

**PENINGKATAN UNJUK KERJA KOLEKTOR SURYA
PHOTOVOLTAIC/TERMAL (PV/T)
MENGUNAKAN SALURAN
PIPA PERSEGI**

(Skripsi)

Oleh:

DANAR SRI WAHYONO



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2020**

ABSTRAK

PENINGKATAN UNJUK KERJA KOLEKTOR SURYA PHOTOVOLTAIC/TERMAL (PV/T) MENGUNAKAN SALURAN PIPA PERSEGI

Oleh :
Danar Sri Wahyono

Pengembangan kolektor (PV/T) dilakukan demi untuk memperoleh peningkatan efisiensi dari panel surya, diantaranya dengan penggabungan kolektor termal pelat datar di bawah permukaan panel surya. Disamping itu, penggunaan absorber dengan saluran persegi panjang akan memudahkan dalam proses perakitan kolektor sekaligus memperluas bidang kontak. Pengembangan kolektor *hybrid* PV/T pada penelitian ini adalah menggunakan kolektor pelat datar saluran pipa persegi jenis aliran *serpentine* dengan material aluminium. Penelitian ini bertujuan untuk menguji unjuk kerja kolektor (PV/T) dengan acuan standar uji EN 12975 pada kondisi *steady state* dengan fluida kerja air. Parameter unjuk kerja adalah efisiensi termal, efisiensi elektrik serta *pressure drop* yang terjadi pada kolektor (PV/T).

Penelitian ini dilakukan di dalam ruangan menggunakan *solar simulator* dengan intensitas radiasi sebesar 960.0 W/m^2 dan empat variasi temperatur fluida masuk yaitu $27 \text{ }^\circ\text{C}$, $32 \text{ }^\circ\text{C}$, 37 ° dan $42 \text{ }^\circ\text{C}$. Selanjutnya laju aliran massa 0.01 kg/s dan pengujian dilakukan pada kondisi *steady* dengan lama pengujian kurang lebih 30 menit untuk setiap variasinya. Hasil dari penelitian ini yaitu PV/T dengan menggunakan saluran pipa persegi mampu menghasilkan efisiensi termal tertinggi sebesar 65.03% dengan rata-rata temperatur permukaan panel $43.82 \text{ }^\circ\text{C}$ pada fluida kerja temperatur $27 \text{ }^\circ\text{C}$. Sedangkan untuk efisiensi elektrik terbesar yang dihasilkan panel surya adalah sebesar 9.40% , efisiensi elektrik tersebut mengalami peningkatan sebesar 1.1% dibandingkan dengan panel surya tanpa pendinginan menggunakan kolektor yang memiliki efisiensi elektrik 8.30% , dan untuk *pressure drop* yang dihasilkan saluran pipa persegi aliran *serpentine* ini adalah sebesar 463.522 Pa .

Kata Kunci : *Hybrid* PV/T, Saluran Persegi, Aliran *Serpentine*, Unjuk Kerja.

ABSTRACT

INCREASING PERFORMANCE OF SOLAR PHOTOVOLTAIC THERMAL (PV/T) USING RECTANGULAR TUBE

By:
Danar Sri Wahyono

The development of the PV/T is done in order to obtain increased efficiency from the photovoltaic, including by combining a flat plate thermal collector under the surface of the photovoltaic. In addition, the use of absorbers with rectangular tube will simplify the assembly process and expanding the contact area. The development of hybrid PV/T collectors in this research is use flat aluminum plate collector with serpentine flow type. This study aims to test the performance of the collector (PV/T) with reference to the EN 12975 standard under steady state conditions with water working fluid. Performance parameters are thermal efficiency, electrical efficiency and pressure drop that occurs in the collector (PV/T).

This research was carried out indoors using a solar simulator with a radiation intensity of 960.0 W/m^2 and four variations of the incoming fluid temperature, $27 \text{ }^\circ\text{C}$, $32 \text{ }^\circ\text{C}$, $37 \text{ }^\circ\text{C}$ and $42 \text{ }^\circ\text{C}$. The mass flow rate is 0.01 kg/s and under steady state conditions with a test duration of approximately 30 minutes for each variation. The results of this research by using a rectangular tube is able to produce the highest thermal efficiency of 65.03% with an average panel surface temperature is $43.82 \text{ }^\circ\text{C}$ on a working fluid temperature of $27 \text{ }^\circ\text{C}$. Whereas for the largest electrical efficiency produced by photovoltaic is 9.40%, the electrical efficiency has increased by 1.1% compared to solar panels without cooling using a collector that has an electric efficiency of 8.30%, and for the pressure drop generated by the serpentine flow rectangle tube is 463,522 Pa.

Keywords: *Hybrid PV/T, Rectangular Tube, Serpentine Flow, Performance.*

**PENINGKATAN UNJUK KERJA KOLEKTOR SURYA
PHOTOVOLTAIC/TERMAL (PV/T)
MENGUNAKAN SALURAN
PIPA PERSEGI**

Oleh:

DANAR SRI WAHYONO

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2020**

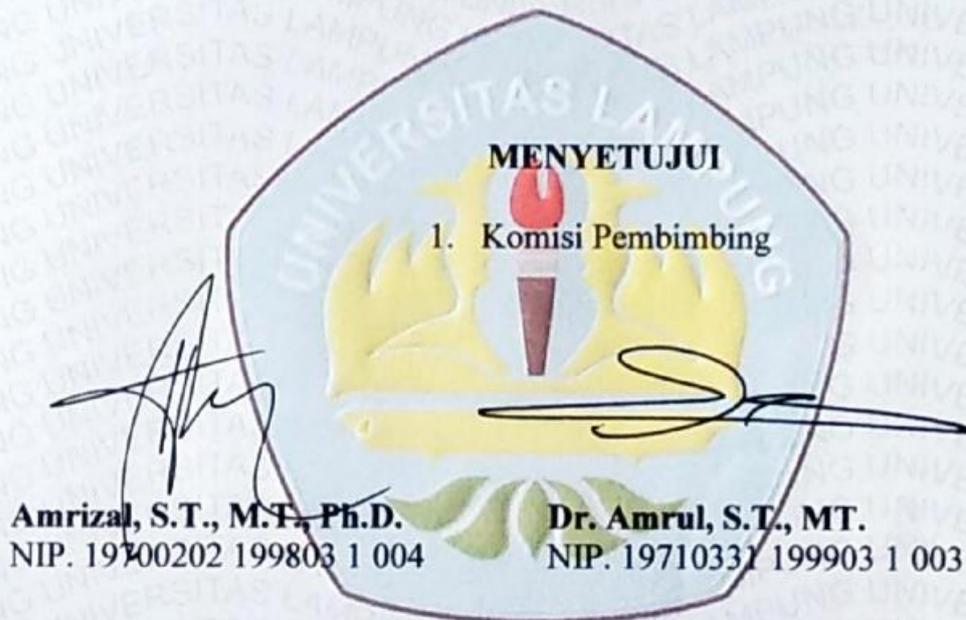
Judul Skripsi : **PENINGKATAN UNJUK KERJA KOLEKTOR SURYA PHOTOVOLTAIC/TERMAL (PV/T) MENGGUNAKAN SALURAN PIPA PERSEGI**

Nama Mahasiswa : **Danar Sri Wahyono**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1415021030

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik



2. Ketua Jurusan Teknik Mesin

3. Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Dr. Amrul, S.T., MT.
NIP. 19710331 199903 1 003

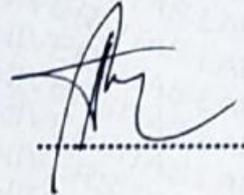
Novri Tanti, S.T., M.T.
NIP. 19701104 199703 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Amrizal, S.T., M.T., Ph.D.**



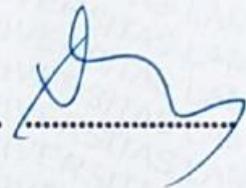
Anggota Penguji

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



Penguji Utama

: **Ir. Herry Wardono, M.Sc., IPM.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.

NIP. 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **29 Juni 2020**

PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PERATURAN
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN
REKTOR No.3187/H26/PP2010

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



DANAR SRI WAHYONO

1415021030

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kecamatan Bangun Rejo, Kabupaten Lampung Tengah pada 09 Oktober 1995, sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Nasimin dan Ibu Damiati. Jenjang pendidikan pertama yang dijalani oleh penulis adalah Pendidikan Sekolah Dasar Negeri 1 Sidomulyo pada tahun 2002 hingga tamat pada tahun 2008. Selanjutnya penulis melanjutkan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Kalirejo dari tahun 2008 hingga selesai pada tahun 2011. Selanjutnya pada tahun 2011 penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Kalirejo hingga lulus pada tahun 2014.

Pada tahun 2014, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri atau SNMPTN 2014. Selama menjadi mahasiswa Universitas Lampung, penulis aktif berorganisasi di Himpunan Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Staff Divisi Kreativitas Bidang Minat Bakat. Penulis melakukan kerja praktik di PT. PLN (Persero) PLTP Ulu Belu Unit 1 dan 2 Tanggamus Lampung dengan subjek yang dikaji adalah *Hot Well Pump* jenis pompa sentrifugal pada Unit 1 PLTP Ulu Belu Tanggamus pada bulan Agustus 2017. Sejak Bulan Agustus 2019 penulis mulai

melakukan penelitian untuk merancang, membuat kemudian menguji dan menganalisis peningkatan unjuk kerja kolektor surya photovoltaic/termal (PV/T) menggunakan saluran pipa persegi dibawah binbingan dari Bapak Amrizal, S.T., M.T., Ph.D. selaku pembimbing pertama dan Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T. sebagai pembimbing kedua.

