

**UNJUK KERJA KOLEKTOR SURYA *HYBRID PV/T* TIPE ALIRAN  
*SERPENTINE* BERDASARKAN TEMPERATUR FLUIDA MASUK**

**(Tesis)**

**Oleh**

**CHRISTIAN CAHYA PUTRA**



**PROGRAM PASCASARJANA MEGISTER TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2018**

## ABSTRAK

### UNJUK KERJA KOLEKTOR SURYA *HYBRID PV/T* TIPE ALIRAN *SERPENTINE* BERDASARKAN TEMPERATUR FLUIDA MASUK

Oleh

**CHRISTIAN CAHYA PUTRA**

Cahaya matahari dapat dimanfaatkan sebagai penyedia energi melalui dua jenis teknologi yaitu teknologi kolektor *thermal* dan *photovoltaic*. Penggabungan kedua jenis teknologi ini dikenal dengan istilah *PV/T* atau *photovoltaic thermal*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penerapan perbedaan temperatur fluida masuk pada kolektor surya *hybrid PV/T* aliran *serpentine* baik secara *thermal* maupun daya elektrik yang dihasilkan. Perbedaan temperatur fluida masuk yang digunakan adalah di atas dan di bawah temperatur lingkungan. Pengujian unjuk kerja *thermal* ini menggunakan standar *EN 12975* sistem *indoor* dengan simulator surya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kolektor surya *hybrid PV/T* dengan temperatur fluida masuk di bawah temperatur lingkungan memiliki koefisien kerugian panas dan efisiensi listrik yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kondisi pengujian di atas temperatur lingkungan. Sementara itu kolektor surya *hybrid PV/T* dengan temperatur fluida masuk di bawah temperatur lingkungan dan laju aliran massa fluida 0.015 kg/s memiliki koefisien kerugian panas lebih tinggi 2.2 W/m<sup>2</sup>K dibandingkan dengan kondisi pengujian yang sama ketika temperatur fluida masuk di atas temperatur lingkungan dan terjadi peningkatan efisiensi daya listrik 1% dengan temperatur rata rata permukaan kolektor PV/T 46.76°C. Sedangkan penerapan variasi temperatur fluida masuk di bawah dan di atas temperatur lingkungan tidak berpengaruh signifikan terhadap efisiensi zero pada kolektor surya *hybrid (PV/T)* aliran *serpentine* ini.

Kata kunci : Energi matahari, *Photovoltaic thermal (PV/T)*, *EN 12975*.

# PERFORMANCE OF A SERPENTINE PV/T COLLECTOR WITH VARIATION OF THE INLET FLUID TEMPERATURE

By

**CHRISTIAN CAHYA PUTRA**

Sunlight can be utilized as an energy through two types of solar collector namely thermal and photovoltaic solar collectors, respectively. The combination of these two types of solar collectors is known as PV/T or *PhotoVoltaic/Thermal*.

The aim of this study is to investigate the effect of different range of inlet fluid temperature on both electrical and thermal efficiency for a serpentine PV/T collector. The variation of the inlet fluid temperature used in this study is *above* and *below* ambient temperature. The thermal performance test uses the EN 12975 under indoor system with a solar simulator.

The results showed that hybrid PV/T solar collectors with the inlet fluid temperature below ambient temperature have higher values for both heat loss coefficient and electrical efficiency when they compared to those obtained from the above ambient temperature. Meanwhile, the collector with the inlet fluid temperature below ambient temperature and mass flow rate of 0.015 kg/s has a higher value of heat loss coefficient of 2.2 W/m<sup>2</sup>K if they compared to those obtained from above ambient temperature and also there is an increase of 1% electrical efficiency with average temperature surface of PV/T collector 46.76°C. The application of different range of inlet fluid temperature has no significant effect on zero efficiency of PV/T collector.

Keywords: Solar energy, Photovoltaic thermal (PV / T), EN 12975.

**UNJUK KERJA KOLEKTOR SURYA *HYBRID PV/T* TIPE ALIRAN  
*SERPENTINE* BERDASARKAN TEMPERATUR FLUIDA MASUK**

**Oleh**

**CHRISTIAN CAHYA PUTRA**

**(Tesis)**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Magister Teknik Mesin**

**Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM PASCASARJANA MEGISTER TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2018**

Judul Tesis : **UNJUK KERJA KOLEKTOR SUKRYA *HYBRID*  
PVT TIPE ALIRAN *SERPENTINE*  
BERDASARKAN TEMPERATUR FLUIDA  
MASUK**

Nama Mahasiswa : **CHRISTIAN CAHYA PUTRA**

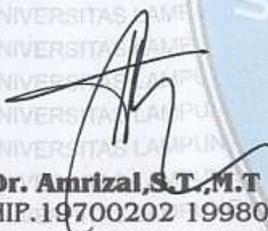
Nomor Pokok Mahasiswa : 1525021009

Program Studi : Magister Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

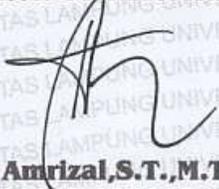
**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

  
**Dr. Amrizal, S.T., M.T.**  
NIP.19700202 199803 1 004

  
**Dr. Amrul, S.T., M.T.**  
NIP.19710331 199903 1 003

2. Ketua Program Studi  
Magister Teknik Mesin

  
**Dr. Amrizal, S.T., M.T.**  
NIP.19700202 199803 1 004

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua : Dr. Amrizal, S.T., M.T.** .....

**Anggota Penguji : Dr. Amrul, S.T., M.T.** .....

**Penguji Utama I : Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.** .....

**Penguji Utama II : Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.** .....

**2. Dekan Fakultas Teknik**

**Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D**  
NIP. 19620717 198703 1 002

**3. Direktur Pascasarjana Universitas Lampung**

**Prof. Drs. Mustofa, MA, Ph.D.**  
NIP. 19570101 198403 1 020

**Tanggal Lulus Ujian Tesis : 04 Juni 2018**

## SURAT PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah TESIS dengan judul UNJUK KERJA KOLEKTOR SURYA HYBRID PV/T TIPE ALIRAN SERPENTIN BERDASARKAN TEMPERATUR FLUIDA MASUK bahwa tidak terdapat karya ilmiah yang telah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah TESIS ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya, saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 30 Juni 2018

Yang Membuat



Christian Cahya Putra

1525021009

## RIWAYAT HIDUP



Christian Cahya Putra dilahirkan tanggal 7 Febuari 1988 di Bandar Jaya, Lampung Tengah, anak kedua dari pasangan Bapak Percaya dan Ibu Embar Listiyani. Pendidikan Penulis TK sampai SMA di Lampung Tengah dan jenjang D3 di Universitas Negeri Yogyakarta. Setelah lulus, penulis bekerja selama 2 tahun di PLTU berlokasi di Bangka Belitung kemudian di Pabrik Sawit dengan lokasi di Kalimantan Timur. Saat mendengar panggilan hidupnya, pada tanggal 16 April 2012 penulis kembali ke Lampung Tengah dan masuk dunia pendidikan. Melalui Politeknik Sugar Group Companies, penulis bekerja sebagai staf pengajar, dan melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Metro. Kemudian dilanjutkan dengan kuliah di Pascasarjana Universitas Lampung. Hingga saat ini penulis mengabdikan diri di dunia pendidikan, karena panggilanNya begitu jelas di dunia pendidikan bagi penulis.

**MOTTO:**

**” Semua yang hidup adalah seperti rumput dan segala kemuliaanya seperti bunga rumput, rumput menjadi kering, dan bunga gugur, tetapi firman Tuhan tetap untuk selama lamanya ” 1 Petrus 1: 24-2**

## **KATA PENGANTAR**

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa. Hanya karena anugerah-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.

Terwujudnya tugas akhir ini tidak lepas dari bimbingan, saran, dan bantuan baik moril maupun materil, dorongan serta kritik dari berbagai pihak. Dengan hati yang tulus penulis sampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa.
2. Bapak Dr. Amrizal, S.T., M.T. selaku pembimbing penulis dan ketua Jurusan Pasca Sarjana Universitas Lampung
3. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T. selaku Pembimbing penulis.
4. Bapak Dr. Irsyad, S.T., M.T dan Dr. Jamiatul Akmal.,S.T., M.T selaku dosen Penguji yang telah memberikan masukan demi menyempurnakan tesis ini.
5. Bapak Purwadi Santoso selaku Kepala Yayasan Tunas Garuda yang memberikan kesempatan untuk penulis sekolah.
6. Istriku Ega Christina Satriani yang telah mendukung, menemani, dan mendampingi saat senang dan susah.
7. Anakku Abigail Cahya Kasih Rinakit dan Adriel Satria Budi Luhur yang selalu membuat penulis bersemangat.
8. Pak Didik, Pak Hari, Yonanda, Adi serta rekan-rekan seperjuangan lainnya yang telah saling memberi semangat.
9. Semua pihak yang telah banyak memberikan bantuan baik moril maupun materiil untuk penyelesaian penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini tidak luput dari kesalahan, maka kritik dan saran yang konstruktif dari semua pihak, akan penulis terima dengan senang hati. Penulis berharap semoga penelitian ini bermanfaat bagi penulis dan semua pihak yang membutuhkan.

Lampung, 30 Juni 2018

Penulis,

Christian Cahya Putra

NIM. 1525021009

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
ABSTRAK .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
SURAT PERNYATAAN .....	iv
DAFTAR RIWAYAT HIDUP .....	v
MOTTO .....	vi
PERSEMBAHAN .....	vii
SANWACANA.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
<b>I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	3
1.3. Batasan Masalah .....	4
1.4. Sistematika Penulisan .....	4
<b>II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Penelitian <i>Photovoltaic Thermal</i> .....	6
2.2. Dasar teori <i>Photovoltaic</i> .....	9
2.3. <i>Photovoltaic Thermal</i> .....	10
2.4. Kolektor Surya Plat Datar .....	11

2.5	Perpindahan Panas .....	16
2.6	Perpindahan Panas Konduksi .....	17
2.7	Perpindahan Panas Konveksi .....	18
2.8	Perpindahan Panas Radiasi .....	20
2.9	Persamaan Dasar Keseimbangan Energi <i>flat plat collector</i> .....	21
2.10	Koefisien efektif <i>transmittance-absorptance</i> ( $\tau\alpha$ ) <sub>e</sub> .....	26
2.11	Koefisien kerugian panas menyeluruh .....	27
2.12	Pengujian Efisiensi pada kondisi <i>steady state</i> .....	30
2.13	Prosedur Pengujian <i>time constant</i> .....	32
2.14	Multiple Regresi Linier .....	32
2.15	Komputasi Dinamika Fluida / <i>Computational fluid dynamics</i> (CFD) ..	33
2.16	<i>Ansys</i> .....	34
2.17	Daya Listrik .....	35

### III METODOLOGI PENELITIAN

3.1.	Tempat dan waktu Penelitian .....	36
3.2.	Alat dan Bahan yang digunakan .....	36
3.3.	Tahap Pengujian .....	46

### IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Uji Hipotesis .....	50
4.2	Temperatur Permukaan <i>Photovoltaic</i> Tanpa Kolektor <i>Thermal</i> .....	51
4.3	Pengujian <i>Thermal</i> Dengan laju aliran massa ( $\dot{m} = 0.005$ kg/s) .....	52
4.4	Pengujian <i>Thermal</i> Dengan laju aliran massa ( $\dot{m} = 0.01$ kg/s) .....	54
4.5	Pengujian <i>Thermal</i> Dengan laju aliran massa ( $\dot{m} = 0.015$ kg/s) .....	56
4.6	Perbandingan Data Hasil Pengujian <i>Thermal</i> Dengan $\dot{m} = 0.005$ kg/s, 0.01 kg/s, 0.015 kg/s .....	58
4.7	Efisiensi elektrik <i>Photovoltaic</i> .....	61
4.8	Validasi hasil pengujian simulasi dengan Eksperimen .....	63

