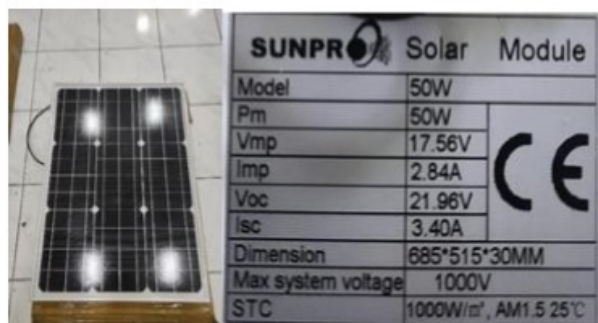
Dapat dilihat pada gambar 3.1 yaitu *Solar Simulator* yang merupakan media agar dapat memancarkan panas dan radiasi yang berguna untuk pengujian didalam laboratorium. *Solar simulator* ini memancarkan panas $50^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}$ dan radiasi sebesar $700 - 1100 \text{ W/m}^2$.



Gambar 3.1 *Solar simulator*

3.2.2. *Solar Photovoltaic*

Untuk solar *Photovoltaic* (PV) adalah suatu alat atau system yang mengkonversi radiasi matahari yang ditangkap oleh *Photovoltaic* menjadi energi listrik. Adapun pada penelitian ini menggunakan *Photovoltaic* (PV) dengan material *polycrystalline* dengan dimensi 1020 mm x 630 mm x 30 mm. Panel ini dapat menghasilkan daya maksimal sebesar 100 W, tegangan maksimal 17,6 V dan arus maksimal 5,67 A adapun panel dan spesifikasinya dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Photovoltaic*

3.2.3 Thermocouple

Pada gambar di bawah merupakan *thermocouple* yang berfungsi untuk mengukur temperatur permukaan dari panel *photovoltaic*. Serta dapat juga untuk mengukur temperatur fluida *inlet* dan *outlet*.



Gambar 3.3 *Thermocouple*

3.2.4 Temperature Recorder

Temperatur *recorder* berfungsi sebagai alat yang digunakan untuk mengukur temperature fluida *inlet* dan *outlet* panel kolektor. Seperti pada gambar 3.4. Alat yang dipakai dalam penelitian ini adalah temperature *recorder* dengan merek Lunton BT M-420SD yang digunakan untuk pengujian pengambilan data temperatur.



Gambar 3.4 *Temperature Recorder*

3.2.5 Blower

Blower yang di fungsikan untuk mengalirkan udara untuk masuk kedalam system PV/T *Air System*.



Gambar 3.5 Blower

3.2.6 Thermoelectric Cooler

Thermoelectric Cooler adalah alat yang difungsikan untuk menyerap panas sisa yang dihasilkan dari panel seurya yang digunakan. *Thermoelectric Cooler* mengubah panas yang terdapat pada sisi bawah panel surya menjadi daya listrik dengan memvariasikan letak *Thermoelectric Cooler* dengan variasi zigzag.



Gambar 3.6 *Thermoelectric Cooler*

3.2.7 Aki

Pada gambar 3.8 merupakan aki yang digunakan untuk menyimpan dan mengalirkan daya listrik yang dihasilkan oleh *photovoltaic*. Aki yang digunakan dengan tegangan 12 volt.



Gambar 3.7 Aki

3.2.8 Solar Power Meter SPM-116 SD

Solar power meter berfungsi untuk mengukur jumlah radiasi yang dipancarkan oleh matahari atau yang dipancarkan oleh solar simulator yang cara kerjanya mengenai permukaan *photovoltaic* dengan satuan (W/m^2).



Gambar 3.8 Solar Meter SPM-116 SD

3.2.9 Tristar Solar Charge Controller TS-45

Gambar 3.10 *Tristar solar charge controller TS-45* merupakan alat yang digunakan untuk mengontrol listrik yang dihasilkan oleh

photovoltaic. Yang dapat dibaca meliputi kuat arus (A) dan tegangan (V) yang dihasilkan dan data yang diberikan pada baterai serta beban yang dipasang.