MOTTO

“Dan hanya kepada Allah hendaknya kamu berharap”

(QS. Al Insyirah : 8)

“Allah tidak akan membebani seseorang hambanya melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya”

(QS. Al Baqarah : 286)

“Selalu berusaha menjadi orang OPTIMIS yang mampu melihat kesempatan disetiap kesulitan, bukan menjadi orang PESIMIS yang selalu melihat kesulitan disetiap kesempatan”

(Danar Sri Wahyono)

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT, berkat Rahmat dan Karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan Baik. Skripsi ini merupakan syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

Skripsi ini tersusun berdasarkan studi pustaka, diskusi dengan Dosen Pembimbing serta eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Termodinamika. Dalam skripsi ini, disajikan rangkuman terkait peningkatan unjuk kerja kolektor surya photovoltaic/termal (PV/T) menggunakan saluran pipa persegi. Sumber yang digunakan pada skripsi ini berasal dari jurnal nasional, internasional, serta literatur lain yang dapat menunjang keberhasilan skripsi ini.

Hasil dari pengujian maupun data eksperimen kolektor surya photovoltaic/termal (PV/T) menggunakan saluran pipa persegi disajikan secara ringkas dan terstruktur didalam skripsi ini. Dengan harapan dapat memudahkan para pembaca dalam memahami konsep, tujuan dan isi dari penelitian ini.

Penulis menyadari betapa besar bantuan serta dukungan dari semua pihak yang telah membantu dalam melaksanakan penelitian dan penulisan laporan dari awal hingga skripsi ini selesai dibuat. Melalui kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng. selaku Ketua Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Amrul, S.T.,M.T. selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung sekaligus pembimbing II, yang telah banyak memberikan masukan dan meluangkan waktu berdiskusi untuk kelancaran skripsi ini;
3. Bapak Amrizal, S.T.,M.T.,Ph.D. selaku pembimbing I, yang telah banyak memberikan masukan dan meluangkan waktu berdiskusi untuk kelancaran skripsi ini;
4. Bapak Ir. Herry Wardono, M.Sc., IPM. selaku penguji, yang telah banyak memberikan masukan dan koreksi untuk kebaikan skripsi ini;
5. Bapak/ibu dosen yang telah memberikan ilmunya kepada penulis, sehingga penulis dapat mengaplikasikan ilmunya di dalam skripsi ini;
6. Kedua orang tua saya, Bapak Nasimin dan Ibu Damiyati serta saudara saya mbak Nanik dan mas Joko, serta keluarga besar yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan baik secara materi maupun moril;
7. Teman-teman Laboratorium Termodinamika yang telah memberikan semangat juang untuk menyelesaikan penelitian ini;
8. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung terkhususnya teman-teman seperjuangan Teknik Mesin Angkatan 2014;

9. Teman-teman kontarakan yang selalu mengingatkan untuk mengerjakan skripsi dan memberikan dukungan serta hiburan untuk membantu mengurangi beban pikiran;
10. Pihak-pihak lain yang telah banyak membantu penulis selama melakukan penelitian dan penyusunan skripsi hingga selesai yang tidak dapat saya tuliskan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa ada banyak kekurangan yang terdapat pada skripsi ini. Penulis sangat mengharapkan skripsi yang sederhana ini dapat bermanfaat serta memberikan inspirasi bagi semua kalangan, khususnya bagi civitas akademik Teknik Mesin dan Universitas Lampung.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Bandar Lampung, Juli 2020

Penulis

Danar Sri Wahyono

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR JUDUL	i
ABSTRAK	ii
LEMBAR PENGESAHAN	v
PERNYATAAN PENULIS	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR SIMBOL	xxi
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	5
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Sistematika Penulisan	6

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1	Energi Matahari	8
2.2	Panel Surya	10
2.2.1	Struktur panel surya	11
2.2.2	Prinsip kerja panel surya	13
2.3	Kolektor surya	15
2.3.1	<i>Falte plate collectors</i> (FPC)	15
2.3.2	<i>Compound parabolic collectors</i> (CPC)	16
2.3.3	<i>Evacuated tube collectors</i> (ETC)	17
2.4	<i>Hybrid</i> Panel Surya Termal (PV/T)	19
2.4.1	Konsep dari PV/T	19
2.4.2	Jenis dari PV/T	20
2.4.3	Persamaan dasar PV/T kolektor pelat datar	25
2.5	Standar Uji EN 12975	28
2.6	Perpindahan Panas	30
2.6.1	Konduksi	30
2.6.2	Konveksi	31
2.6.3	Radiasi	33

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	36
3.1.1	Tempat penelitian	36
3.1.2	Waktu penelitian	36
3.2	Prosedur Penelitian	37

3.2.1	Perancangan kolektor termal pelat datar	37
3.2.2	Pembuatan kolektor termal pelat datar	40
3.3	Pengujian <i>hybrid</i> panel surya termal (PV/T)	44
3.4	Diagram Alir Penelitian	56

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Data Hasil Pengujian	58
4.2	Pembahasan Data Hasil Pengujian	61
4.2.1	Unjuk kerja termal	62
4.2.2	Unjuk kerja elektrik	70
4.2.3	<i>Pressure drop</i>	74

V. PENUTUP

5.1	Simpulan	76
5.2	Saran	77

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Standar parameter pengujian (EN 12975, 2006)	29
3.1. Jadwal rencana kegiatan penelitian	36
4.1. Data hasil pengujian PV/T di dalam ruangan tanpa alir	59
4.2. Data hasil pengujian PV/T dengan variasi temperatur masuk fluida alir..	60
4.3. Panas serap fluida alir pada PV/T	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Radiasi matahari	8
2.2. (a) Sel surya	11
(b) Modul surya	11
(c) Panel surya	11
2.3. Struktur susunan sel surya <i>type P-N junction</i>	12
2.4. Efek <i>photovoltaic</i> mengubah cahaya matahari menjadi tegangan ketika melewati <i>P-N junction</i>	13
2.5. Daerah deplesi pada semikonduktor <i>type P-N junction</i>	14
2.6. <i>Flat plate collector</i> (FPC)	16
2.7. <i>Compound parabolic collector</i> (CPC)	17
2.8. <i>Evacuated tube collector</i> (ETC)	18
2.9. Desain <i>water hybrid PV/T</i>	20
2.10. Komponen PV/T fuida air	21
2.11. Aliran <i>parallel</i>	22
2.12. Aliran <i>serpentine</i>	23
2.13. Perpindahan panas konduksi pada sebuah bidang dengan ketebalan Δx dan luas area A	31

2.14. Perpindahan panas konveksi dari permukaan ke udara	32
2.15. Kemampuan menyerap radiasi yang datang pada permukaan benda buram	34
3.1. Desain saluran pipa persegi	37
3.2. Dimensi <i>hybrid</i> panel surya termal (PV/T)	38
3.3. Desain pelat absorber	38
3.4. Desain susunan <i>hybrid</i> panel surya termal (PV/T)	39
3.5. Pemotongan aluminium <i>hollow</i>	40
3.6. Belokan 90° aluminium <i>hollow</i>	40
3.7. Penyambungan aluminium <i>hollow</i> menggunakan resin	41
3.8. Pengamplasan hasil sambungan	42
3.9. Saluaran pipa persegi kolektor termal pelat datar	42
3.10. Pelat absorber aluminium	43
3.11. <i>Hybrid</i> panel surya termal (PV/T) kolektor pelat datar saluran pipa persegi	43
3.12. <i>Solar simulator</i>	44
3.13. <i>Solar cell</i> atau <i>photovoltaic</i> (PV)	45
3.14. <i>Solarmeter</i>	45
3.15. Penampung air	46
3.16. <i>Temperature recorder</i> tipe BTM – 4208SD	47
3.17. <i>Digital laser thermometer</i>	47
3.18. Kolektor termal pelat datar saluran pipa persegi	48
3.19. <i>Tri star solar charge controller</i> tipe TS-45	48
3.20. Anemometer	49

3.21. Manometer air raksa	49
3.22. Pemanas air	50
3.23. Pompa	50
3.24. <i>Water flow meter</i>	51
3.25. <i>Thermocople</i>	51
3.26. Lampu DC	52
3.27. Aki	52
3.28. Kipas angin	53
3.29. Skema rangkaian pengujian PV/T	55
3.30. Diagram alir penelitian	56
4.1. Grafik temperatur fluida keluar ($T_{f,out}$) <i>hybrid</i> PV/T	61
4.2. Grafik temperatur rata-rata permukaan <i>hybrid</i> PV/T	63
4.3. Grafik hubungan antara efisiensi termal dan temperatur reduksi	66
4.4. Grafik perbandingan efisiensi termal PV/T dengan variasi laju aliran massa	67
4.5. Grafik perbandingan efisiensi termal PV/T dengan variasi kecepatan udara	68
4.6. Grafik perbandingan rata-rata temperatur permukaan <i>hybrid</i> PV/T	69
4.7. Grafik perbandingan arus keluaran dari <i>hybrid</i> PV/T	71
4.8. Grafik perbandingan efisiensi elektrik dari <i>hybrid</i> PV/T	72
4.9. Grafik pengaruh temperatur permukaan <i>hybrid</i> PV/T terhadap efisiensi elektrik <i>hybrid</i> PV/T.....	73