### V. PENUTUP

5.1	Kesimpulan .....	67
5.2	Saran .....	68

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Konduktivitas <i>thermal</i> berbagai bahan .....	17
Tabel 2.2 Selisih parameter yang dizinkan saat pengujian .....	30
Tabel 4.1 <i>Summary output fungsi Multiple Linier Regression</i> PV/T laju aliran massa 0.015 kg/s.....	50
Tabel 4.2 Hasil perhitungan <i>multiple linier regression</i> kolektor surya dengan $\dot{m} = 0.005$ kg/s.....	53
Tabel 4.3. Hasil perhitungan <i>multiple linier regression</i> kolektor surya dengan $\dot{m} = 0.01$ kg/s.....	55
Tabel 4.4. Hasil perhitungan <i>multiple linier regression</i> kolektor surya dengan $\dot{m} = 0.015$ kg/s.....	57

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 <i>Photovoltaic</i> tipe <i>Polycrystalline</i> .....	10
Gambar 2.2 Solar energi system .....	10
Gambar 2.3 Kolektor surya prismatic.....	13
Gambar 2.4 Kolektor surya plat datar .....	13
Gambar 2.5 Kolektor surya pelat datar/ <i>flat-plate collectors</i> .....	14
Gambar 2.6 Distribusi temperatur pada plat datar .....	15
Gambar 2.7 Kolektor surya tipe aliran seri/ <i>serpentine</i> .....	16
Gambar 2.8 Perpindahan panas konduksi .....	17
Gambar 2.9a Konveksi dari permukaan panas ke udara sekitar .....	19
Gambar 2.9b Konveksi paksa dan konveksi alami .....	19
Gambar 2.10 Radiasi antara sebuah permukaan dan permukaan sekitar .....	20
Gambar 2.11 Radiasi masuk dan <i>heat loss</i> pada kolektor pelat datar .....	22
Gambar 2.12 Jaringan termal kerugian untuk kolektor.....	26
Gambar 3.1 Termokopel K .....	37
Gambar 3.2 Termometer digital.....	37
Gambar 3.3 Solarimeter .....	37
Gambar 3.4 <i>Solar charge controller</i> .....	39
Gambar 3.5 Pompa sirkulasi .....	39

Gambar 3.6 Lampu sebagai simulator sumber panas.....	40
Gambar 3.7 Baterai .....	40
Gambar 3.8 <i>Flow</i> meter sensor .....	41
Gambar 3.9 <i>Arduino</i> dan <i>flow meter</i> .....	42
Gambar 3.10 Spesifikasi <i>Photovoltaic</i> .....	43
Gambar 3.11 Rancangan solar kolektor aliran serpentin berjarak 80 mm .....	43
Gambar 3.12 Pipa aliran <i>serpentine</i> dengan jarak antar pipa 80 mm .....	44
Gambar 3.13 <i>Photovoltaic</i> .....	44
Gambar 3.14 <i>Photovoltaic thermal</i> .....	45
Gambar 3.15 Diagram alur prosedur penelitian.....	46
Gambar 3.15 Pengukuran daya .....	46
Gambar 3.16 Skema pengujian .....	48
Gambar 4.1 Data hasil pengukuran temperature <i>photovoltaic</i> .....	51
Gambar 4.2 Grafik hubungan efisiensi dan temperatur reduksi dengan $\dot{m} = 0.005\text{kg/s}$ dan temperatur input di bawah lingkungan.. .....	52
Gambar 4.3 Grafik hubungan efisiensi dan temperatur reduksi dengan $\dot{m} = 0.005\text{kg/s}$ dan temperatur input di atas lingkungan.....	52
Gambar 4.4 Grafik hubungan efisiensi dan temperatur reduksi dengan $\dot{m} = 0.01\text{kg/s}$ dan temperatur input di bawah lingkungan. ....	54
Gambar 4.5 Grafik hubungan efisiensi dan temperatur reduksi dengan $\dot{m} = 0.01\text{ kg/s}$ dan temperatur input di atas lingkungan.....	54
Gambar 4.6 Grafik hubungan efisiensi dan temperatur reduksi dengan $\dot{m} = 0.015\text{kg/s}$ dan temperatur input di bawah lingkungan.....	56
Gambar 4.7 Grafik hubungan efisiensi dan temperatur reduksi dengan $\dot{m} = 0.015\text{kg/s}$ dan temperatur input di atas lingkungan.....	56
Gambar 4.8 Grafik hubungan efisisensi dan temperatur reduksi di bawah lingkungan. ....	58
Gambar 4.9 Grafik hubungan efisisensi dan temperatur reduksi di atas	

lingkungan.....	58
Gambar 4.10 Efisiensi daya pada PV/T dengan temperatur masukan air diatas temperatur lingkungan .....	60
Gambar 4.11 Efisiensi daya pada PV/T dengan temperatur masuk air dibawah temperatur lingkungan .....	61
Gambar 4.12 Pengaruh temperatur permukaan <i>photovoltaic</i> terhadap efisiensi elektrik <i>photovoltaic</i> pada fluida masuk di atas temperatur lingkungan .....	62
Gambar 4.13 Simulasi penyebaran panas pada permukaan PV/T dengan fluida masuk di bawah temperatur lingkungan dengan laju aliran massa 0.01 kg/s.....	63
Gambar 4.14 Simulasi kenaikan temperatur pada laju aliran massa fluida 0.01kg/s .....	64
Gambar 4.15 Perbandingan nilai efisiensi terhadap rugi rugi kalor secara ekperimental dan simulasi dengan $\dot{m} = 0.01\text{kg/s}$ , pada temperatur di atas lingkungan.....	65
Gambar 4.16 Perbandingan nilai efisiensi terhadap rugi rugi kalor secara ekperimental dan simulasi dengan $\dot{m} = 0.015\text{kg/s}$ , pada temperatur di atas lingkungan.....	65

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Data hasil pengujian PV/T aliran *serpentine*.

Lampiran 2: Data Multiple Regresi linier.

Lampiran 3: Simulasi distribusi temperatur fluida dan distribusi *thermal* pada *photovoltaic*.

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada saat ini energi fosil tidak mampu mencukupi kebutuhan bahan bakar minyak di Indonesia. Hal ini dapat dilihat berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2013) yaitu cadangan minyak mentah di Indonesia pada tahun 2002, dimana konsumsi minyak lebih tinggi dibandingkan produksi dalam negeri. Oleh karena tidak terpenuhinya minyak di dalam negeri, sehingga masih dibutuhkannya pengembangan energi alternatif.

Energi alternatif adalah energi yang dapat digunakan untuk menggantikan bahan bakar konvensional (fosil). Salah satu energi alternatif yang berpotensi di Indonesia adalah energi surya. Energi surya merupakan energi yang ramah lingkungan dan tidak menghasilkan polutan (Kalogirou, 2003). Berdasarkan letak geografis, Indonesia sangat berpotensi menjadikan energi surya sebagai salah satu sumber energi masa depan, mengingat posisi Indonesia terletak pada garis khatulistiwa.

Untuk memanfaatkan potensi energi surya ada dua cara atau teknologi yang dapat digunakan yaitu energi termal dan energi *photovoltaic*. Energi termal memanfaatkan radiasi matahari dengan menggunakan kolektor surya. Sedangkan energi *photovoltaic* memanfaatkan sel *silicon* untuk menyerap cahaya matahari

yang dikonversikan menjadi energi listrik. Menurut Susandi et al. (2008) *photovoltaic* hanya mampu mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik dengan efisiensi antara 9-12%. Sedangkan 80% dari radiasi matahari tidak dikonversikan menjadi energi listrik, tetapi diubah menjadi energi panas. Hal ini menyebabkan meningkatnya temperatur permukaan *photovoltaic* yang berdampak menurunkan efisiensi listrik. Tingginya temperatur permukaan *photovoltaic* dapat diturunkan dengan menggunakan teknologi *hybrid photovoltaic thermal (PV/T)*.

Teknologi *hybrid PV/T* adalah gabungan antara *photovoltaic* dan kolektor surya. Prinsip kerja *hybrid PV/T* ialah menyerap panas permukaan *photovoltaic* dengan cara mengalirkan fluida kerja (air) di bawah *photovoltaic* tersebut melalui pipa kolektor. Sehingga panas dari *photovoltaic* dipindahkan ke fluida tersebut akibatnya temperatur permukaan *photovoltaic* akan menurun dan efisiensi energi listrik akan meningkat (Duffie, 1980).

Beberapa peneliti telah meneliti kolektor surya *hybrid PV/T*, salah satunya Allan et al. (2015) melakukan penelitian tentang kolektor surya *hybrid PV/T* berdasarkan susunan pipa yaitu tipe paralel dan tipe *serpentine*. Dari hasil penelitiannya unjuk kerja kolektor surya *hybrid PV/T* dengan susunan pipa tipe *serpentine*, nilai koefisien kehilangan panas lebih baik 2,9 % dibandingkan kolektor surya *PV/T* tipe paralel. Menurut Wang (2000), konfigurasi kolektor surya *hybrid PV/T* tipe pelat datar seperti jarak pipa, arah aliran, pelat *absorber* dan temperatur masuk fluida kerja sangat mempengaruhi unjuk kerja kolektor.

Sementara itu Indonesia termasuk daerah ekuator yang beriklim udara lembab dan temperatur tinggi. Karakteristik kolektor surya baik kolektor termal, photovoltaic maupun PV/T sangat tergantung kepada kondisi lingkungan dimana jenis kolektor surya itu digunakan. Sebagaimana dilaporkan oleh Prashant Baredar,dkk (2014) yang menguji kolektor surya hybrid PV/T di India yang menyimpulkan bahwa terjadi peningkatan efisiensi listrik ketika data desain dengan temperatur permukaan kolektor PV/T yang lebih rendah. Unjuk kerja kolektor ini juga dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari dan kecepatan udara serta kondisi awan namun tidak dilaporkan pengaruh variasi temperatur fluida masuk kolektor. Data-data desain dan hasil pengujian unjuk kerja kolektor surya yang berkaitan dengan daerah ekuator termasuk Indonesia belum banyak dipublikasikan.

Dari dasar inilah perlu dilakukan penelitian tentang unjuk kerja kolektor surya *hybrid PV/T* dengan susunan pipa tipe *serpentine* berdasarkan variasi temperatur masuk fluida kerja sehingga diharapkan unjuk kerja kolektor surya pada kondisi iklim tropis di Indonesia dapat dioptimalkan.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui unjuk kerja *thermal* (rugi rugi kalor dan *efisiensi zero*) kolektor surya *hybrid PV/T* pelat datar tipe aliran *serpentine* dalam kondisi *steady* (berdasarkan *EN 12975*) dengan perbedaan temperatur fluida masuk dan laju aliran massa fluida.