Gambar 3.9 Tristar *Solar Charge Controller* TS-45

3.2.10 Saluran Udara

Saluran udara ini digunakan untuk menyalurkan udara *inlet* dari blower ke sistem PV/T. Alat ini terbuat dari material kayu triplek dengan ketebalan 5mm seperti pada gambar 3.11



Gambar 3.10 Saluran udara

3.2.11 Multitester

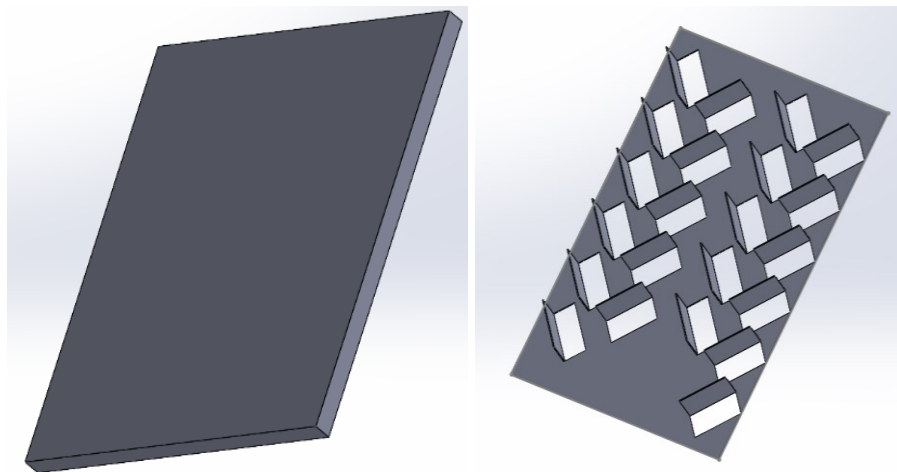
Gambar 3.14 adalah multitester atau multimeter ialah alat yang digunakan untuk mengukur lebih dari satu besaran listrik.



Gambar 3.11 *Multimeter tester*

3.2.12 *Flat Plate Collector*

Flat plate collector adalah alat yang berfungsi untuk menyerap radiasi matahari dan mengubahnya menjadi panas atau kalor dengan plat *absorber* aluminium yang dilengkapi dengan sirip bersudut. Fungsinya juga mmberi jalur laju aliran udara yang di alirkan.



Gambar 3.12 *Flat Plate Collector* dan *Plate Absorber* sirip bersudut

3.2.13 Kipas

Gambar 3.14 adalah kipas adalah alat yang di gunakan untuk mengalirkan udara Lingkungan di atas permukaan panel dengan model MT-1822 (18 *inch*) daya 70 watt dan tegangan 220V~AC/50 HZ.



Gambar 3.13 Kipas

3.2.14 Anemometer

Gambar 3.15 Anemometer yang difungsikan untuk mengukur kecepatan udara yang mengalir dengan merek LM-8000A dengan spesifikasi dapat mengukur kelembaban 10 hingga 95% dapat menguor kecepatan udara dari 0,4 hingga 30,0m/s dapat mengukur cahaya hingga temperatur.



Gambar 3.14 Anemometer

3.2.15 LED

Gambar 3.16 LED yang di fungsikan sebagai beban yang dipasangkan di *solar charge controller* dengan daya LED sebesar 5 watt.