DAFTAR SIMBOL

A_C	= Luas Permukaan (m^2)
C_P	= Panas spesifik fluida (J/kg K)
dT	= Perubahan temperatur ($^{\circ}K$)
dx	= Perubahan jarak (m)
Fr	= <i>Removal factor</i>
G_t	= Energi radiasi matahari (W/m^2)
h	= Koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m\ K$)
$h_{c.p-c}$	= Koefisien perpindahan panas konveksi antara plat dan kaca
$h_{r.c-a}$	= Koefisien perpindahan panas radiasi antara kaca dan lingkungan
$h_{r.p-c}$	= Koefisien perpindahan panas radiasi antara plat dan kaca
h_w	= Koefisien perpindahan panas konveksi
I_m	= Arus keluaran panel (A)
Ir	= <i>Incident solar radiation</i> (W/m^2)
k	= Konduktivitas termal ($W/m\ K$)
L	= Tebal insulator
Q_{absorb}	= Radiasi yang diserap (W)
$Q_{Inciden}$	= Radiasi yang diterima (W)
Q_U	= Energi panas yang diserap (W)

Q	= Debit (m^3)
\dot{Q}	= Laju Perpindahan Panas (J/s)
S	= Intensitas radiasi matahari (W/m^2)
T_a	= Temperatur lingkungan (K)
T_{fi}	= Temperatur fluida masuk (K)
T_{fo}	= Temperatur fluida keluar (K)
T_{pm}	= Temperatur permukaan plat (K)
T_s	= Temperatur permukaan (K)
T_∞	= Temperatur lingkungan (K)
U_A	= $k/L \times$ volume kolektor (m^2)
U_b	= Koefisien kerugian kalor bagian bawah
U_e	= Koefisien kerugian kalor bagian samping
U_L	= Koefisien kehilangan panas kolektor ($W/m^2.K$)
U_t	= Koefisien kerugian kalor bagian atas
V_m	= Tegangan keluaran panel (V)
α	= Absorptivitas permukaan
ε	= Emisivitas dari permukaan
\dot{m}	= Laju aliran masaa fluida (kg/s)
η_{el}	= Efisiensi elektrik PV/T
η_{th}	= Efisiensi termal PV/T
σ	= Konstanta <i>Stefan – Boltzmann</i> ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2.K^4$)
$(\tau\alpha)_e$	= Koefisien transmisi dan penyerapan absorber

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik hingga saat ini sudah menjadi salah satu kebutuhan masyarakat yang penting dan merupakan sumber daya utama yang ekonomis dan dibutuhkan dalam berbagai kegiatan sehari-hari. Hal ini menyebabkan kebutuhan energi listrik juga terus meningkat seiring dengan bertambahnya kebutuhan masyarakat dan juga meningkatnya jumlah penduduk, perkembangan jumlah investasi serta semakin majunya teknologi.

Sebagai salah satu upaya untuk memenuhi kebutuhan akan energi listrik tersebut yaitu dengan memanfaatkan potensi alam untuk dijadikan energi listrik. Salah satu potensi alam tersebut adalah energi matahari yang merupakan jenis energi baru dan terbarukan. Matahari merupakan jenis energi baru dan terbarukan karena jumlahnya radiasinya yang dipancarkan tidak terbatas dan tidak habis kecuali matahari tidak bersinar kembali, hal ini berbeda dengan bahan bakar fosil yang jumlahnya terbatas dan dapat habis. Namun hingga saat ini pemanfaatan energi matahari sebagai energi alternatif masih terbatas (Rusman, 2015).

Energi yang dipancarkan oleh matahari hampir empat juta exajoule ($1 \text{ EJ} = 10^{18} \text{ J}$) dengan intensitas pemaparan radiasinya hingga sepanjang hari. Namun dari besarnya energi yang dipancarkan matahari tersebut yang sampai ke bumi hanya sekitar $5 \times 10^4 \text{ EJ}$. Energi dari matahari sebesar itu secara teoritis memiliki potensi untuk menjadi sumber energi bebas utama yang mampu memenuhi kebutuhan energi bagi seluruh dunia jika teknologi untuk menampung dan memanfaatkannya sudah tersedia (Kabir, 2018).

Di Indonesia sendiri energi matahari berpotensi untuk dimanfaatkan secara langsung sebagai sumber energi alternatif baik sebagai pemanas langsung atau diubah menjadi energi listrik. Dengan keseluruhan intensitas radiasi matahari yang diterima cukup tinggi hingga $12,38 \text{ MJ.m}^{-2} \cdot \text{hari}^{-1}$. Hal ini disebabkan karena Indonesia terletak di wilayah garis khatulistiwa yang menyebabkan posisi matahari cenderung tegak lurus terhadap garis khatulistiwa sehingga mempunyai potensi energi matahari yang cukup besar sepanjang tahun (Septiadi, 2009).

Teknologi yang digunakan untuk memanfaatkan energi matahari sebagai sumber energi alternatif sudah banyak dikembangkan saat ini, salah satu teknologi tersebut adalah menggunakan panel surya untuk menghasilkan listrik atau Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Panel surya mampu menyerap dan merubah intensitas cahaya (*photon*) dari radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. Selain itu teknologi ini juga ramah lingkungan karena tidak menghasilkan limbah yang menyebabkan polusi.

Panel surya merupakan teknologi yang mengubah energi dari sinar matahari menjadi energi listrik langsung melalui efek fotovoltaic, sehingga disebut juga sel fotovoltaic (*photovoltaic cell* atau PV). Panel surya adalah gabungan dari beberapa sel surya. Tegangan listrik yang dihasilkan oleh sebuah panel surya dengan jumlah keping sel surya sebanyak 36 keping yang disusun secara seri, dapat menghasilkan tegangan sekitar 16 V yang cukup untuk mensuplai aki 12 V. Sehingga tegangan yang dapat dihasilkan untuk satu keping sel surya sangat kecil yaitu sekitar 0,6 V. Oleh karena itu mendapatkan tegangan keluaran yang lebih besar lagi dari sebuah panel surya maka diperlukan lebih banyak lagi sel surya (Purwoto B.H, 2018).

Dalam pengoperasiannya, suatu panel surya selain menyerap cahaya matahari juga akan terpapar panas langsung oleh matahari sehingga temperatur dari panel surya akan semakin panas. Sehingga kekurangan dari panel surya ini salah satunya yaitu memiliki nilai efisiensi termal dan elektrik yang rendah, dikarenakan panas yang diserap panel surya tersebut mengakibatkan rugi-rugi dan menurunkan efisiensi dari panel surya. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan *photovoltaic thermal* (PV/T).

Photovoltaic thermal (PV/T) adalah teknologi yang menggabungkan antara modul *photovoltaic* (PV) dengan pengumpul panas (*thermal collector*), sistem ini disebut dengan *hybrid* PV/T, dimana fluida air atau udara dapat disirkulasikan menggunakan pipa atau sirip dengan temperatur inlet yang

rendah sehingga dapat digunakan sebagai media penyerap panas pada panel surya yang mampu menurunkan temperaturnya dan menaikkan efisiensi termal dan elektrik dari panel surya (Mojumder S. S, 2013).

Peningkatan efisiensi dari kolektor yang sudah dikembangkan untuk jenis kolektor yang umum digunakan yaitu *flat-plate collectors* (FPC). Telah banyak dilakukan pengembangan seperti memodifikasi material dan desain, serta membuat susunan konfigurasi pipa alir fluida penyerap panas baik secara susunan *serpentine* atau *parallel*. Dari kedua jenis susunan tersebut memiliki susunan *serpentin* memiliki kelebihan dimana laju aliran massanya lebih merata dibandingkan dengan susunan *parallel* (Mustofa, 2014).

Panel surya dengan modifikasi kolektor pelat datar saluran persegi panjang yang dipasangkan pada bagian belakang panel surya, mampu menghasilkan efisiensi gabungan PV/T 65.8 % dengan efisiensi elektrik 11.4 %. Hasil tersebut diperoleh dengan pengujian pada temperatur lingkungan 28.6 °C hingga 33.5 °C dan laju aliran massa fluida 0.045 kg/s serta radiasi matahari antara 700 hingga 800 W/m² (Kadim, 2014).

Kolektor pelat datar dengan saluran pipa persegi aliran spiral yang pernah dikembangkan mampu menghasilkan efisiensi termal dan elektrik yang tinggi pada PV/T. Dengan laju aliran massa 0.011 kg/s fluida air dengan temperatur 28 °C menghasilkan efisiensi termal 64 % dan efisiensi elektrik 11 % dengan temperatur rata-rata permukaan panel surya 55 °C (Ibrahim, 2009).