- b. Mengetahui unjuk kerja elektrik kolektor surya *hybrid PV/T* pelat datar tipe aliran *serpentine* berdasarkan perbedaan temperatur fluida masuk dan laju aliran massa fluida.
- c. Membuat simulasi menggunakan *CFD* berdasarkan distribusi *thermal* permukaan *PV/T* dan distribusi *thermal* aliran fluida kolektor *PV/T*.

### 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang diberikan agar penelitian lebih fokus dan terarah adalah sebagai berikut:

- a. Kolektor surya *hybrid PV/T* menggunakan *photovoltaic type silicon polycrystalline* dan susunan pipa tipe *serpentine*.
- b. Pengujian unjuk kerja termal kolektor surya *hybrid PV/T* menggunakan standar *EN 12975*.
- c. Radiasi matahari menggunakan *solar simulator* dengan lampu *halogen R7s* daya 300 Watt sebanyak 12 buah.

### 1.4 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini adalah:

#### BAB I : PENDAHULUAN

Terdiri dari latar belakang, tujuan, manfaat, batasan masalah, dan sistematika penulisan dari penelitian ini.

#### BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka berisikan tentang teori yang berhubungan dan mendukung masalah yang diambil.

#### BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Terdiri atas hal-hal yang berhubungan dengan pelaksanaan penelitian, yaitu tempat penelitian, bahan penelitian, peralatan penelitian, prosedur pembuatan dan diagram alir pelaksanaan penelitian.

#### BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan hasil penelitian dan pembahasan dari data-data yang diperoleh setelah pengujian.

#### BAB V : SIMPULAN DAN SARAN

Berisikan hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin disampaikan dari penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

Memuat referensi yang dipergunakan penulis untuk menyelesaikan laporan penelitian.

#### LAMPIRAN

Berisikan pelengkap laporan penelitian.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian *Photovoltaic thermal*

Penyerapan panas matahari mempunyai sejarah yang panjang dan telah diproduksi komersial sejak abad ke-19, dimana *photovoltaic cell* telah menjadi produk komersial dari tahun 1950-an. Tahun 1960-an harga sel surya masih sangat mahal dan penelitian pengembangan berkonsentrasi pada bidang industri. Tetapi setelah pembatasan perdagangan oleh undang-undang mengenai minyak di tahun 1973/1974, menghasilkan sebuah kenaikan yang besar pada harga minyak, sehingga pemerintah disetiap negara sangat mendorong penelitian untuk energi terbarukan. Jadi penelitian tentang *photovoltaic cell* dan kolektor *thermal* bukanlah ide baru dalam dunia teknologi rekayasa surya, sebelumnya banyak peneliti yang telah meneliti hal ini, antara lain:

- a. Zondag (2005), meneliti tentang unjuk kerja *PV/T* menggunakan berbagai macam reflektor. Berdasarkan hasil uji coba eksperimen di dapat efisiensi listrik tahunan rata-rata ditemukan 7,2%, 7,6% dan 6,6% masing-masing. Karena kaca dengan transparansi 92% digunakan diperhitungan, penurunan kinerja listrik untuk *PV/T* yang mengkilap dibandingkan. Untuk *PV/T* laminasi konvensional adalah persis apa yang diharapkan dari tambahan kerugian refleksi, yang berarti *PV/T* yang mengkilap menjadi suhu tambahan efek dibatalkan sepanjang tahun, sedangkan untuk *PV/T* yang tidak berlabel efek suhu positif.

- b. Davide et al. (2013) meneliti unjuk kerja *thermal* plat datar kolektor surya dengan plat yang dibentuk atau ditekut sesuai bentuk/ *roll-bond* sesuai bentuk dan ukuran pipa yang digunakan dibandingkan dengan plat datar yang tidak ditekut sesuai bentuk pipa. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi plat datar yang dibentuk atau ditekut sesuai bentuk pipa lebih baik bila dibandingkan dengan plat datar yang tidak ditekut.
- c. Allan et al. (2014) telah melakukan pengujian *performance* terhadap *thermal* dan *Photovoltaic thermal (PV/T)* kolektor surya menggunakan solar simulator, pada penelitian ini telah dibandingkan beberapa kasus untuk memperoleh metodologi yang dapat dipergunakan untuk menguji karakteristik unjuk kerja dari sebuah kolektor surya. Pada kasus pertama telah diuji antara kolektor surya tipe serpentin dengan tipe paralel dengan laju aliran yang sama, hasil yang diperoleh kolektor surya tipe paralel dengan konstruksi pipa *riser* dan *header* memiliki efisiensi lebih kecil dengan koefisien kehilangan menyeluruh meningkat 34%. Kemudian pengujian pengaruh cover polycarbonate terhadap perforannya. Kasus berikutnya menguji *performance PV/T* kolektor yang menghasilkan energi panas dan energi listrik, yaitu dengan meletakkan *photovoltaic (PV)* di atas *absorber* tipe *serpentin*.
- d. Qianyu et al. (2011) melakukan penelitian terhadap unjuk kerja panas sebuah solar kolektor plat datar tipe *serpentine*, penelitian dilakukan untuk memperoleh nilai kerja aliran fluida, kecepatan angin, *pressure drop*, temperatur fluida masuk dan keluar. Penelitian ini hanya menguji satu jenis dan ukuran kolektor dengan luasan  $1.71 \text{ m}^2$ . Hasil penelitian menunjukkan

nilai *pressure drop* tidak berubah terhadap waktu dan terjaga konstan selama pengujian karena nilai laju aliran fluida dijaga konstan. Temperatur masuk dan keluar berubah terhadap waktu pengujian bergantung pada radiasi matahari/ *solar irradiance* dan kecepatan angin.

- e. Sulaeman dan Darul Mapasid. (2013) melakukan analisa terhadap efisiensi kolektor surya plat datar dengan debit aliran fluida 3 - 10 liter/menit. Hasil penelitian kerja kolektor paling optimal pada aliran fluida 7,5 liter/menit. Dengan demikian masyarakat dapat memanfaatkan dan menggunakan alat ini sebagai solusi untuk penggunaan energi yang mudah didapat dan diperbarui.
- f. Amrizal et al. (2013), melakukan penelitian model *photovoltaic / thermal transient hybrid* yang telah dikembangkan dan divalidasi secara eksperimental. Metodologi ini memperluas model thermal kuasi-dinamis yang dinyatakan dalam *EN 12975* untuk melibatkan kinerja listrik dan mempertimbangkan perilaku dinamis meminimalkan kendala ketika mengkarakterisasi kolektor. Prosedur penyaringan rata-rata bergerak mundur telah diterapkan untuk meningkatkan respon model untuk kondisi kerja variabel. Mengenai bagian listrik, model termasuk ketergantungan thermal dan radiasi dalam variabel-variabelnya. Hasil-hasilnya menunjukkan bahwa parameter-parameter karakteristik yang termasuk dalam model cukup sesuai dengan nilai-nilai eksperimental yang diperoleh dari pengukuran kurva standar *steady state*. Setelah proses kalibrasi, model ini adalah alat yang cocok untuk memprediksi kinerja thermal dan listrik dari kolektor surya hibrida, untuk satu set data cuaca tertentu.

## **2.2 Dasar teori *Photovoltaic***

*Photovoltaic* adalah sejumlah sel surya yang dirangkai secara seri maupun paralel ,untuk meningkatkan tegangan maupun arus yang dihasilkan sehingga cukup untuk pemakaian sistem catu daya beban. Untuk mendapatkan keluaran energi listrik yang maksimum maka permukaan modul surya harus selalu mengarah ke matahari. Daya listrik yang dihasilkan photovoltaik berupa daya listrik DC yang kemudian akan dikonversikan menjadi daya listrik AC.

### **2.2.1. Cara Kerja *Photovoltaic***

*Photovoltaic* bekerja dengan cara sebagai berikut:

1. Absorpsi cahaya dalam semikonduktor
2. Membangkitkan serta memisahkan muatan positif dan negative bebas ke daerah – daerah lain dari sel surya, untuk membangkitkan tegangan dalam sel surya.
3. Memindahkan muatan- muatan yang terpisah tersebut ke terminal-terminal listrik dalam bentuk aliran tenaga listrik.

### **2.2.2. *Photovoltaic* tipe *Polycrystalline***

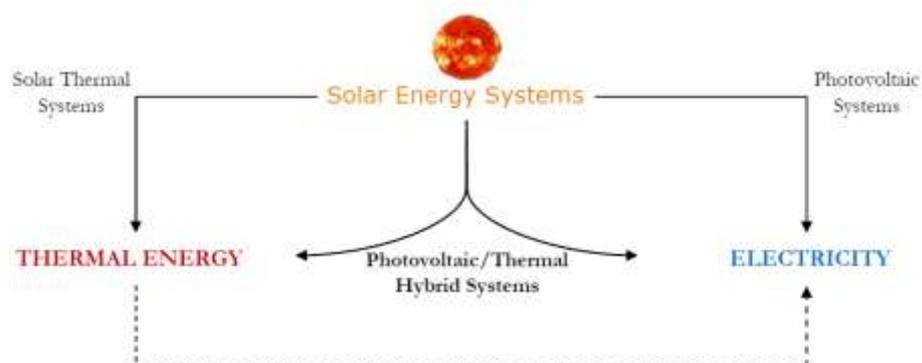
*Photovoltaic* tipe *Polycrystalline* pada gambar 2.1 didapat dengan cara melelehkan silikon dan menuangkannya kedalam bejana sehingga dapat dengan mudah terbentuk wafer silikon. Dengan cara ini silicon murni dapat diubah hampir seluruhnya kebentuk wafer silicon sehingga biayanya menjadi lebih efektif.



Gambar 2.1 *Photovoltaic* tipe *polycrystalline*

### 2.3 *Photovoltaic Thermal*

*Photovoltaic thermal* merupakan sebuah alat yang dapat mengkonversikan energi matahari menjadi energi listrik dan kalor. *Photovoltaic thermal* terdiri dari *photovoltaic* dan di belakangnya di letakkan pelat penyerap kalor. Plat di belakang *photovoltaic* ini sebagai pengurang kalor pada permukaan *photovoltaic*. Teknologi yang memanfaatkan energi surya dengan menggabungkan energi termal dan elektrik dinamakan *photovoltaic thermal*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.2, dimana energi matahari dapat dimanfaatkan menjadi energi *thermal* dan energi elektrik.



Gambar 2.2 Solar energi sistem

## 2.4 Kolektor Surya Plat Datar

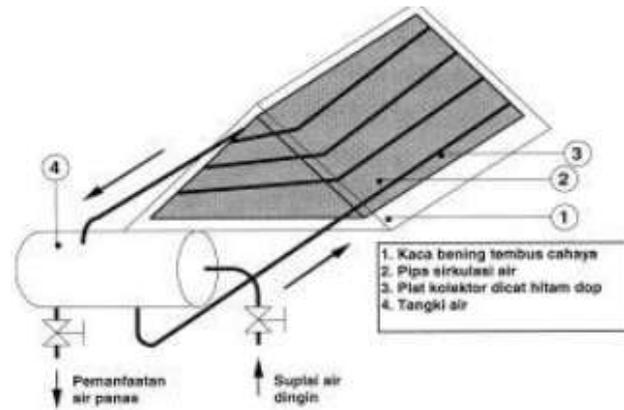
Kolektor surya merupakan bagian dari peralatan untuk mengubah energi radiasi matahari menjadi energi panas yang berfungsi untuk memanaskan air di dalam pipa-pipa kolektor, sehingga temperatur air akan meningkat dan terjadi konveksi alami berdasarkan efek termosipon karena adanya perbedaan massa jenis fluida.