Gambar 3.15 LED

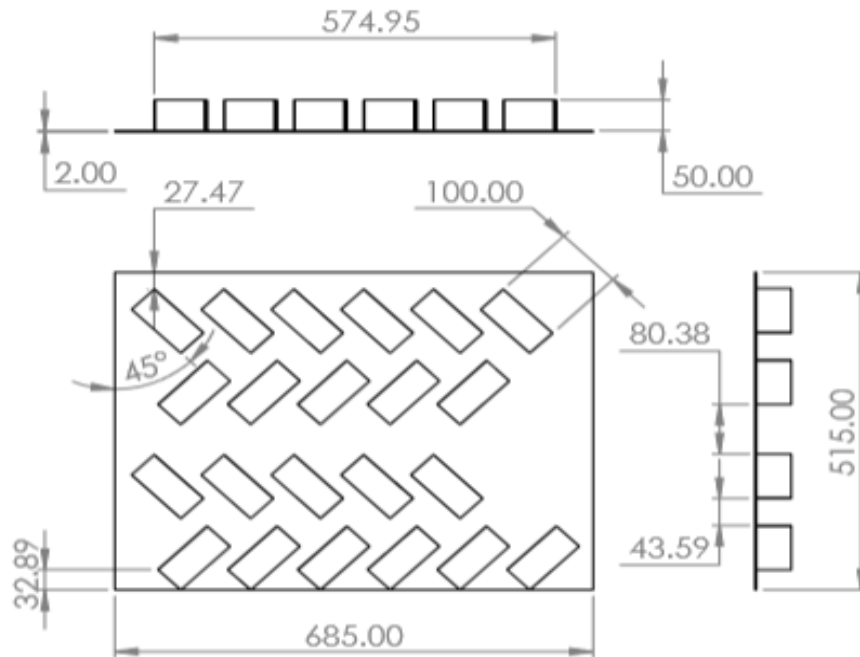
3.3. Prosedur Penelitian

Dalam dilakukannya penelitian ini peneliti menggunakan beberapa prosedir dalam pengaplikasian desain PV/T sirip *absorber* bersudut dengan *Thermoelectric Cooler*. Desain PV/T dengan sirip bersudut metode zig zag berbentuk *rectangle fin*. *Thermoelectric Cooler* yang digunakan dengan tipe TEC-12706. Pengujian eksperimen dari *Photovoltaic Thermal* dengan menguji tingkat performa dari PV/T sirip *absorber* bersudut yang sudah ditambah dengan TEC-12706. Peletakan *Thermoelectric Cooler* ini selain melihat performa dari panel surya yang digunakan juga dilakukan untuk memanfaatkan temperatur tinggi yang dihasilkan oleh *Photovoltaic* dan laju aliran udara yang dialirkan dibawahnya dimana dapat menghasilkan efisiensi daya listrik yang lebih baik dengan memanfaatkan temperature tinggi yang tidak digunakan dari *Photovoltaic*.

3.3.1. Pengaplikasian desain *Photovoltaic Thermal* PV/T dengan sirip bersudut metode zig zag

Pada prosedur yang akan dilaksanakan menggunakan kolektor plat datar yang dipasangkan dengan sirip *absorber* bersudut dibagian bawah *Photovoltaic*. Sirip yang dipasangkan berbentuk persegi dengan tebal 2 mm, tinggi 100 mm, panjang 100 mm, jarak antar sirip

18.147 mm, dan sudut yang digunakan yaitu 45° . Pemasangan sebanyak 22 sirip seperti gambar 3.14 sebagai berikut.