Dalam upaya peningkatan efisiensi dari panel surya, pada penelitian ini akan mengembangkan kembali sistem *hybrid* atau *photovoltaic thermal* (PV/T), dengan saluran pipa persegi berbahan aluminium *hollow*, dimana susunan dari aluminium *hollow* menggunakan jenis *serpentine* dengan fluida pendinginnya adalah air. Sedangkan proses pengujian yang akan dilakukan untuk mengetahui efisiensi dari PV/T adalah pada kondisi *steady state* dengan acuan pengujian menggunakan standar uji EN 12975.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

Menguji panel surya termal (PV/T) kolektor pelat datar saluran pipa persegi dengan acuan standar uji EN 12975 pada kondisi *steady state* menggunakan fluida alir air, untuk mengetahui unjuk kerja PV/T melalui peningkatan efisiensi termal, efisiensi elektrik serta *pressure drop*.

1.3 Batasan Masalah

Sebagai batasan dalam pembahasan agar fokus pada permasalahan, maka ruang lingkup penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

- 1.3.1 Menggunakan panel surya termal (PV/T) tipe kolektor pelat datar (FPC).
- 1.3.2 Menggunakan aluminium *hollow* sebagai pengganti pipa alir tembaga dengan susunan *serpentine*.

- 1.3.3 Pengujian dilakukan pada kondisi kesetimbangan dan tidak berubah seiring waktu atau *steady state* dengan acuan standar uji EN 12975.
- 1.3.4 Pengujian dilakukan untuk memperoleh efisiensi termal, efisiensi elektrik dan *pressure drop* dari panel surya termal (PV/T) tipe kolektor pelat datar (FPC).

1.4 Sistematika Penulisan

I. PENDAHULUAN

Pendahuluan berisi tentang latar belakang dalam melakukan penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah dalam penelitian dan sistematika penulisan laporan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka berisi tentang dasar-dasar teori yang digunakan sebagai sumber dan acuan dalam penelitian seperti teori radiasi matahari, perpindahan panas, *photovoltaic thermal* (PV/T), kolektor plat datar dan standar uji EN 12975.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian berisi tentang tempat dan waktu pelaksanaan serta jadwal pelaksanaan penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, prosedur pembuatan alat dan diagram alir penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan berisi tentang data-data hasil pengujian dan melakukan analisa hasil pengamatan serta pembahasan untuk unjuk kerja termal dari *photovoltaic thermal* (PV/T).

V. SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan tentang simpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya.

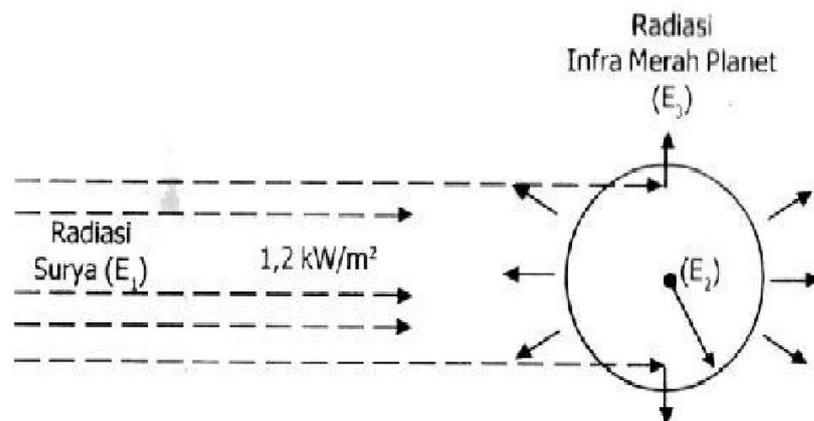
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Matahari

Matahari merupakan bidang materi gas yang sangat panas dengan diameter $1,39 \times 10^9$ m dan memiliki temperatur efektif *blackbody* 5.762 K. Temperatur di pusat matahari diperkirakan jauh lebih tinggi sekitar 8×10^6 hingga 40×10^6 K. Total energi yang dikeluarkan matahari adalah $3,8 \times 10^{20}$ MW, energi tersebut sama dengan energi di permukaan matahari sebesar 63 MW/m^2 . Energi matahari dipancarkan ke segala arah, dan hanya sebagian kecil fraksi yang diterima bumi yaitu sekitar $1,7 \times 10^{14}$ kW dari total radiasi matahari. Berikut adalah radiasi yang dipancarkan matahari ke bumi ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Radiasi matahari (Rusman, 2015)

Radiasi yang dipancarkan matahari ke bumi merupakan gelombang elektromagnetik dalam bentuk cahaya dan panas, yang hanya memerlukan waktu sekitar 8 menit 20 detik untuk mencapai permukaan bumi dengan jarak adalah $1,5 \times 10^{11}$ m. Meskipun hanya sedikit fraksi energi matahari yang diterima bumi, namun dengan fraksi sekecil itu diperkirakan 30 menit radiasi matahari ke bumi adalah sama dengan kebutuhan energi dunia selama satu tahun (Kalogirou, 2004).

Energi matahari merupakan salah satu jenis energi terbarukan, dan juga merupakan sumber energi paling melimpah dan gratis yang dapat digunakan diberbagai negara. Tenaga matahari adalah energi dari matahari yang dimanfaatkan dan diubah menjadi bentuk energi lain seperti energi listrik. Permukaan bumi menerima energi dari matahari yang cukup untuk memenuhi kebutuhan energi 7.900 kali lebih banyak untuk populasi dunia saat ini. Rata-rata permukaan bumi yang menerima sinar matahari per meter persegi dapat digunakan untuk menghasilkan daya 1.700 kWh setiap tahun, dan hampir semua tempat di dunia terkena radiasi matahari selama 4.380 jam pada siang hari dalam satu tahun.

Menurut Kabir, 2018. jumlah rata-rata energi matahari yang diterima atmosfer bumi adalah sekitar 347 Wm^{-2} , dimana sekitar 30% energi matahari tersebut tersebar dan dipantulkan kembali ke angkasa dan meninggalkan sekitar 70% (239 Wm^{-2}) energi yang dapat diambil dan dimanfaatkan. Untuk setiap tahunnya, iradiasi matahari yang efektif diterima di seluruh dunia

bervariasi dari $60 - 250 \text{ Wm}^{-2}$. Pengaplikasian energi matahari secara bertahap terus berkembang diberbagai bidang. Salah satunya adalah dimanfaatkan untuk memproduksi energi listrik, yang merupakan jenis energi paling banyak digunakan karena mudah untuk diubah menjadi bentuk energi yang lain (Shahsavari, 2018).

Saat ini teknologi baru sudah banyak dikembangkan untuk menghasilkan listrik dari energi matahari. Secara teoritis dengan jumlah energi matahari yang mencapai bumi setiap tahunnya hampir 4 juta *exajoules* dimana $1 \text{ EJ} = 10^8 \text{ J}$ dan $5 \times 10^4 \text{ EJ}$ diantaranya diklaim mudah untuk dimanfaatkan, energi matahari memiliki potensi untuk memenuhi kebutuhan energi di seluruh dunia jika teknologi untuk memanfaatkannya sudah tersedia. Tujuan utama terkait dengan penelitian pemanfaatan energi matahari adalah upaya untuk mengurangi emisi karbon, yang telah menjadi permasalahan lingkungan, sosial dan juga ekonomi dunia dalam beberapa tahun terakhir. Sebagai contoh, 696.544 metrik ton emisi dari CO_2 telah berhasil dikurangi dengan pemasangan 113.533 *solar systems* untuk rumah tangga di California, USA (Kabir, 2018).

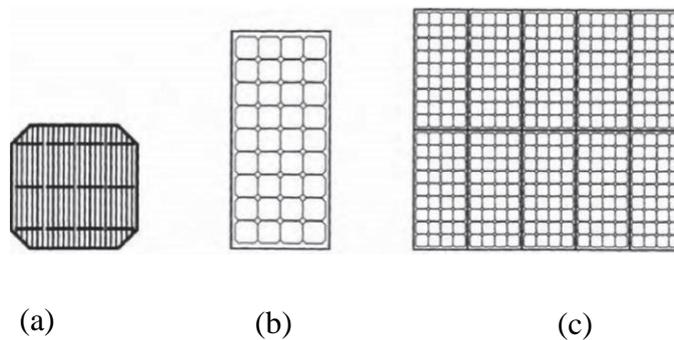
2.2 Panel Surya

Panel surya merupakan alat yang terbentuk dari penggabungan sel surya dengan ukuran beberapa sentimeter persegi yang disusun secara seri maupun paralel. Panel surya mampu mengonversikan radiasi matahari menjadi energi listrik melalui efek *photovoltaic* atau proses pelepasan elektron negatif dan

positif ketika terkena cahaya matahari pada material semikonduktor sel surya yang memiliki dua area berbeda, dimana satu area mempunyai kelebihan elektron dan area yang lain kekurangan elektron. Hasil dari aliran elektron-elektron tersebut yang akan menjadi arus listrik DC yang dapat langsung dimanfaatkan untuk mengisi baterai atau aki, karena pada dasarnya sel surya adalah sebuah dioda dalam ukuran besar (Muttaqin, 2016).

2.2.1 Struktur Panel Surya

Struktur sebuah panel surya terdiri dari gabungan beberapa modul surya, dimana modul surya merupakan susunan dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri atau paralel untuk menghasilkan arus dan tegangan dapat dilihat pada Gambar 2.2.