### a. Kolektor Surya Prismatik

Keunggulan dari Gambar 2.3 yaitu kolektor surya tipe prismatik dalam kemampuannya untuk menerima energi radiasi matahari dari segala posisi matahari. Kolektor surya tipe prismatik dapat digolongkan menjadi kolektor plat datar dengan permukaan kolektor berbentuk prisma yang tersusun dari 4 bidang, 2 bidang berbentuk segi-tiga sama kaki dan dua bidang yang lain berbentuk segi-empat siku-siku. Warna hitam kusam pada permukaan kolektor tipe prisama berfungsi untuk menyerap radiasi surya yang datang dan mentransfer kalor yang diterima ke fluida kerja. Untuk menjaga agar tidak terjadi kerugian panas secara radiasi dan konveksi ke atmosfer, maka digunakan kaca pelindung sehingga terjadi efek rumah kaca. Pada bagian bawah plat kolektor surya diberi isolator atau peredam panas untuk meminimalisir kerugian panas pada bagian bawah plat kolektor. Dalam melakukan perhitungan untuk mendesain kolektor surya tipe prismatik maka data intensitas radiasi matahari yang terpenting adalah perhitungan geometris dari kolektor (luas permukaan kolektor, kemiringan kolektor terhadap intensitas radiasi

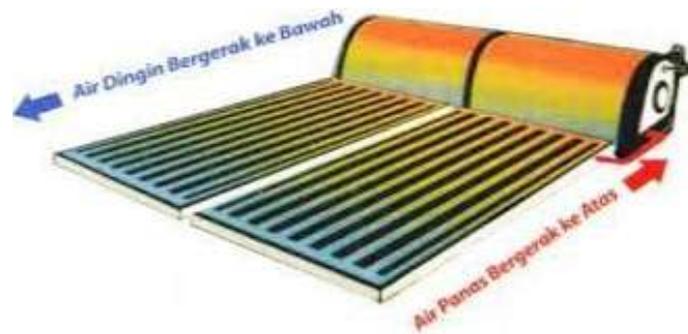
matahari langsung), efek termosipon pada pipa-pipa sirkulasi untuk menentukan kemampuan sistim melakukan konveksi alami, serta suhu masuk dan keluar pipa sirkulasi. Prinsip kerja dari sistim pemanas air dengan kolektor surya prismatic ini ditunjukkan dalam gambar 2.3 (James, 2000).

Air dingin yang berada dalam tangki penampung mengalir masuk ke kolektor melalui pipa sirkulasi dan akan mendapatkan transfer kalor baik secara konveksi maupun radiasi akibat terperangkapnya radiasi surya dalam kolektor yang dibatasi oleh plat dan kaca bening tembus cahaya. Karena adanya transfer kalor tersebut maka suhu air di dalam pipa yang ditimpa radiasi surya langsung akan lebih tinggi dibandingkan suhu air pada bagian pipa yang lain. Perbedaan suhu air di dalam pipa ini akan menimbulkan adanya perbedaan masa jenis dari air, dimana air yang bersuhu lebih tinggi memiliki masa jenis yang lebih kecil, sehingga memiliki kecenderungan untuk bergerak ke posisi yang lebih tinggi, demikian pula air di dalam pipa yang memiliki suhu lebih rendah memiliki masa jenis yang lebih besar dan cenderung untuk bergerak ke bawah sehingga terjadi peristiwa konveksi secara alami (James, 2000).



Gambar 2.3 Kolektor Surya Prismatik (Kristanto, 2001)

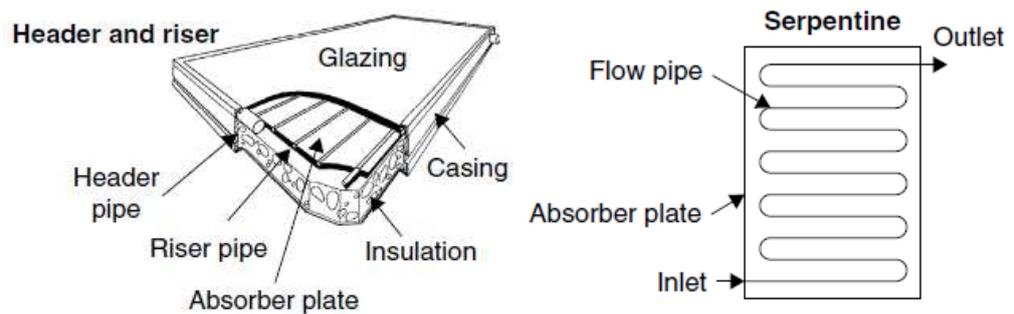
b. Kolektor Surya Plat Datar



Gambar 2.4 Kolektor Surya Plat Datar (Philip Kristanto, 2001)

Plat datar kolektor surya ditunjukkan pada Gambar 2.4. Ketika radiasi matahari melewati penutup transparan dan menembus sampai permukaan plat penyerap/ *absorber plate*, sebagian besar energi diserap oleh plat dan ditransfer pipa, yang akan terbawa oleh fluida yang mengalir dalam pipa untuk disimpan atau digunakan. Bagian bawah dari plat absorber dan kedua belah sisinya diisolasi untuk mengurangi kehilangan panas/ losses akibat perpindahan panas konduksi. Pipa dapat dilas ke plat menyerap/ *absorber plate* atau dapat

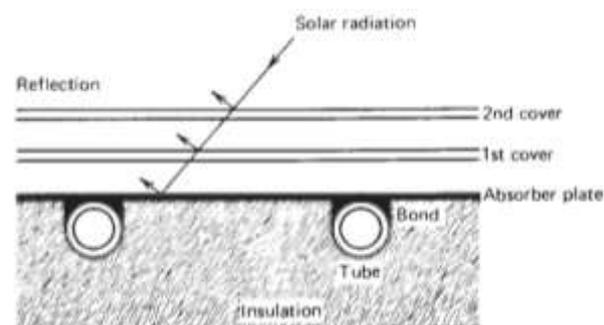
menjadi bagian yang menyatu (terintegrasi) dengan plat penyerap/*absorber plate*. Kedua ujung Pipa terhubung dengan pipa berdiameter lebih besar yang disebut *header*, *header* dan *riser collector* merupakan design untuk tipe plat datar collector susunan paralel. Selain susunan pipa paralel ada alternative susunan pipa seri atau *serpentine*. Tipe susunan pipa aliran seri / *serpentine* sangat baik karena tidak memiliki potensi masalah distribusi aliran yang tidak merata di berbagai tipe pipa. Fluida yang dipanaskan berupa cairan minyak , oli, dan udara.



Gambar 2.5 Kolektor surya pelat datar (Kalogirou, 2003)

Pada Gambar 2.5 dapat dilihat keuntungan utama dari sebuah kolektor surya plat datar adalah bahwa memanfaatkan kedua komponen radiasi matahari yaitu melalui sorotan langsung dan sebaran, tidak memerlukan tracking matahari dan juga karena desainnya yang sederhana, hanya sedikit memerlukan perawatan dan biaya pembuatan yang murah. Pada umumnya kolektor jenis ini digunakan untuk memanaskan ruangan dalam rumah, pengkondisian udara, dan proses-proses pemanasan dalam industri. (Duffie dan Beckman W.A., 1980).

Tipe ini dirancang untuk aplikasi yang membutuhkan energi panas pada temperatur di bawah  $100^{\circ}\text{C}$ . Spesifikasi tipe ini dapat dilihat dari gambar 2.6 dimana *absorber*-nya yang berupa plat datar yang terbuat dari material dengan konduktivitas thermal tinggi, dan dilapisi dengan cat berwarna hitam. Kolektor plat datar memanfaatkan radiasi matahari langsung dan terpencar (*beam* dan *diffuse*), tidak membutuhkan pelacak matahari, dan hanya membutuhkan sedikit perawatan. Aplikasi umum kolektor tipe ini antara lain digunakan untuk pemanas air, pemanas gedung, pengkondisian udara, dan proses panas industri. Komponen penunjang yang terdapat pada kolektor plat datar antara lain; *transparent cover*, *absorber*, insulasi, dan kerangka/*frame*.



Gambar 2.6 Distribusi temperatur pada Plat datar  
(Duffie dan Beckman W.A., 1991)

Sebagian dari energi yang datang diserap oleh plat yang kemudian ditransfer melalui perpindahan konduksi sepanjang plat ke area pipa. Salah satu alternatif desain plat pemanas pada plat datar



konduktifitas *thermal* yang berbeda hal ini dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini:

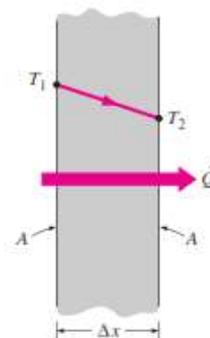
Tabel 2.1 Konduktivitas thermal bahan ( $k$ )

Bahan logam	Konduktivitas termal bahan ( $k$ )	
	W/m .°C	Btu/h.ft.°C
Perak (murni)	410	273
Tembaga (murni)	385	223
Aluminium (murni)	202	117
Nikel (murni)	93	54
Besi (murni)	73	42
Baja karbon, 1% C	43	25
Timbal (murni)	35	20.3
Baja krom – nikel (18% Cr, 8% Ni)	16.3	9.4

Sumber : Hotman, 1993

## 2.6 Perpindahan panas konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan panas di dalam satu media (padat, cair dan gas). Konduksi dapat digambarkan seperti pada gambar 2.8 sebagai proses perpindahan energi dari energi yang lebih besar ke bagian energi yang lebih kecil yang disebabkan kedua bagian saling berinteraksi, atau antara media-media yang berlainan yang bersinggungan secara langsung.



Gambar 2.8 Perpindahan panas secara konduksi (Cengel, 2007)

Laju aliran secara konduksi dapat dijabarkan dalam suatu persamaan yang dinyatakan dengan hukum Fourier (J. P Holman., 1997), yaitu:

$$q_{kond} = -KA(dt/dx) \quad \dots(2.1)$$

Dimana :

$q_{kond}$ : Laju perpindahan panas konduksi, (W)

$K$  : Konduktivitas thermal, (W/m.K)

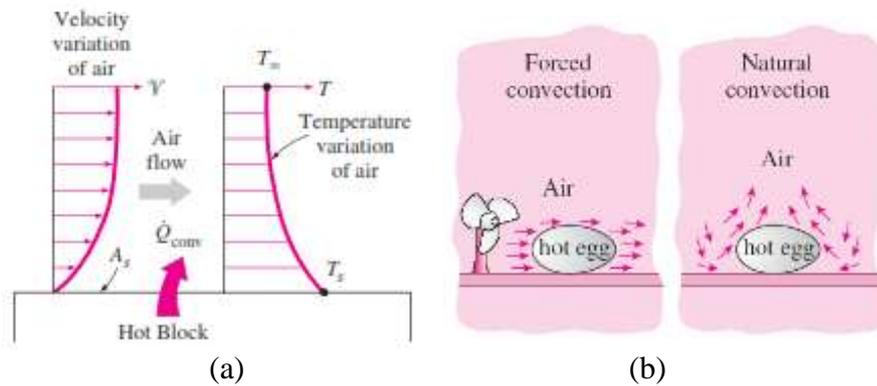
$A$  : Luas penampang tegak lurus pada aliran panas, (m<sup>2</sup>)

$dt/dx$ : Gradien temperatur dalam arah aliran panas

## 2.7 Perpindahan panas konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah suatu proses perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir disekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (cair/gas). Panas secara konveksi menurut cara pergerakannya dibagi dua bagian yaitu :

1. Konveksi alamiah (*natural convection*) pada gambar 2.9a terjadi apabila gerakan pencampuran berlangsung semata-mata akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan oleh gradien massa jenis.
2. Konveksi paksa (*forced convection*) pada gambar 2.9b terjadi apabila gerakan pencampuran di sebabkan oleh suatu alat dari luar seperti pompa atau kipas.