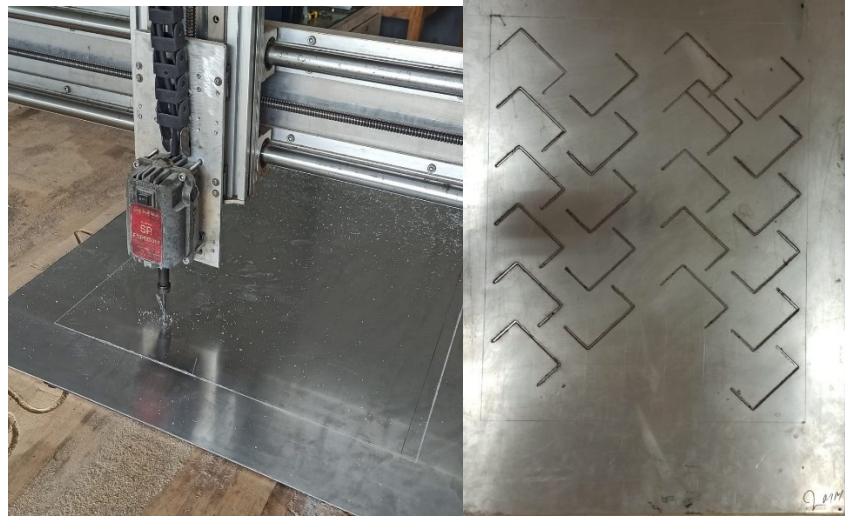
Gambar 3.16 Desain sirip absorber 45°

Pada pengujian kali ini menggunakan variasi aliran yaitu aliran *single pass. Photovoltaic* dengan material silicon semikonduktor dipasangkan sirip *absorber* bersudut pada bagian bawah panel. Lalu untuk bagian samping dan bawah dibuat *casing* agar aliran udara dapat terisolasi dengan baik dan mencegah kebocoran udara saat pengujian.

3.3.2. Pabrikasi sirip *absorber* variasi *rectangel fin* dengan sudut 45° material alumunium menggunakan *Computer Numerical Control* ketebalan 2mm.

Setelah proses pendesainan sirip *absorber* dengan sudut 45° dengan menggunakan material alumunium. Plat alumunium dipotong berbentuk persegi dengan tinggi 100 mm, panjang 100 mm, dan ketebalan 2 mm. Setelah proses pemotongan selesai sirip *absorber*

bersudut diletakkan dibawah *Photovoltaic* dengan cara diberikan penyangga yang bertumpu pada *casing*.



Gambar 3.17 Pabrikasi dengan CNC (*Computer Numerical Control*)

3.3.3. Pengaplikasian desain *Photovoltaic Thermal* PV/T dengan TEC-12706

Pada prosedur ini penulis menggunakan TEC-12706 dengan peletakan TEC-12706. Pada bagian bawah dimana terdapat ruang kosong *Photovoltaic* pada sirip *absorber* bersudut di pasangkan *Thermoelectric Cooler* dengan menggunakan media *thermal paste* untuk memasangkannya.

3.3.4. Pemasangan *Thermoelectric Cooler*

Setelah mendesain metode peletakan *Thermoelectric Cooler* kemudian pemasangan pada sisi belakang *Photovoltaic* yang akan digunakan. *Thermoelectric Cooler* di tempelkan menggunakan *thermal paste* sesuai dengan dimensi dari *Thermoelectric Cooler*. Setelah mendesain peletakan *Thermoelectric Cooler* kemudian merangkai peletakan *Thermoelectric Cooler* tersebut. Peletakan yang sesuai desain dengan dari ruang kosong yang tidak terpakai pada bagian bawah.

Komponen TEC tersebut di rangkai sesuai dengan ukuran dari *photovoltaic* yang digunakan. Selain itu jumlah TEC yang digunakan juga disesuaikan dengan riang kosong dan ukuran *photovoltaic* seperti pada gambar 3.12. Rangkaian komponen dimulai dari *photovoltaic* dengan bahan dasar *silicon* semikonduktor kemudian dipasang *Thermoelectric Cooler* yang dipasang zig zag pada bagian bawah panel. Kemudian pada bagian bawah dan samping di *casing* pelerakan panel surya agar dapat di alirkan udara paksa yang sesuai dengan parameter yang diinginkan. Fungsi *casing* tersebut agar tidak terjadinya kebocoran udara sehingga aliran udara yang didalam terisolasi.