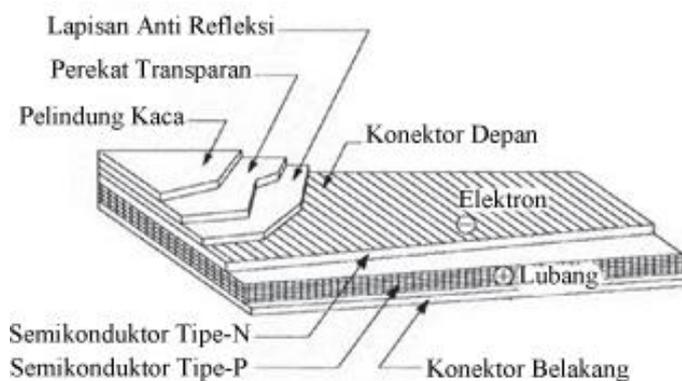


Gambar 2.2 (a) Sel surya ; (b) Modul surya ; (c) Panel surya

(Patel, 2006).

Jenis susunan sel surya yang paling banyak digunakan adalah jenis P-N *Junction*, dimana sel surya terbuat dari bahan semikonduktor yaitu silikon polikristalin tunggal atau silikon monokristalin tunggal yang bermuatan elektron positif (*type -P*), dan muatan negatif (*type -N*).

Silikon polikristalin atau silikon monokristalin tersebut dibentuk dalam irisan tipis atau disebut *wafer silicon*. Perbedaan antara keduanya terletak pada struktur kristal pembentuknya serta konduktivitas termal bahan yang dihasilkan. Pada silikon polikristalin struktur kristalnya sedikit lebih acak, sedangkan pada silikon monokristalin struktur kristalnya lebih tersusun dan juga konduktivitas termal dari bahan monokristalin lebih tinggi dibandingkan dengan polikristalin. Namun untuk jenis sel surya yang banyak digunakan adalah jenis silikon polikristalin, karena harganya lebih murah dibandingkan dengan silikon monokristalin. Susunan dari panel surya diberikan pada Gambar 2.3.



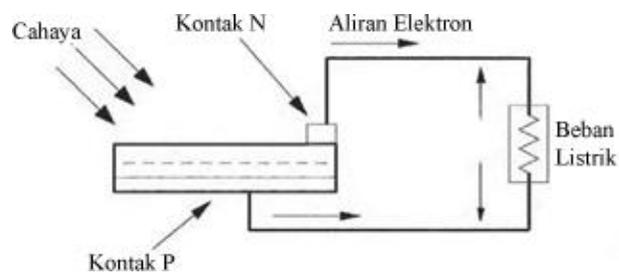
Gambar 2.3 Struktur susunan sel surya *type P-N junction*
(Patel, 2006).

Gambar 2.3 menunjukkan struktur dasar penyusun sel surya *Type P-N Junction*, dimana material semikonduktor negatif disusun di atas material semikonduktor positif kemudian ditutup dengan lapisan anti refleksi untuk menghindari radiasi matahari yang datang dipantulkan

kembali keluar dari sel dan lapisan atas terluar sel surya dilindungi oleh kaca pelindung (Patel, 2006).

2.2.2 Prinsip Kerja Panel Surya

Prinsip kerja dari panel surya untuk mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik adalah memanfaatkan efek *photovoltaic* dapat dilihat pada Gambar 2.4. Efek *photovoltaic* ditemukan oleh ahli fisika prancis *Becquerel* pada tahun 1839, yaitu suatu fenomena munculnya tegangan listrik ketika dua material berbeda muatan elektron digabungkan dengan sistem padatan atau cairan dan kemudian menerima radiasi matahari berupa cahaya atau *photon* (Patel, 2006).



Gambar 2.4 Efek *photovoltaic* mengubah cahaya matahari menjadi tegangan ketika melewati *P-N junction* (Patel, 2006).

Ketika *P-N junction* menyerap cahaya, energi dari *photon* yang diserap akan disalurkan ke muatan elektron pada *P-N Junction*. Hal ini menyebabkan muatan elektron pada tipe *N* akan bergerak menuju ke tipe *P* sehingga menyebabkan tipe *N* sedikit bermuatan elektron positif dan tipe *P* sedikit bermuatan elektron negatif, serta terbentuk

juga daerah *depleksi*. Pembentukan daerah deplesi pada material semikonduktor panel surya diberikan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Daerah deplesi pada semikonduktor *type P-N junction* (Nyayban, 2020).

Daerah deplesi adalah pertemuan antara semikonduktor tipe *P* dan tipe *N* yang tidak memiliki elektron negatif dan positif. Jika cahaya matahari mengenai sel surya, maka cahaya akan menembus tipe *N* hingga mencapai ke daerah deplesi. Energi *photon* ini cukup untuk menghasilkan pasangan elektron negatif dan positif di daerah deplesi, kemudian medan listrik yang terbentuk tersebut mendorong elektron negatif dan positif keluar dari daerah deplesi, mengakibatkan konsentrasi elektron di tipe *P* dan tipe *N* meningkat sehingga perbedaan potensial akan berkembang. Ketika sisi luar tipe *p* dan tipe *N* dihubungkan dengan muatan apapun maka elektron negatif dari tipe *N* akan mulai mengalir melalui muatan dan bergabung kembali dengan elektron positif pada tipe *P* sehingga sel surya akan mampu terus-menerus menghasilkan arus searah (Komp, 2001).

2.3 Kolektor Surya

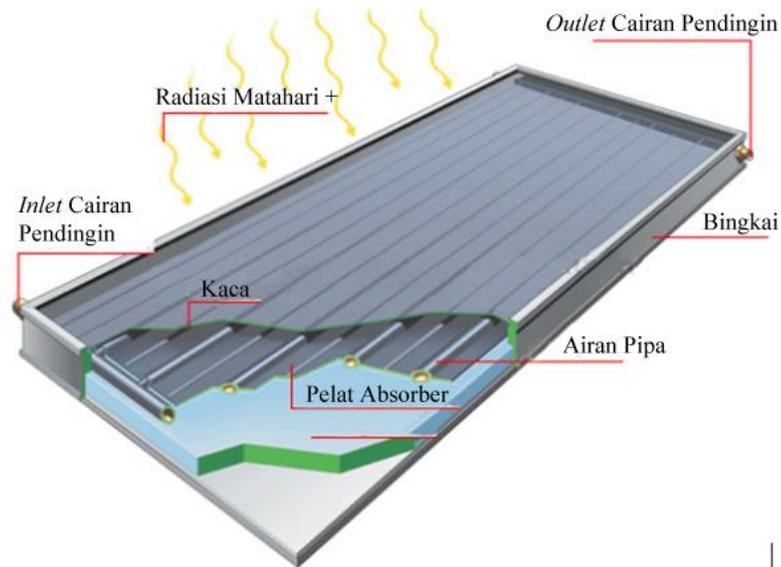
Kolektor surya merupakan jenis khusus dari *heat exchangers* yang mengubah radiasi matahari menjadi energi dalam untuk diteruskan ke sebuah media. Prinsip kerja dari kolektor surya yaitu menyerap radiasi matahari yang datang dan mengubahnya menjadi panas, kemudian panas tersebut dipindahkan ke fluida (udara, air atau oli) yang melalui kolektor. Energi panas yang dibawa fluida tersebut dapat digunakan secara langsung sebagai pemanas air, alat pengkodisian ruangan, atau ditampung dalam pengumpul energi termal yang dapat digunakan ketika malam hari.

Kolektor surya dapat dibedakan berdasarkan temperatur pengoperasian, dimensi, geometri dan penyerapannya menjadi tiga jenis adalah sebagai berikut :

2.3.1 *Flat Plate Collectors* (FPC)

Prinsip dari *flat plate collector* adalah ketika radiasi matahari mengenai kolektor ini, lalu melewati pelindung transparan dan mengenai permukaan plat absorber hitam dengan absorptivitas tinggi, maka sebagian besar energi panas yang diserap akan diteruskan ke fluida di dalam pipa yang berada di bawah plat untuk digunakan secara langsung atau ditampung. Bagian bawah plat absorber dan samping dari bingkai kolektor diisolasi untuk mengurangi kerugian akibat perpindahan panas konduksi. Pipa fluida bisa digabung dengan pelat absorber menggunakan las atau dalam satu kesatuan bentuk dengan pelat (Kalogirou, 2004).

Susunan dari kolektor pelat datar dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut.



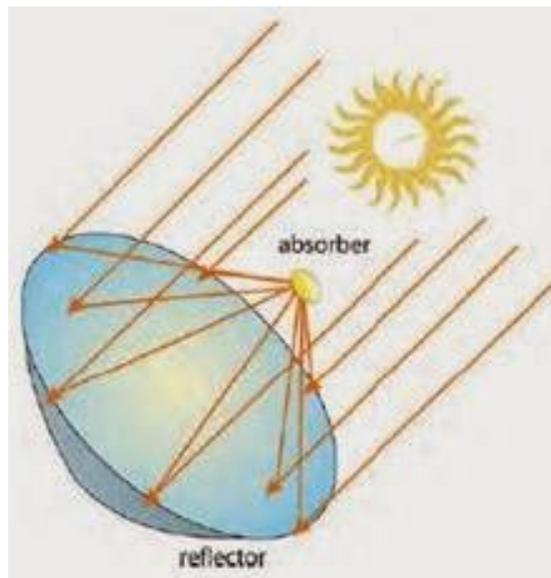
Gambar 2.6 *Flat plate collector* (FPC) (Kalogirou, 2004).