Gambar. 2.9 (a) Perpindahan panas konveksi dari permukaan panas ke udara sekitar, (b): Proses perpindahan panas konveksi paksa dan konveksi alami (Cengel, 2007).

Pada umumnya, perpindahan panas dengan cara konveksi antara suatu permukaan dengan suatu fluida dapat dihitung dengan suatu persamaan (J. P Holman., 1997), yaitu:

$$q_c = hA(T_w - T_f) \quad \dots \quad (2.2)$$

Dimana :

$q_c$  : Laju perpindahan panas konveksi, (W)

$A$  : Luas permukaan perpindahan panas, (m<sup>2</sup>)

$h$  : Koefisien perpindahan panas konveksi, (W/m<sup>2</sup>.K)

$T_f$  : Temperatur fluida, (K)

$T_w$  : Temperatur dinding, (K)

## 2.8 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran/sinaran/radiasi gelombang elektromagnetik, tanpa memerlukan media perantara, oleh karenanya proses perpindahan panas radiasi dapat mengalir dari benda bersuhu tinggi menuju ke suatu benda yang bersuhu lebih rendah pada ruangan terpisah. Laju pancaran radiasi pada suatu permukaan dapat digunakan persamaan sebagai berikut (J. P Holman., 1997):

$$q_r = \varepsilon\sigma A(T^4) \quad \dots (2.3)$$

Dimana :

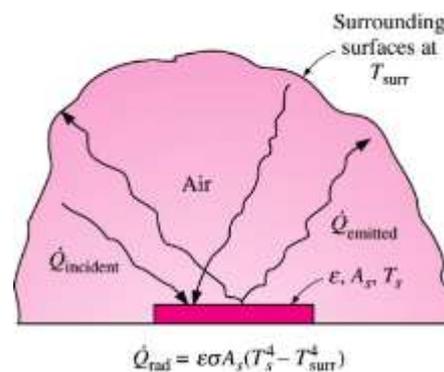
$q_r$  : Laju perpindahan kalor radiasi, (W)

$\varepsilon$  : Emisivitas benda,

$\sigma$  : Konstanta Stefan-Boltzmann,  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K}^4)$

$T^4$  : Perpindahan temperatur, (K)

$A$  : Luas permukaan bidang, ( $\text{m}^2$ )



Gambar 2.10. Perpindahan panas radiasi antara sebuah permukaan dan permukaan sekitar (Cengel, 2007).

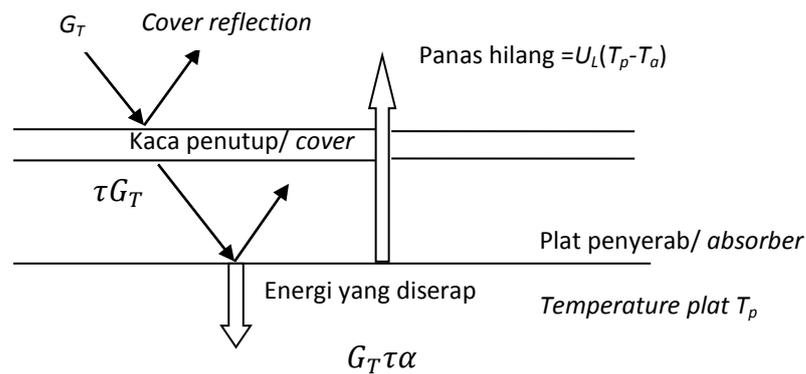
Pada kenyataannya pada Gambar 2.10, permukaan bukan merupakan pemancar atau pun penyerap yang sempurna dari radiasi

*thermal*. Permukaan tersebut ditandai oleh fraksi-fraksi dari jumlah ideal yang dipancarkan ( $\epsilon$ , emisivitas) dan diserap ( $\alpha$ , absorpsivitas). Perpindahan panas yang terjadi dalam sebuah kolektor surya adalah perpindahan panas radiasi dari plat penyerap ke plat penutup kaca.

Radiasi *thermal* adalah radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh permukaan sebuah benda berdasarkan temperaturnya yang melalui ruangan dengan kecepatan cahaya. Radiasi thermal akan dipengaruhi oleh panjang gelombang dan arahnya. Namun dengan definisi bahwa benda hitam adalah penyerap radiasi yang sempurna, maka radiasi yang diserap pada benda hitam tidak dipengaruhi oleh panjang gelombang atau arah insiden radiasi.

## **2.9 Persamaan Dasar Keseimbangan Energi *Flat Plate Collector***

Performan kolektor surya digambarkan dengan keseimbangan energi yang menunjukkan distribusi energi surya datang kemudian dikonversi menjadi energi yang berguna dan panas yang hilang/*thermal losses*. Pada kondisi *steady state*, jumlah nilai panas berguna dikirim oleh kolektor surya sama dengan jumlah energi panas yang diserap oleh fluida dikurangi dengan panas yang hilang/*losses* dari permukaan ke lingkungan.



Gambar 2.11. Radiasi masuk dan *heat losses* pada kolektor plat datar.

Dari Gambar 2.11 radiasi panas yang diserap adalah  $G_T \tau \alpha$ , energi panas yang hilang dari kolektor ke lingkungan disebabkan konduksi, konveksi, dan radiasi dapat direpresentasikan dengan koefisien kehilangan panas menyeluruh ( $U_L$ ).  $T_p$  adalah temperatur plat, dan  $T_a$  merupakan temperatur lingkungan.

Radiasi matahari diserap oleh kolektor per satuan luas *absorber*  $S$  adalah perbedaan antara radiasi matahari datang dan kerugian optik. Energi panas yang hilang dari kolektor ke lingkungan dengan konduksi, konveksi, dan radiasi dapat direpresentasikan sebagai produk dari koefisien perpindahan panas  $U_L$  waktu yang berbeda antara temperatur tengah *plat absorber*  $T_{pm}$  dan suhu lingkungan  $T_a$ . Dalam kondisi *steady* output energi yang berguna dari kolektor dengan luas penampang  $A_c$  adalah perbedaan antara radiasi matahari diserap dan kehilangan panas/ *thermal losses*. (Duffie John dan William A. Beckman, 1980)

$$Q_U = A_c [S - U_L (T_{pm} - T_a)] \quad \dots\dots(2.4)$$

Yang menjadi permasalahan pada persamaan di atas adalah temperatur plat *absorber* rata-rata sulit untuk dihitung atau diukur karena merupakan fungsi dari desain kolektor, surya insiden radiasi, dan kondisi fluida masuk. Oleh karena itu perhitungan persamaan diatas dapat dinyatakan saat temperatur fluida masuk dan parameter yang disebut faktor penghapus/ *removal factor* kolektor panas, yang dapat dievaluasi secara analitis dari prinsip-prinsip dasar atau diukur secara eksperimen. Oleh karena itu persamaan untuk panas berguna dari kolektor menjadi (Kalogirou, 2003):

$$Q_U = A_c F_r [G_t (\alpha \tau) - U_L (T_{fi} - T_a)] \quad \dots\dots(2.5)$$

Dimana :

$A_c$  : Luas kolektor ( $m^2$ )

$F_r$  : *Removal Factor* pemindahan panas kolektor

$U_L$  : koefisien kehilangan panas menyeluruh kolektor ( $Watt/m^2.K$ )

$T_{fi}$  : temperatur fluida masuk (K)

$T_a$  : temperatur udara lingkungan (K)

Energi berguna juga dapat dihitung menggunakan temperatur fluida rata-rata ( $T_{fm}$ ) persamaan sebagai berikut:

$$Q_U = A_c F' [(\tau \alpha)_e S - U_L (T_{fm} - T_a)] \quad \dots (2.6)$$

Untuk nilai energi berguna yang diberikan kolektor ke fluida dapat dicari menggunakan

$$Q_U = \dot{m}C_p(T_{fo} - T_{fi}) \quad \dots (2.7)$$

Efisiensi performan sebuah kolektor didefinisikan dengan rasio energi yang berguna berguna selama periode waktu tertentu terhadap energi surya yang datang/*incident* radiasi selama periode waktu yang sama:

$$\eta = \frac{\int Q_u dt}{A_c \int G_T dt} \quad \dots (2.8)$$

Pada kondisi konstan selama periode tertentu, efisiensi dapat dihitung dengan persamaan:

$$\eta = \frac{Q_u}{I_T A_c} \quad \dots (29)$$

Dimana :

- $\eta$  : efisiensi
- $Q_u$  : energi berguna
- $I_T$  : *incident solar radiation*
- $A_c$  : Luas kolektor

Analisa nilai factor efisiensi plat ( $F'$ ) dan *heat factor removal* ( $F_R$ ) untuk kolektor surya tipe *serpentine* akan dipengaruhi oleh jumlah belokan pipa yang akan dipisahkan menjadi beberapa segment. Persamaan *heat factor removal* ( $F_R$ ) pada tiga parameter tak berdimensi  $F_1$ ,  $F_2$ , dan  $F_3$  (untuk parameter  $F_4$ ,  $F_5$ , dan  $F_6$  adalah fungsi dari  $F_2$ ) dapat diperoleh dengan persamaan berikut [Duffi, 1981):

$$F_R = F_1 F_2 F_5 \left[ \frac{2F_4}{F_6 \exp\left[-\sqrt{1-F_2^2/F_3}\right] + F_5} - 1 \right] \quad \dots (2.10)$$

Persamaan untuk parameter  $F_1$  sampai dengan  $F_6$ :

$$F_1 = \frac{k}{U_L W} \frac{kR(1+\gamma)^2 - 1 - \gamma - kR}{[kR(1+\gamma) - 1]^2 - (kR)^2} \quad \dots (2.11)$$

$$F_2 = \frac{1}{kR(1+\gamma)^2 - 1 - \gamma - kR} \quad \dots (2.12)$$

$$F_3 = \frac{\dot{m}C_p}{F_1 U_L A_c} \quad \dots (2.13)$$

$$F_4 = \left( \frac{1 - F_2^2}{F_2^2} \right)^{1/2} \quad \dots (2.14)$$

$$F_5 = \frac{1}{F_2} + F_4 - 1 \quad \dots (2.15)$$

$$F_6 = 1 - \frac{1}{F_2} + F_4 \quad \dots (2.16)$$

$$k = \frac{(k\delta U_L)^{1/2}}{\sinh\left[(W-D)(U_L/k\delta)^{1/2}\right]} \quad \dots (2.17)$$

$$\gamma = -2 \cosh\left[(W-D)\left(\frac{U_L}{k\delta}\right)^{1/2}\right] - \frac{DU_L}{k} \quad \dots (2.18)$$

$$R = \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{fi}} \quad \dots (2.19)$$

Persamaan  $F_R$  diatas valid untuk berapapun jumlah belokan/*elbow* jika nilai  $\dot{m}C_p/F_1 U_L A_c$  lebih besar dari 1.