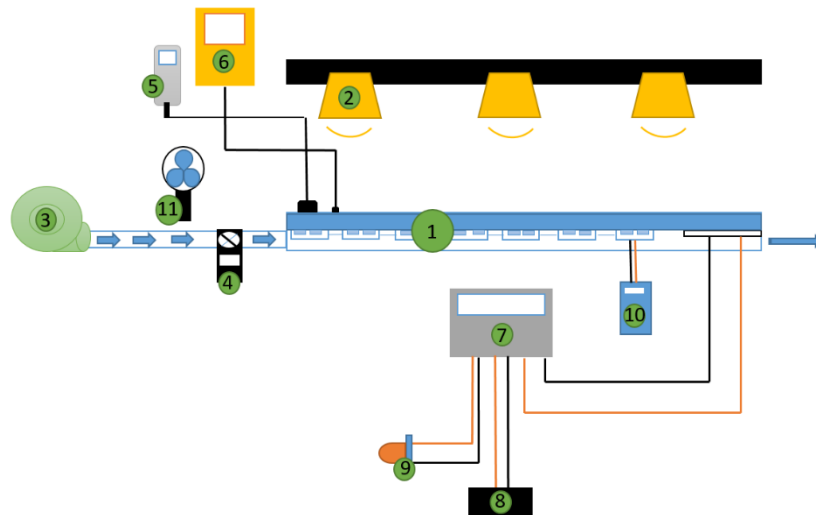
Gambar 3.18 Pemasangan TEC (*Thermoelectric Cooler*)

3.3.5. Pengujian Performa PV/T (*Hybrid Photovoltaic Thermal*) dengan *Thermoelectric Cooler* pada *photovoltaic* dengan sirip *absorber* bersudut.

Pada pengujian ini penulis melakukan pengujian secara eksperimen di dalam Laboratorium Termodinamika Teknik Mesin Universitas Lampung. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi thermal dan elektrik dari *hybrid photovoltaic* (PV/T) dengan penambahan modul *Thermoelectric Cooler* pada *Photovoltaic* dengan sirip

absorber. Modul *Thermoelectric Cooler* yang digunakan divariasikan dengan dengan memanfaatkan ruang yang terdapat dari sirip *absorber*. Pengujian *hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T)* sirip *absorber* yang telah di tambah dengan modul *Thermoelectric Cooler*. Dilaksanakan dengan mengukur variasi laju aliran massa udara yang masuk pada temperatur lingkungan, temperatur fluida keluar, *pressure drop* dan radiasi. Pada penelitian ini tahap – tahap pengukurannya adalah sebagai berikut:

- (a) Mengukur temperatur fluida masuk PV/T dan PV/T-TEC (T_{in}).
- (b) Mengukur laju aliran massa fluida (\dot{m}).
- (c) Melakukan pengukuran energi radiasi pada *solar simulator*, dengan waktu pengkondisian sebelum pengambilan data selama 15 menit, menggunakan alat *solar power meter*.
- (d) Mengukur temperatur fluida keluar PV/T dan PV/T-TEC (T_{out}).
- (e) Mengukur udara lingkungan (T_{amb}).
- (f) Mengukur temperatur permukaan pada *Photovoltaic (PV)*.
- (g) Mengukur tegangan *PhotovoltaicI (PV)* (V).
- (h) Mengukur arus keluar dari *Photovoltaici (PV)* (A).
- (i) Mengukur tegangan *Thermoelectric Cooler* (V).
- (j) Mengukur kuat arus yang keluar dari *Thermoelectric Cooler* (A).
- (k) Mengukur temperatur bawah *Photovoltaic* ($^{\circ}\text{C}$).
- (l) Mengukur temperatur permukaan *Photovoltaic* ($^{\circ}\text{C}$).
- (m) Mengukur temperatur permukaan bersentuhan TEC dengan PV ($^{\circ}\text{C}$).
- (n) Mengukur temperatur permukaan *Thermoelectric Cooler* yang terkena laju aliran udara paksa ($^{\circ}\text{C}$).