Pelindung transparan digunakan untuk mengurangi rugi akibat perpindahan panas konveksi dari pelat absorber dengan lapisan udara yang membatasi antara pelat dan kaca dan juga untuk mengurangi rugi akibat perpindahan panas radiasi yang dipancarkan plat absorber. *Flat plate collector* biasanya diaplikasikan dari temperatur rendah hingga 100 °C, karena pada temperatur ini kolektor bisa menghasilkan efisiensi yang baik.

2.3.2 *Compound Parabolic Collectors* (CPC)

Kolektor parabola ini memiliki prinsip memantulkan semua radiasi matahari yang datang ke absorber dengan jangkauan kecil. Kolektor jenis ini mampu menghasilkan efisiensi termal yang baik karena bisa

diaplikasikan pada temperatur yang tinggi sampai 300 °C. Kolektor parabola bisa menghasilkan temperatur yang lebih tinggi karena reflektor kolektor terbuat dari material yang memiliki sifat transmisivitas tinggi, sehingga sebagian besar radiasi matahari yang mengenai kolektor bisa dipantulkan pada satu absorber yang terletak ditengah kolektor. Selain itu absorber juga dibuat berwarna hitam dengan tujuan supaya penyerapan radiasi dapat maksimal dan ditutupi oleh kaca transparan untuk mengurangi rugi panas akibat konveksi dengan udara lingkungan. Prinsip dari kolektor termal tipe parabola ini dapat dilihat pada Gambar 2.7.

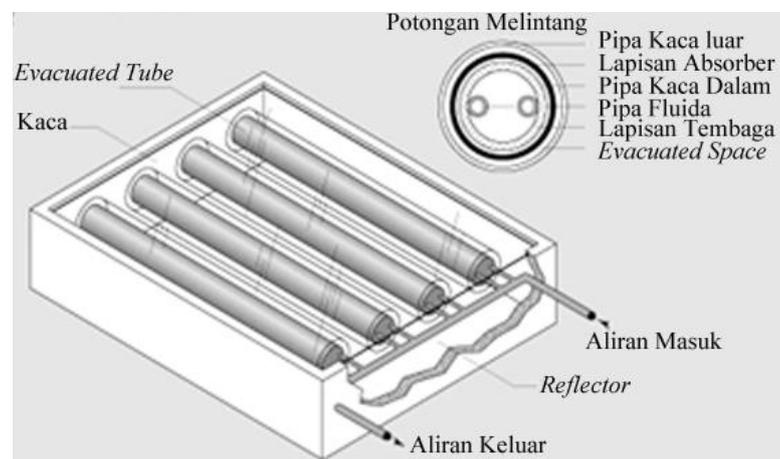


Gambar 2.7 *Compound parabolic collectors (CPC)* (Ajiwiguna, 2014).

2.3.3 *Evacuated Tube Collectors (ETC)*

Evacuated tube collector menggunakan pipa panas yang terletak di dalam sebuah tabung yang kedap udara. Kolektor jenis ini akan

optimal diaplikasikan pada cuaca cerah dan hangat, serta akan berkurang ketika kondisi cuaca menjadi tidak mendukung seperti dingin, berawan dan berangin. Selain itu ketika cuaca lembab, dapat merusak material kolektor sehingga menurunkan kinerja dan kegagalan sistem pada kolektor. Bagian-bagian dari kolektor jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 *Evacuated tube collectors* (ETC) (Mintorogo, 2004).

Lapisan luar yang vakum mampu mengurangi rugi panas dari konveksi dan konduksi, sehingga kolektor bisa beroperasi di temperatur yang lebih tinggi dibandingkan FPC. Di dalam pipa panas terdapat material cair berubah fase atau *liquid phase change material*, yang fasenya akan berubah menjadi kondensat ketika temperatur cairan rendah dan akan menjadi uap ketika temperatur cairan tinggi. Selain itu, pipa panas juga berfungsi sebagai pemanas karena bagian ujung dari pipa panas terhubung dengan pipa yang dialiri fluida (Kalogirou, 2004).

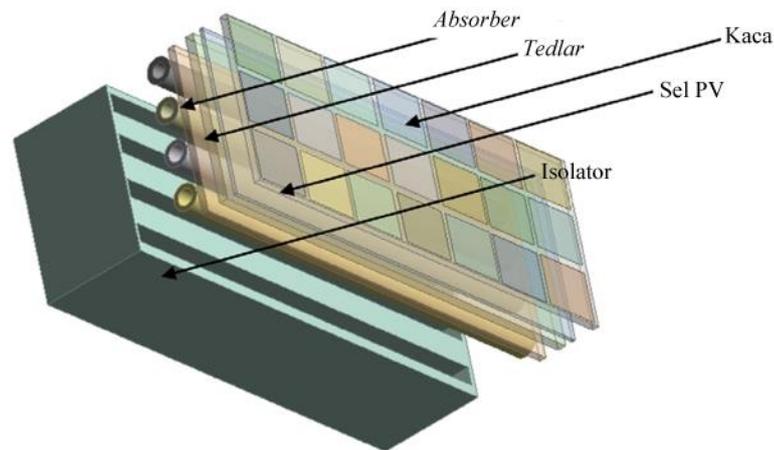
2.4 *Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T)*

Sistem *hybrid photovoltaic thermal (PV/T)* merupakan penggabungan antara panel surya dan kolektor termal. Sistem ini mampu memberikan *output* energi dalam dua jenis energi sekaligus yang berasal dari radiasi matahari persatuan luas permukaan. Hal tersebut disebabkan karena radiasi matahari yang diserap berupa cahaya akan diubah menjadi energi listrik oleh panel surya dan panas dari radiasi matahari akan diubah menjadi panas yang diteruskan kefluida mengalir melalui pipa di bagian bawah kolektor termal pelat datar. Panas yang diserap oleh kolektor termal dari permukaan bawah panel surya juga bertujuan untuk meningkatkan efisiensi elektrik panel karena membantu menurunkan temperatur panel surya (Khelifa, 2016).

Sistem panel surya termal pertama kali diperkenalkan oleh Kern dan Russell pada tahun 1978, dimana pada sistem ini energi dari radiasi matahari yang diserap dipindahkan menggunakan air atau udara. Sedangkan penggabungan panel surya dan kolektor termal pelat datar dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja alat dikembangkan pertama kali oleh Raghuraman pada tahun 1981 (Saygin, 2017).

2.4.1 Konsep dari *Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T)*

Konsep dasar yang pernah dibuat dari sistem *hybrid photovoltaic thermal (PV/T)* adalah menggunakan kolektor yang dibuat dari pelat datar sebagai absorber dan baja galvanis panjang sebagai pipa untuk saluran fluida. Kolektor ini dipasangkan pada permukaan bawah sebuah panel surya, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9 berikut.



Gambar 2.9 Desain *water hybrid* PV/T (Touafek, 2016).

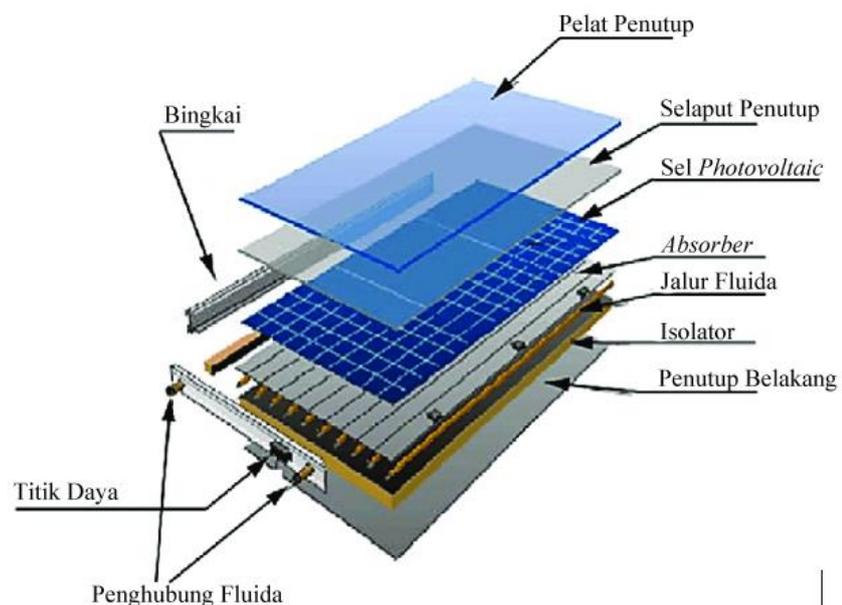
Gambar 2.9 menunjukkan desain dari *water hybrid* PV/T yang menggunakan beberapa lembaran pelat dan juga pipa, dimana pelat absorber dihubungkan dengan pipa alir fluida untuk mendinginkan kolektor dan panel surya. Selain itu absorber juga diisolasi penuh menggunakan penutup isolator yang menutupi sampai ke seluruh kolektor. Dalam membuat sistem *hybrid* PV/T, terdapat beberapa parameter yang harus diperhitungkan antara lain, jenis aliran fluida yang terjadi di dalam bentuk geometri absorber yang dipilih, jenis panel surya yang digunakan, jumlah lapisan kaca penutup dan material yang digunakan sebagai isolator pada bagian bawah dan samping kolektor (Touafek, 2016).