Dimana :

$L$  : Panjang antara segment satu *serpentine* (m)

$W$  : Jarak antara pipa (m)

$N$  : Jumlah segments

$\delta$  : tebal plat (mm)

$D$  : diameter luar pipa (mm)

$D_i$  : diameter luar pipa (mm)

$K$  : Konduktifitas *thermal* plat ( $W/m \text{ } ^\circ C$ )

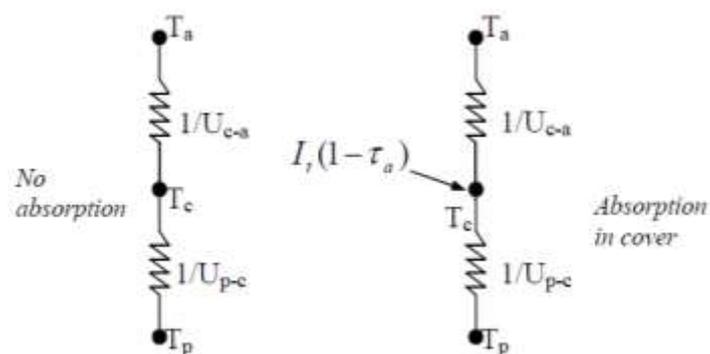
$U_L$  : Koefisien kehilangan panas menyeluruh ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

$h_{fi}$  : Koefisien perpindahan panas dari fluida ke pipa ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

$C_b$  : Bond conductance ( $W/m \text{ } ^\circ C$ )

## 2.10 Koefisien efektif *transmittance-absorptance* $(\tau\alpha)_e$

Koefisien efektif *transmittance-absorptance*  $(\tau\alpha)_e$  adalah suatu pemodelan yang berdasarkan pemodelan penyerapan radiasi matahari oleh kaca penutup dan nilainya sedikit lebih besar dari nilai  $(\tau\alpha)$ . Sebagaimana terlihat pada gambar 2.12, energi surya yang diserap oleh kaca adalah  $I_t(1 - \tau_a)$ .



Gambar 2.12. Jaringan *thermal* kerugian untuk kolektor satu kaca penutup dengan dan tanpa *absorptance* di cover.

## 2.11 Koefisien kerugian panas menyeluruh

Koefisien kerugian panas menyeluruh adalah fungsi secara kompleks dari rancangan konstruksi dan kondisi pengoperasian sebuah kolektor. Kerugian kalor dari kolektor terjadi pada sisi bagian atas, bawah dan samping kolektor, yang digambarkan pada persamaan berikut (Kalogirou, 2003).

$$U_L = U_t + U_b + U_e \quad \dots\dots(2.20)$$

Dimana:

$U_L$  = koefisien kerugian kalor total;

$U_t$  = koefisien kerugian kalor bagian atas;

$U_b$  = koefisien kerugian kalor bagian bawah;

$U_e$  = koefisien kerugian kalor bagian tepi/ samping.

Kerugian kalor bagian atas kolektor adalah panas yang hilang dari bagian atas plat *absorber* karena adanya proses perpindahan panas konveksi alami dan radiasi dari plat kolektor bagian dalam ke permukaan kaca. Dan panas ini dikonduksikan melalui kaca ke permukaan luarnya yang kemudian dipindahkan ke atmosfer luar secara konveksi dan radiasi. Untuk kerugian kalor secara konduksi pada plat kolektor dapat diabaikan karena tebal cover dan sirip plat *absorber* kecil sehingga perbedaan temperatur tidak begitu signifikan.

Nilai koefisien kerugian kalor bagian atas untuk kolektor dengan 2 (dua) lapis kaca/ cover secara teori dapat didekati dengan persamaan berikut (2.21)

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3} \quad \dots (2.21)$$

Tahanan kaca penutup/ cover terhadap lingkungan  $R_1$  dan tahanan antara 2 (dua) kaca penutup dapat diperoleh dengan persamaan :

$$R_1 = \frac{1}{h_w + h_{r,c2-a}} \quad \dots (2.22)$$

$$R_2, R_3 = \frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} \quad \dots (2.23)$$

Dimana :

$U_t$  : Kerugian kalor bagian atas

$R_1$  : Tahanan/ resistance kaca terhadap lingkungan

$R_2, R_3$  : Tahanan antara kaca/ cover

$h_w$  : Koefisien perpindahan panas konveksi

$h_{r,c2-a}$  : Koefisien perpindahan panas radiasi antara kaca

$h_{c,p-c}$  : Koefisien perpindahan panas konveksi antara plat dan kaca

$h_{r,p-c}$  : Koefisien perpindahan panas radiasi antara plat dan kaca

Untuk kolektor yang menggunakan satu kaca penutup/ cover persamaan (2.24) menjadi:

$$U_t = \left( \frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} + \frac{1}{h_w + h_{r,c-a}} \right)^{-1} \quad \dots (2.24)$$

Kerugian kalor pada bagian bawah terjadi secara konduksi dari plat *absorber* ke panel bagian bawah, dan untuk kerugian panas konveksi

dan radiasi diabaikan sebab nilainya lebih kecil dibandingkan kerugian panas konduksi.

Nilai koefisien kerugian kalor bagian bawah dapat diperoleh dengan persamaan 2.25.

$$U_b = \frac{K}{L} \quad \dots (2.25)$$

dimana:

$K$  = konduktivitas thermal insulator bagian bawah

$L$  = tebal insulator.

kerugian kalor dari bagian tepi kolektor dapat diperkirakan dengan asumsi satu dimensi aliran panas ke samping di sekeliling sistem kolektor. Kerugian melalui bagian samping harus dirujuk terhadap luas kolektor  $A_c$ . sehingga kerugian kalor melau bagian tepi dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$U_e = \frac{(UA)_{edge}}{A_c} \quad \dots(2.26)$$

Dimana:

$(UA)_{edge}$  : Luas Koefisien panas hilang dari samping

$A_c$  : Luas permukaan kolektor ( $m^2$ )

## 2.12 Pengujian Efisiensi Pada Kondisi *Steady State*

Pada prakteknya sulit untuk mendapatkan radiasi surya yang seragam pada saat pengujian dilakukan di luar dengan radiasi langsung dari matahari, dikarenakan iklim cuaca yang dapat berubah-ubah setiap saat. Untuk pengujian efisiensi dari rancangan kolektor surya ini menggunakan simulator radiasi surya, pengujian dilakukan pada kondisi *steady state*.

Prosedur pengukuran pada kondisi *steady state* dilakukan berdasarkan EN 12975 bab. 6 bagian 6.1.5. Berdasarkan standar tersebut untuk pengujian indoor menggunakan simulator radiasi surya, kolektor surya diuji menggunakan media simulator lampu. Lampu simulator harus dapat menghasilkan penyinaran sampai ke celah/lobang kolektor paling sedikit  $700 \text{ Wm}^{-2}$ . Nilai diantara  $300 \text{ Wm}^{-2}$  sampai dengan  $1000 \text{ Wm}^{-2}$  juga dapat digunakan untuk pengujian khusus.

Berikut tabel selisih parameter diukur yang diizinkan saat pengujian.

Tabel. 2.2 Selisih parameter yang diizinkan saat pengujian

Parameter	Selisih yang diizinkan dari nilai tengah
Sinar surya diuji ( <i>global</i> )	$\pm 50 \text{ Wm}^{-2}$
Temperatur udara sekitar ( <i>indoor</i> )	$\pm 1 \text{ K}$
Temperatur udara sekitar ( <i>outdoor</i> )	$\pm 1,5 \text{ K}$
Laju aliran massa fluida	$\pm 1 \%$
Temperatur fluida pada saat masuk kolektor	$\pm 0,1 \text{ K}$

Sumber: EN 12975-2. 2006. *Thermal solar system and components solar collector part.*

Sudut kemiringan insiden simulator harus diatur minimal 80% dari radiasi surya yang diuji, di mana variasi sudut *PV/T* minimal  $\pm 2\%$  dari nilai pada kondisi normal. Untuk *PV/T* plat datar, kondisi ini biasanya akan sesuai saat kemiringan 80% dari simulasi radiasi surya yang diterima pada setiap titik kolektor yang diuji.

*PV/T* harus dipasang tidak kurang dari 0,5 m di atas permukaan lantai. Aliran udara panas, seperti yang melewati dinding bangunan, tidak diizinkan untuk melewati *PV/T*. Dan jika *PV/T* diuji di atap sebuah gedung, harus terletak minimal 2 meter dari tepi atap. Salah satu pengujian jika memungkinkan temperatur masuk ditetapkan pada kondisi  $3^{\circ}\text{K}$  dari temperatur sekitar. Jika air sebagai fluida perpindahan panas, suhu maksimum harus paling sedikit sekitar  $80^{\circ}\text{C}$ .

Kondisi lampu simulator pada umumnya akan menghasilkan nilai radiasi yang berbeda pada waktu tertentu, variasi waktu biasanya diebabkan oleh supply listrik yang fluktuasi, oleh karena itu pengujian hendaknya dilakukan setelah lampu beroperasi dalam kondisi stabil, umumnya lampu akan beroperasi dalam kondisi stabil setelah menyala lebih dari 30 menit. Multimeter dapat digunakan untuk mengukur radiasi dari solar simulator.

### 2.13 Prosedur Pengujian *time constant*

Pengujian dengan waktu konstan dilakukan untuk menentukan data pada periode waktu tertentu. Perpindahan panas pada fluida yang disirkulasikan pada *PV/T* harus sama dengan laju aliran yang digunakan saat pengujian efisiensi *thermal*, dan temperatur perpindahan panas fluida masuk ditetapkan kurang dari temperatur udara sekitar dan di atas temperatur lingkungan. Ketika kondisi *steady state* telah tercapai, penutup/ *cover* dilepas dan pengukuran berlanjut sampai kondisi kembali *steady state* lagi.

Tujuan pengujian ini, kondisi *steady state* diasumsikan tetap ada ketika suhu keluar fluida bervariasi kurang dari 0,05 K per menit. Waktu  $T_c$  konstan *PV/T* didefinisikan sebagai waktu yang telah dilalui antara penutup/*cover* dilepas dan titik di mana suhu keluar kolektor naik ke 63,2% dari total peningkatan.

### 2.14 Multiple Regresi linier

Regresi linier adalah salah satu teknik analisis statistik yang digunakan untuk mengestimasi hubungan fungsional di antara dua variable atau lebih, yaitu antara variabel terikat/ *dependen variable* disebut respon yang dilambangkan “*Y*” dengan satu atau lebih variabel bebas/ *independen variable* disebut penduga/ *predictor* dengan lambang “*X*”. Apabila hanya menggunakan satu variabel bebas untuk memprediksi respons, disebut sebagai regresi linier sederhana,

sedangkan apabila terdapat lebih dari 1 variabel bebas, disebut sebagai regresi linier berganda (*multiple linear regression*).