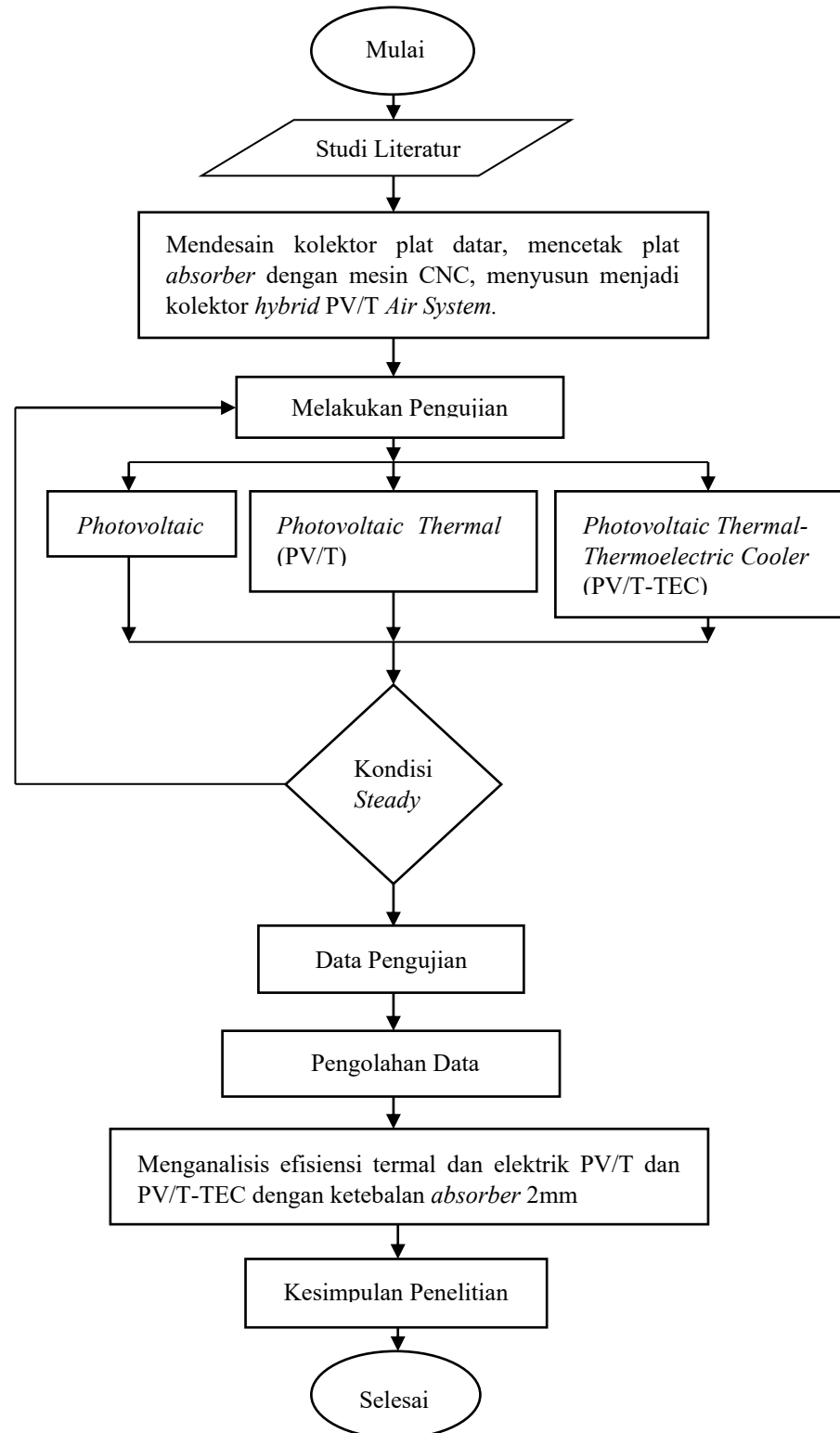


Gambar 3.19 Skema rangkaian pengujian PV/T-TEC

Keterangan :

1. *PV/T-TEC*
2. *Solar Simulator*
3. *Blower*
4. *Anemometer*
5. *Solar Power Meter*
6. *Thermo Recorder*
7. *Solar charge controller*
8. *Battery*
9. *LED*
10. *Multimeter Tester*
11. *Fan*

3.4 Diagram Alir Metode Penelitian



Gambar 3.20 Skema Diagram Alir

V. PENUTUP

5.1 Simpulan

Kesimpulan penelitian yang telah dilakukan ini adalah sebagai berikut:

1. PV/T dengan *absorber* sirip bersudut ketebalan 2 mm meningkatkan luas perpindahan panas dan PV/T *absorber* sirip bersudut menyerap panas panel surya lebih tinggi dibandingkan dengan PV/T-TEC.
2. Berdasarkan pengujian PV/T dan PV/T-TEC diperoleh hasil efisiensi termal terbaik yaitu 96,747% pada pengujian PV/T ($V_{\text{udara}} = 1 \text{ m/s}$) dengan laju aliran massa 0,339 kg/s. Untuk nilai efisiensi elektrik tertinggi yaitu 7,1202% pada pengujian PV/T ($V_{\text{udara}} = 1 \text{ m/s}$) dengan laju aliran massa 0,339 kg/s.
3. Berdasarkan penelitian PV/T-TEC memberikan daya listrik dari hasil perbedaan temperatur dikedua sisi. Nilai daya listrik yang dihasilkan TEC paling besar pada beda temperatur 11,225 °C dengan daya listrik yang dihasilkan 0,258 watt pada pengujian PV/T-TEC ($V_{\text{udara}} = 0 \text{ m/s}$) laju aliran massa 0,339 kg/s.

5.2. Saran

Adapun saran penguji untuk penelitian berikutnya adalah sebagai berikut :

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan jumlah TEC yang lebih banyak dan variasi penempatan yang lebih banyak untuk melihat hasil yang lebih bervariasi.
2. Variasi kecepatan udara yang digunakan dapat diperbesar lagi agar bisa lebih mendinginkan panel surya .

DAFTAR PUSTAKA

- Ali H.A. Al-Waelia, K. Sopiana, Hussein A. Kazem, Miqdam T. Chaichan.2018.*Photovoltaic/Thermal (PV/T) systems: Status and future prospects: Malaysia Solar Energy Research Institute, Universitas Kebangsaan.*
- Amrizal, Amrul, Miftahul Aziz, Adi Suprianto.2018. *Performance Analysis of Hybrid PV/T Solar Collector Under The Tropical Climate Conditions of Indonesia: Lampung. Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.*
- Amrizal, Amrul, Miftahul Aziz, Adi Suprianto.2018. Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional: Lampung. Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
- Azhar, Muhammad, Dendy Adam Satriawan. 2018. Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional: Universitas Diponegoro.
- Buchori,Luqman.2004. Buku Ajar Perpindahan Panas Bagian 1:Semarang.Jurusan Teknik Kimia, Universitas Diponegoro.
- Budiyanto., Herry Setiawan. 2021. Analisa Perbandingan Kinerja Panel Surya Vertikal dengan Panel Surya Fleksibel pada Jenis *Monocrystalline*: Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Cengel, YA. (2011). *Heat Transfer : A Practical Approach 2nd Edition.* Mcgraw Hill. London.

- Hayani,F.S., Arnisa Stefanie., Insani Abdi Bangsa. 2021. *Hybrid Generator Thermoelektrik Panel Surya Thin Filmi Sf 170-S Cis 170 Watt Pada Plts 1 Mw Cirata: JTE UNIBA. Vol 6, No. 1.*
- Kumar, R. Senthil., N. Puja Priyadharshini., dan E. Natarajan. 2015. *Experimental and Numerical Analysis of Photovoltaic Solar Panel Using Thermoelectric Cool.* India: *Departement of Mechanical Engineerig.*
- Panjaitan, Monika.2020. *Sistem Pendingin Thermoelectric Cooler (Tec) Berbasis Tenaga Surya: Sumatera Utara. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara, Medan.*
- Pratama, Dimas Ady., Indra Herlamba Siregar. 2018. *Uji Kinerja Panel Surya Tipe Polycrystalline 100Wp: Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.*
- Riswanda Imawan, M. Ramdhan Kirom, Tri Ayodha Ajiwiguna.2019. *Analisis Performansi Sistem Tandem Panel Surya– Termoelektrik Skala Lab: Jakarta.Program Studi Teknik Fisika, Universitas Telkom.*
- Wiyana,Gede.2012. *Pemanfaatan Energi Surya.Fakultas Teknik dan Kejuruan.Bali: Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Undiksh*