2.4.2 Jenis dari *Hybrid Photovoltaic Termal* (PV/T)

Hybrid photovoltaic thermal (PV/T) dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis berdasarkan fluida yang digunakan.

1. PV/T fluida air

Sistem PV/T ini merupakan PV/T yang menggunakan air sebagai fluida sebagai media pemindah panas. Jenis ini adalah yang paling banyak digunakan karena efisiensi keseluruhannya lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan udara ditinjau dari keseragaman dalam mendinginkan sel surya. PV/T fluida air bisa menggunakan kaca penutup luar atau pun tanpa penutup luar. Ketika menggunakan penutup, PV/T akan mengalami kenaikan temperatur yang lebih tinggi dan cepat sehingga efisiensi termal juga tinggi tetapi efisiensi elektriknya lebih rendah. Sedangkan apabila tidak menggunakan penutup, efisiensi termal PV/T akan menurun karena banyak panas yang terlepas ke udara tetapi memiliki efisiensi elektrik yang baik. Selain itu efisiensi dari PV/T juga berhubungan dengan distribusi aliran dari fluida pendingin yang melewati pipa saluran (Das, 2018).

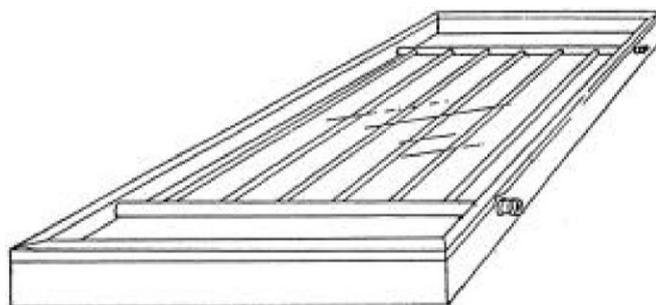


Gambar 2.10 Komponen PV/T fluida air (Das, 2018).

Jenis aliran yang digunakan untuk PV/T fluida air mempengaruhi distribusi termal yang terjadi pada kolektor. Adapun beberapa jenis aliran yang digunakan untuk mengalirkan fluida pada PV/T ini adalah sebagai berikut :

a. Aliran *parallel*

Jenis aliran ini menggunakan susunan pipa alir paralel dimana air dialirkan dari pipa masuk air yang memiliki diameter sama dengan pipa keluar air, kemudian didistribusikan menuju pipa-pipa tengah yang memiliki diameter lebih kecil dan keluar melalui pipa keluar. Berikut adalah susunan pipa bentuk paralel ditunjukkan pada Gambar 2.11.

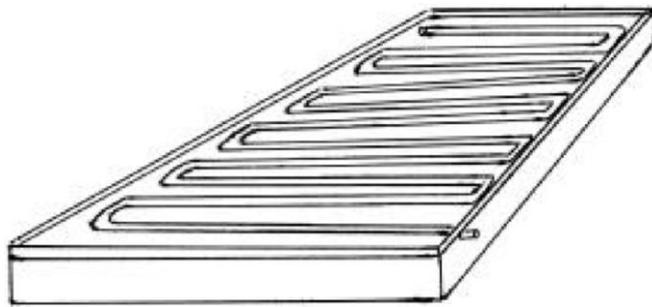


Gambar 2.11 Aliran *parallel* (Handoyo, 2014).

Kekurangan dari penggunaan aliran paralel ini adalah laju aliran massa fluida yang di distribusikan ke pipa kecil tidak merata pada pipa-pipa tengah dibandingkan dengan pipa yang berada di sisi tepi.

b. Aliran *serpentine*

Aliran *serpentine* menggunakan pipa panjang yang dibengkokkan langsung atau dipotong kemudian disambung menggunakan sambungan *elbow* hingga membentuk jalur berkelok seperti huruf S. Kelebihan dari jenis aliran *serpentine* ini adalah laju aliran massa dari fluida yang didistribusikan lebih merata, sedangkan untuk instalasi dan pembentukan belokan lebih rumit dibandingkan menggunakan aliran *parallel* (Mustofa, 2014). Berikut adalah susunan pipa bentuk paralel disajikan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.12 Aliran *serpentine* (Handoyo, 2014).

2. PV/T fluida udara

Jenis PV/T fluida udara ini memiliki kelebihan yaitu *pressure drop* pada aliran yang rendah karena udara memiliki viskositas kecil. Selain itu, PV/T fluida udara juga memiliki konstruksi yang sederhana, biaya operasional rendah dan mudah digunakan sebagai pemanas ruangan dibandingkan dengan PV/T fluida air.

Struktur dari PV/T jenis ini terdiri dari saluran udara berbentuk larik yang langsung dipasang pada bagian bawah panel surya.

Beberapa upaya telah dilakukan untuk meningkatkan transfer panas pada PV/T fluida udara ini antara lain, penggunaan sirip untuk meningkatkan luas area perpindahan panas serta menambahkan hambatan lain untuk meningkatkan turbulensi dari aliran udara. Terdapat beberapa jenis PV/T fluida udara yang sudah banyak dikembangkan hingga saat ini yaitu *single pass*, *double pass*, *finned channel*, *impinging jets* dan *ribbed wall* (Kalita 2018).

3. PV/T dengan material berubah fasa (PCM)

Pendinginan panel surya menggunakan PCM lebih mudah karena tidak membutuhkan energi lebih untuk menyirkulasikannya. Kriteria PCM yang sesuai dijadikan pendingin panel surya yaitu memiliki panas laten fusi tinggi, konduktivitas termal tinggi, tidak bersifat korosif, tidak beracun dan titik leleh terletak diantara temperatur operasi panel surya. Konduktivitas termal dari PCM juga dapat dijaga atau ditingkatkan untuk mendapatkan perpindahan panas yang optimal dengan cara menambahkan sirip dan pengisi logam.

2.4.3 Persamaan Dasar *Hybrid Photovoltaic Termal (PV/T) Flat Plate Collector*

1. Persamaan dasar kolektor termal plat datar

Energi panas yang diserap oleh kolektor plat datar akan ditransfer kefluida mengalir pada saluran pipa yang menggunakan aliran *serpentine*. Kesetimbangan energi pada kolektor pelat datar dapat ditulis dengan Persamaan 2.1.

$$Q_U = A_C [(\tau\alpha)_e S - U_L (T_{pm} - T_a)] \dots\dots\dots (2.1)$$

Untuk penggunaan persamaan (2.1), temperatur permukaan pelat (T_{pm}) sulit untuk dihitung atau mengukur nilainya. Oleh karena itu digunakan dua faktor efisiensi kolektor F' dan F_R yang diperkenalkan oleh Hottel-Whiller-Biss untuk memungkinkan penggunaan utama temperatur fluida masuk dengan Persamaan 2.2.

$$Q_U = A_C F_R [Gt (\tau\alpha)_e - U_L (T_{fi} - T_a)] \dots\dots\dots (2.2)$$

Selain itu temperatur fluida rata-rata (T_{fm}) juga dapat digunakan untuk menghitung energi berguna menggunakan faktor efisiensi kolektor (F') dengan Persamaan 2.3.

$$Q_U = A_C F' [(\tau\alpha)_e S - U_L (T_{fm} - T_a)] \dots\dots\dots (2.3)$$

Sedangkan untuk energi berguna yang diberikan kolektor ke fluida dapat dicari menggunakan Persamaan 2.4.

$$\dot{Q}_U = \dot{m} C_p (T_{fo} - T_{fi}) \dots\dots\dots (2.4)$$

2. Koefisien kerugian perpindahan panas menyeluruh

Koefisien kerugian perpindahan panas menyeluruh merupakan kerugian kalor dari absorber yang terjadi pada bagian atas, bagian samping dan bagian bawah absorber, dapat dicari menggunakan Persamaan 2.5.

$$U_L = U_t + U_b + U_e \dots\dots\dots (2.5)$$

a. Koefisien kerugian kalor bagian atas

Kerugian energi panas pada bagian atas pelat absorber dapat terjadi karena perpindahan panas secara konveksi alami dan radiasi dari pelat ke permukaan kaca dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.6.

$$U_t = \left(\frac{1}{hc.p + hr.p-c} + \frac{1}{hw + hr.c-a} \right)^{-1} \dots\dots (2.6)$$

b. Kerugian kalor pada bagian bawah

Kerugian kalor bagian bawah pelat datar terjadi karena konduksi dari pelat ke panel bagian bawah. Sedangkan

kerugian akibat radiasi dan konveksi diabaikan karena nilainya yang lebih kecil dibandingkan dengan kerugian konduksi. Kerugian kalor bagian bawah dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.7.

$$U_b = \frac{k}{L} \dots\dots\dots(2.7)$$

c. Kerugian pada bagian samping

Koefisien kerugian kalor pada bagian samping dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.8.

$$U_e = \frac{(UA)_{edge}}{A_c} \dots\dots\dots(2.8)$$

3. Efisiensi kolektor surya

Efisiensi kolektor surya dapat didefinisikan sebagai rasio energi yang berguna, terhadap energi radiasi matahari yang datang selama kurun waktu yang sama. Untuk menghitung nilai efisiensi kolektor termal pelat datar dapat menggunakan Persamaan 2.9.

$$\eta = \frac{\int Q_u dt}{A_c \int G T dt} \dots\dots\dots(2.9)$$

Ketika kondisi konstan dalam kurun waktu tertentu, nilai efisiensi dari kolektor pelat datar juga dapat dihitung dengan Persamaan 2.10.