Tujuan analisis regresi linier berganda adalah untuk mengukur intensitas hubungan antara dua variabel atau lebih dan membuat prediksi perkiraan nilai atas. Secara umum model regresi linier berganda untuk populasi adalah sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n \quad \dots(2.37)$$

Dimana :

Y = variabel terikat/ *depend variable*

$\beta_0$  = Taksiran bagi parameter konstanta

$\beta_1, \beta_2, \beta_n$  = Taksiran bagi parameter koefisien regresi

$X_1, X_2, X_n$  = variabel bebas/ *independen variable*

## 2.15 Komputasi Dinamika Fluida (CFD)

*Computational fluid dynamics* atau sekarang yang lebih dikenal sebagai *CFD* adalah sekumpulan metode yang menggunakan komputer untuk melakukan simulasi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena aliran lainnya. Komputasi Dinamika Fluida (*CFD*) Dinamika fluida adalah salah satu disiplin ilmu yang mengkaji perilaku dari zat cair dan gas dalam keadaan diam ataupun bergerak dengan interaksinya pada benda padat. Dinamika fluida sering dikatakan sebagai persoalan fisika klasik terbesar yang belum

terpecahkan. Kajian dinamika fluida membahas tentang berbagai karakteristik fluida, maka perlu gambaran karakteristik – karakteristik secara kualitatif dan kuantitatif. Aspek kualitatif berfungsi untuk mengidentifikasi sifat dasar atau jenis dari karakteristik tersebut (seperti panjang, waktu, tegangan dan kecepatan), sementara aspek kuantitatif memberikan ukuran numerik dari karakteristik tersebut.

Sistem suatu aliran dinamis atau dinamika fluida membutuhkan penyelesaian bantuan menggunakan komputasi dinamika fluida/ computation fluida dinamakan (*CFD*).

### **2.16 ANSYS**

Dalam bidang rekayasa dan *engineering*, umumnya digunakan piranti lunak untuk membantu penyelesaian kasus yang telah ditentukan. Salah satu *software* yang biasa digunakan dalam bidang desain dan analisis adalah *Ansys* yang hingga saat ini sudah di-*realease* mencapai versi 19. *Ansys* merupakan produk yang berkesinambungan buatan *Ansys Inc.*'s.

Berbagai analisis yang bisa dilakukan dengan *software Ansys*, misalnya pada analisis aliran dan karakteristik fluida. Secara umum, analisis yang bisa dilakukan oleh *Ansys* adalah analisa struktur, *thermal*, *fluids/CFD*, *couplefield* dan *electromagnetic's* serta berbagai kasus *engineering* lainnya. Pada penelitian ini *software* yang digunakan dalam melakukan simulasi secara numerik adalah *Ansys 18.1* tipe *fluid flow-fluent* ([www.Ansys.com](http://www.Ansys.com), 2017).

### 2.17 Daya Listrik

Daya listrik adalah kemampuan atau kapasitas untuk melakukan suatu usaha atau energi. Besarnya daya ditulis dengan notasi huruf  $P$  dengan satuan watt ( $W$ ). Nama Watt diambil dari seorang ahli fisika dan mesin bangsa Inggris bernama James (1736 -1810).

$$P = I \times V \quad \dots (2.38)$$

Keterangan:

$P$  = Daya Listrik (Watt)

$V$  = Tegangan Listrik (Volt)

$I$  = Arus Listrik (Ampere)

Efisiensi Elektrik  $PV/T$  di pengaruhi oleh Arus maksimal dan Tegangan maksimal yang di capai dan berbanding terbalik dengan Radiasi dan Luas penampang, hal ini dapat dituliskan dengan rumus sebagai beriku;

$$\eta = \frac{I_m \times V_m}{GA_c} \quad \dots 2.39$$

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Termodinamika Teknik Mesin Universitas Lampung. Sedangkan waktu penelitian dilakukan pada rentang waktu pada bulan Februari 2017 hingga bulan Januari 2018.

#### 3.2 Alat dan bahan yang digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Termokopel*

Termokopel adalah alat untuk mengukur temperatur fluida masuk, fluida keluar, temperatur lingkungan dan temperatur permukaan *photovoltaic*. *Termokopel* yang digunakan dalam penelitian ini ialah *termokopel* tipe K. Sensor *termokopel* tipe K ini memiliki batas temperatur antara -200 °C sampai 1200 °C. Termokopel tipe K ini memiliki bahan dasar Chromel dan Alumel yang mempunyai sensitivitas rata-rata 41  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .



Gambar. 3.1 *Termokopel K*

## 2. *Multi chanel thermometer TM-947SD*

*Multi chanel thermometer TM-947SD* adalah alat untuk menerjemahkan sinyal analog dari *termokopel K* sensor menjadi sinyal digital yang bisa kita pahami dan merekam data temperatur yang terukur.



Gambar. 3.2 *Termometer digital TM-947SD*

### 3. *Solarimeter*

*Solarimeter* adalah jenis pyranometer, yaitu alat ukur yang digunakan untuk mengukur radiasi matahari. *Solarimeter* ini diletakkan di bagian atas *photovoltaic hybrid* dengan tujuan agar intensitas radiasi solar simulator yang diterima oleh sensor solarimeter sama dengan intensitas radiasi solar simulator yang diterima oleh *photovoltaic hybrid*.



Gambar 3.3 *Solarimeter*

### 4. *Solar charge controller*

*Solar Charge Controller* adalah suatu alat yang berfungsi menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan (*OverCharge*). Baterai yang digunakan 12 Volt sedangkan untuk pengisian membutuhkan tegangan (*Charge*) sekitar 13-14,8 volt untuk dapat terisi penuh.



Gambar 3.4 *Solar charge controller*

#### 5. Pompa sirkulasi

Pompa sirkulasi adalah pompa yang digunakan untuk mensirkulasikan fluida yang masuk ke dalam pipa kolektor surya adalah pompa aquarium.



Gambar 3.5 Pompa sirkulasi

#### 6. Solar simulator

Solar simulator adalah lampu yang digunakan sebagai sumber radiasi pengganti matahari. Lampu yang digunakan adalah *Philips Halolite Floodlight – QVF135* lengkap dengan lampu *halogen R7s* daya 500 Watt. Jumlah lampu yang digunakan sebanyak 12 buah dengan daya maksimum  $856.6 \text{ W/m}^2$ .



Gambar 3.6 Lampu sebagai simulator sumber panas

## 7. Baterai

Baterai berfungsi penyimpan daya dari *photovoltaic*. Di dalam penelitian ini baterai difungsikan sebagai penyimpan daya keluaran pada *photovoltaic* dan sebagai beban dalam pengukuran arus yang keluar pada *photovoltaic*. Tegangan baterai yang digunakan dalam penelitian ini adalah 12 volt



Gambar 3.7 Baterai 12 Volt

## 8. *Flow Meter* sensor

*Flow meter* sensor berfungsi sebagai alat untuk mengukur laju aliran air massa fluida yang mengalir di dalam pipa. *Flow meter sensor* ini terdiri dari alat bantu utama dan sekunder. *Primary device* atau alat bantu utama berfungsi untuk menghasilkan sinyal yang merespon terhadap aliran fluida. Sedangkan *secondary device* atau alat bantu sekunder menerima sinyal dari alat utama, menampilkan, merekam dan mentransmisikan sebagai hasil dari laju aliran (Ismail, 2016).



Gambar 3.8 *Flow* meter sensor

## 9. *Arduino Uno*

*Arduino uno* adalah alat untuk menerjemahkan bahasa mesin dari *flowmeter* sensor menjadi bahasa yang bisa kita pahami. Spesifikasi *arduino uno* menggunakan *ATMEGA328* sebagai Mikrokontrolernya, memiliki 14 pin I/O (*input/output*) digital dan 6 pin masukan analog.



Gambar 3.9 *Arduino Uno*

#### 10. *Photovoltaic solar thermal*

*Photovoltaic solar thermal* adalah benda uji yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari gabungan dari *photovoltaic* dan kolektor *thermal*.

*photovoltaic (ICA Solar)* memiliki spesifikasi sebagai berikut:

*Model: SR-156P-100*

Maksimum *Power (Pmax)* = 100 W

Maksimum *Power (Vmp)* = 17.6 V

Maksimum *Power Current (Imp)* = 4.26 A

*Open Circuit Voltage (Isc)* = 4.69 A

Nominal *Opening Cell Temp (NOCT)* =  $45 \pm 2^{\circ}\text{C}$

Maksimum *System Voltage* = 1000V

Maksimum *Series Fuse* = 11 A

Dimensi = 800 x 992 x 35 mm

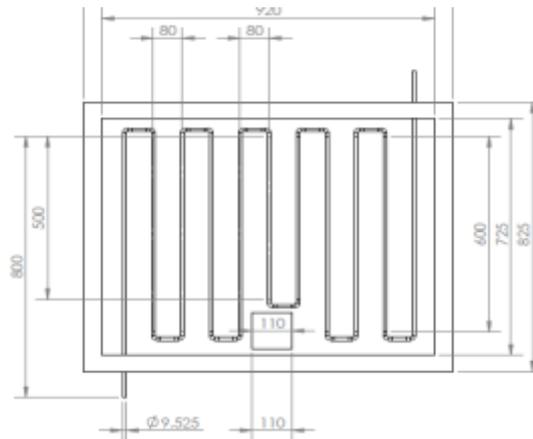
Standar kondisi tes	= 25°C
AM	= 1.5 A
<i>IRRADIANCE</i>	= 1000 W/m <sup>2</sup>

ICA solar		
Solar Photovoltaic Module Model: SR-156P-100		
Maximum Power	P <sub>max</sub>	100W
Maximum Power Voltage	V <sub>mp</sub>	17.6V
Maximum Power Current	I <sub>mp</sub>	4.25A
Open Circuit Voltage	V <sub>oc</sub>	21.6V
Short Circuit Current	I <sub>sc</sub>	4.65A
Nominal Operating Cell Temp	NOCT	45 ± 2°C
Maximum System Voltage		1000V
Maximum Series Fuse		11A
For field connections, use minimum No. 12AWG copper Wires insulated for a minimum 90°C		
Weight		5.8Kg
Dimension		600*382*35mm
Standard Test Condition		Temp=25°C
AM1.5 IRRADIANCE=1000W/m <sup>2</sup>		

Gambar 3.10 Spesifikasi *photovoltaic*



Gambar 3.11 Rancangan gabungan kolektor termal aliran *serpentine* dengan *photovoltaic*



Gambar 3.12 Pipa aliran *serpentine* dengan jarak antar pipa 80 mm

Gambar 3.11 dan 3.12 menampilkan rancangan *PV/T* yang dilengkapi dengan dimensi dalam satuan panjang mili meter. *Photovoltaic thermal* pada Gambar 3.11 dan 3.12 memakai rancangan pipa kolektor tipe *serpentine* dengan  $(W) = 80$  mm. Pemakaian pipa tipe *serpentine* sangat baik karena tidak memiliki potensi masalah dalam distribusi aliran yang tidak merata. James Alan,dkk (2015) melakukan pengujian unjuk kerja kolektor surya tipe *serpentine* dan tipe pararel dengan hasil unjuk kerja kolektor surya tipe *serpentine* lebih baik.



Gambar 3.13 *Photovoltaic*



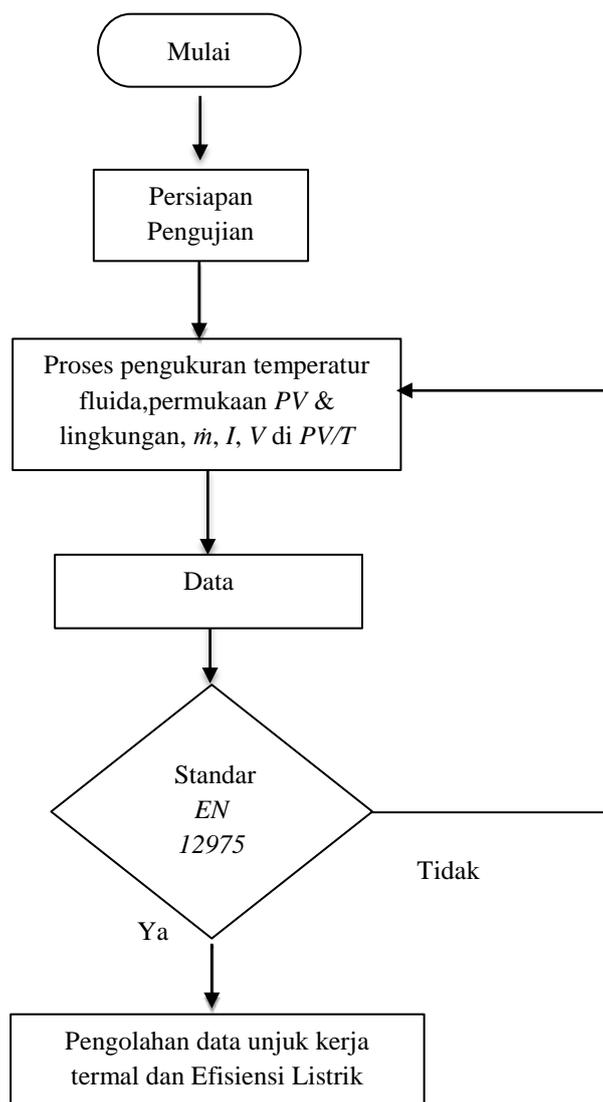
Gambar 3.14 *Photovoltaic thermal*

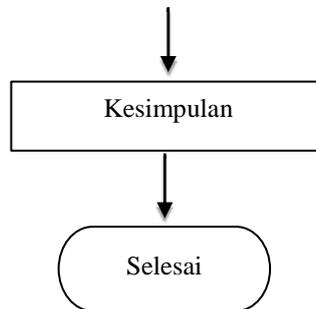
Gambar 3.13 dan 3.14 merupakan hasil gabungan *photovoltaic* dan kolektor termal. Kolektor termal yang dipakai menggunakan penghantar media pelat aluminium dengan pipa tembaga. Penggunaan pelat aluminium dilakukan untuk menekan biaya produksi pembuatan kolektor termal serta karena daya hantar konduktifitas dan termal tidak berbeda jauh aluminium. Akan tetapi harga pelat tembaga dibandingkan pelat aluminium sangat berbeda.

Harga pelat tembaga dengan luas 2 m<sup>2</sup> dengan tebal 1 mm dijual seharga Rp 2.500.000,00, sedangkan pelat aluminium dengan luas 2 m<sup>2</sup> dengan tebal 1 mm dijual seharga Rp 60.000,00. Perbandingan harga yang berselisih Rp 2.440.000,00 merupakan selisih yang cukup besar dengan konduktivitas dan termal tidak jauh, yaitu konduktifitas termal tembaga 385 W/m<sup>2</sup>, 223 Btu/h.ft.°C. Sedangkan konduktivitas termal aluminium 202 W/m<sup>2</sup>, 117 Btu/h.ft.°C.

### 3.3 Tahap Pengujian

Pengujian dilakukan berdasarkan standar *EN 12975-2* yang dipublikasikan oleh komite standarisasi Eropa/*Comite Europeenne de Normalization* (CEN) pada tahun 2001 yang kemudian direvisi pada tahun 2006. *EN 12975-2* adalah standar yang berkaitan dengan metode pengujian system panas surya dan komponen-komponen solar kolektor. Tahapan alur prosedur pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.16, dimana tahapan dimulai dengan mempersiapkan pengujian baik alat ukur dan *PV/T* yang hendak di uji. Setelah pengujian dipersiapkan pengujian dilanjutkan sampai mendapatkan kesimpulan. Diagram alur prosedur penelitian dapat di lihat lebih lengkap di Gambar 3.15 sebagai berikut:





Gambar 3.15 Diagram alur prosedur Penelitian

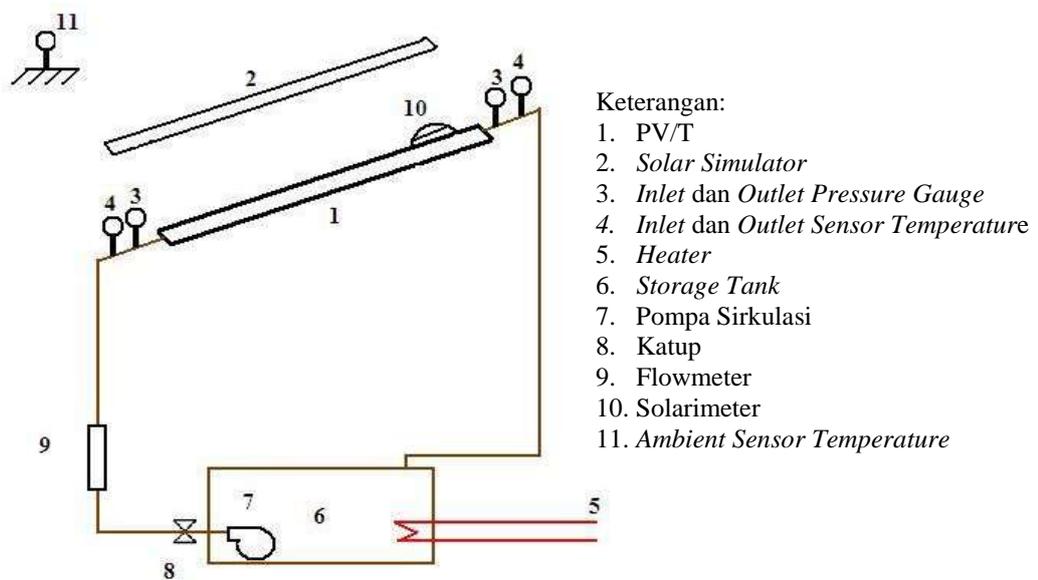
Pengujian unjuk kerja *thermal* pada kondisi *steady-state* menggunakan solar simulator.

1. Pengujian dilakukan pada 4 (empat) variasi temperatur fluida *inlet* ( $T_{fi}$ ) berbeda yakni mulai dari temperature 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 yang dapat ditangkap oleh *PV/T*.



Gambar 3.16 Pengukuran daya

4. Pengukuran *Solar Irradiation Simulator* disetiap pengujian menggunakan Solarimeter, dengan waktu pengkondisian sebelum pengujian selama 20 menit.
5. Pengukuran temperatur udara lingkungan.



Gambar 3.17 Skema pengujian

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian unjuk kerja kolektor surya *hybrid PV/T* pelat datar tipe aliran *serpentine* menggunakan standar pengujian thermal *EN 12975*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penerapan variasi temperatur fluida masuk di bawah dan di atas temperatur lingkungan tidak berpengaruh signifikan terhadap efisiensi zero pada kolektor surya *hybrid (PV/T)*.
2. Koefisien rugi-rugi kalor ketika temperatur fluida masuk di bawah temperatur lingkungan memiliki nilai lebih besar  $2.2 \text{ W/m}^2\text{K}$  jika dibandingkan dengan fluida masuk di atas temperatur lingkungan saat laju aliran massa fluida  $0.015 \text{ kg/s}$ .
3. Efisiensi elektrik lebih tinggi 1 % dengan temperatur fluida masuk di bawah temperatur lingkungan jika dibandingkan dengan fluida masuk di atas temperatur lingkungan saat laju aliran massa fluida  $0.015 \text{ kg/s}$ .
4. Efisiensi pada elektrik kolektor surya *hybrid (PV/T)* mengalami peningkatan sebesar 2.5 % dari efisiensi elektrik *photovoltaic* tanpa kolektor *thermal*.

5. Simulasi penyebaran *thermal* permukaan dan aliran massa fluida pada *PV/T* menggunakan simulasi *CFD* dapat mewakili uji eksperimen.

## 5.2 Saran

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka untuk pengembangan penelitian selanjutnya disarankan agar pabrikan *PV/T* dilakukan oleh *manufacture* industri, sehingga mengurangi besar kehilangan *thermal* dan dapat memaksimalkan kinerja *PV/T* dalam uji eksperimen.

## DAFTAR PUSTAKA

- Allan. James, D. Zahir. S.Siniska dan Mauricette. L., 2015. *Performance Testing Of Thermal and Photovoltaic Thermal Solar Collectors*, Inggris: School of Engineering and Design, Brunel University.
- Davide. Del Col, Andrea Padovan, Matteo Bortolato, 2013, *Thermal Performance of Flat Solar Collector with Sheet-Tube and Roll Bond Absorbers*, Canada: Elsevier Ltd.
- Duffie, J.A, dan Beckman, W.A., 1980, *Solar Engineeing of Thermal Processes*, Hobokem, NJ: John Wiley and Sons, New York.
- Dubey S., Sandhu G.S., Tiwari G.N. (2009) Analytical expression for electrical efficiency of PV/T hybrid air collector, *Applied Energy* 86: 697–705.
- EN 12975-2, 2006, *Thermal solar system and components solar collector part 2 test methods*, Brussels: CEN.
- Ismail, 2016, *Unjuk Kerja Kolektor Surya Pelat Datar Aliran Serpentine Berdasarkan Jenis Elbow dan Jarak Pipa*, Bandar Lampung: Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
- Joshi SV, Bokil RS, Nayak JK, (2005) *Test standards for thermosyphon – type solar domestic hot water system: review and experimental evaluation. Sol Energy*;78:781–98.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral “Strategi Pengolahan Energi Nasional dalam Menjamin keamanan ketersediaan Energi,”, 2010.
- Kerr MJ, Cuevas A. Generalized analysis of the illumination intensity vs. open – circuit voltage of PV modules. *Sol Energy* 2003; 76: 263–7.
- Khalifa AN, (1998) *Forced versus natural circulation solar water heaters: a comparative performance study, Renew Energy* 14(1–4):77–82.

- Kristanto, Philip. James Laeyadi, “ *Kolektor Surya Prismatik* ”. *Jurnal Teknik Mesin* Vol. 2, No. 1, April 2000 : 22 – 28.
- Lee DW, Sharma A, (2007) *Thermal performances of the active and passive water heating systems based on annual operation*. *Sol Energy*; 81: 207–215.
- Li M, Wang RZ, Luo HL, Wang LL, Huang HB, (2002) *Experiments of a solar flat plate hybrid system with heating and cooling*, *Appl Therm Eng* 22: 1445–1454.
- Partain LD, (1995) *Solar cells and their applications*. New York, USA: Wiley;p.1–48.
- Rahmat Subarkah (2010) *Studi Eksperimental Karakteristik Sel Surya Jenis Mono-Crystalline*. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Fisika*, ISSN: 2087-3433.
- N. Amrizal. dkk, 2012, *A dynamic model based on the piston flow concept for the thermal characterization of solar collector*, Barcelona: Elsevier Ltd.
- N. Amrizal. dkk, 2013, *Hybrid photovoltaic-thermal solar collector dynamic modeling*, Barcelona: Elsevier Ltd.
- Qianyu. Tang. dkk, 2011, *Serpentine Flat Plate Collector Thermal Performance Testing*, Switzerland: Elsevier Ltd.
- Susandi, A., I. Herlianti, M. Tamamadin, & Nurlela, I. 2008. Dampak perubahan iklim terhadap ketinggian muka laut di wilayah Banjarmasin. *Jurnal Ekonomi Lingkungan* 12(2).