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{fo} - T_{fi})}{I_r A_c} \dots\dots\dots(2.10)$$

Sedangkan untuk efisiensi elektrik dari panel surya diberikan pada Persamaan 2.11.

$$\eta_{el} = \frac{I_m V_m}{G A_c} \dots\dots\dots(2.11)$$

2.5 Standar Uji EN 12975

Standar pengujian EN 12975 adalah standar yang digunakan saat ini untuk menghitung unjuk kerja dari kolektor termal pada percobaan dengan kondisi *steady*. Berdasarkan standar ini, untuk pengujian diluar ruangan kolektor termal harus diuji di bawah sinar matahari langsung pada saat siang hari. Namun pada prakteknya, sulit untuk melakukan pengujian di luar ruangan dikarenakan cuaca dan iklim yang selalu berubah-ubah setiap saat sehingga membuat intensitas radiasi matahari tidak menentu.

Faktor iklim dan cuaca tersebut yang kemudian digunakan sebagai dasar untuk melakukan pengujian dengan mengganti radiasi matahari langsung menggunakan solar simulator, dimana intensitas radiasinya dapat diatur sesuai dengan kebutuhan dalam pengujian. Terdapat beberapa parameter-parameter sebagai standar pengujian dalam kondisi *steady* antara lain, intensitas radiasi matahari, temperatur udara di dalam dan luar ruangan, laju

aliran massa fluida dan temperatur fluida masuk kolektor. Standar parameter pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Standar parameter pengujian (EN 12975, 2006)

Parameter	Selisih yang Diizinkan dari Nilai Tengah
Radiasi matahari yang diuji (global)	$\pm 50 \text{ W/m}^2$
Temperatur di dalam ruangan	$\pm 1 \text{ K}$
Temperatur di luar ruangan	$\pm 1,5 \text{ K}$
Laju aliran massa fluida	$\pm 1 \%$
Temperatur fluida masuk kolektor	$\pm 0,1 \%$

Berdasarkan standar parameter pengujian tersebut, untuk pengujian di dalam ruangan dilakukan menggunakan solar simulator sebagai pengganti radiasi matahari, dimana radiasi yang dihasilkan solar simulator paling sedikit harus mencapai 700 W/m^2 hingga mengenai kolektor. Dalam beberapa pengujian khusus juga dapat menggunakan intensitas radiasi matahari antara 300 W/m^2 - 1000 W/m^2 . Parameter karakteristik dari suatu kolektor termal dapat diperkirakan dari pengujian efisiensi termal. Pengujian untuk mengetahui efisiensi termal kolektor setidaknya dilakukan pengambilan empat nilai yang berbeda-beda untuk temperatur masuk kolektor. Empat nilai temperatur fluida masuk kolektor tersebut diambil dengan batas kurang dari temperatur maksimal fluida keluar kolektor ketika diuji pada kondisi *steady*. Banyaknya

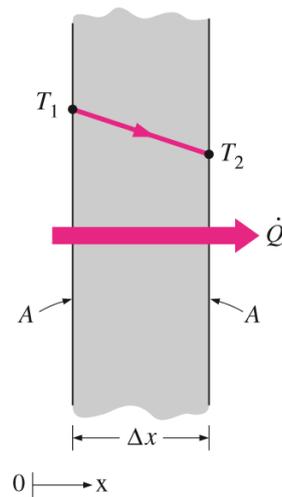
nilai hasil pengujian untuk empat temperatur masuk kolektor adalah 16 nilai pengujian (Kovacs, 2012).

2.6 Perpindahan Panas

Panas adalah salah satu energi yang dapat ditransfer dari suatu sistem ke sistem yang lain akibat dari perbedaan temperatur dari temperatur tinggi menuju temperatur yang lebih rendah pada suatu sistem, dan perpindahan panas akan berhenti ketika kedua sistem sudah mencapai temperatur yang sama. Secara umum jenis perpindahan panas dibagi menjadi tiga yaitu, konduksi, konveksi dan radiasi.

1.6.1 Konduksi

Konduksi merupakan peristiwa perpindahan panas yang disertai dengan perpindahan partikel atau molekul yang memiliki energi lebih besar ke energi yang lebih kecil ketika berdekatan pada suatu benda padat, cair dan gas. Pada benda padat konduksi terjadi akibat kombinasi getaran dari molekul-molekul dalam kisi dengan energi yang dipindahkan oleh elektron bebas. Sedangkan pada benda cair dan gas konduksi disebabkan oleh tabrakan atau difusi antar molekul ketika bergerak secara acak. Perpindahan panas konduksi pada sebuah bidang dengan ketebalan tertentu dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Perpindahan panas konduksi pada sebuah bidang dengan ketebalan Δx dan luas area A (Cengel, 2002).

Laju perpindahan panas konduksi dipengaruhi oleh geometri dari benda, ketebalan, jenis material benda dan perbedaan temperatur yang melintas pada benda. Laju perpindahan panas konduksi dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.11.

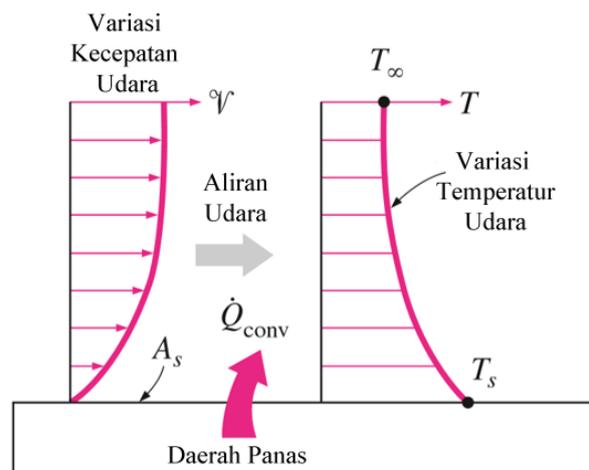
$$Q = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(2.11)$$

1.6.2 Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dan cairan atau gas yang berdekatan. Semakin cepat pergerakan dari fluida, maka akan semakin besar perpindahan panas konveksinya. Terdapat dua jenis perpindahan panas konveksi yaitu, konveksi paksa (*forced convection*), disebut konveksi paksa jika fluida dipaksa mengalir di permukaan oleh gaya dari luar seperti kipas dan pompa.

Sedangkan konveksi alami (*natural convection*) adalah gerakan fluida yang disebabkan oleh gaya *buoyancy* atau gaya apung karena perbedaan densitas yang disebabkan oleh perbedaan temperatur dalam fluida.

Terdapat beberapa parameter-parameter yang mempengaruhi perpindahan panas konveksi antara lain, geometri permukaan, karakteristik dari fluida, kecepatan aliran fluida dan jenis aliran fluida. Perpindahan panas konveksi dari permukaan panas keudara dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Perpindahan Panas Konveksi dari Permukaan ke Udara (Cengel, 2002).

Perpindahan panas konveksi dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.12.

$$Q = hA_s(T_s - T_\infty) \dots \dots \dots (2.12)$$

1.6.3 Radiasi

Radiasi adalah energi yang dipancarkan oleh suatu benda dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Berbeda dengan konduksi dan konveksi, radiasi tidak memerlukan media perantara dalam proses memindahkan energi. Semua benda pada temperatur di atas nol mutlak (K atau R) memancarkan radiasi berupa energi panas. Radiasi maksimal yang dipancarkan suatu benda dari permukaan pada temperatur mutlak dapat dihitung menggunakan Hukum *Stefan – Boltzmann* pada Persamaan 2.13.

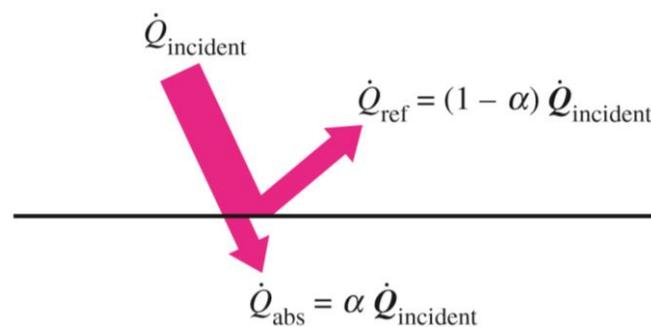
$$Q_{max} = \sigma A_S T_S^4 \dots\dots\dots(2.13)$$

Suatu benda yang mampu memancarkan radiasi maksimal disebut dengan benda hitam (*blackbody*), dan radiasi yang dipancarkan oleh benda hitam disebut dengan radiasi benda hitam (*blackbody radiation*). Radiasi yang dipancarkan oleh semua permukaan nyata kurang dari radiasi yang dipancarkan oleh benda hitam pada temperatur yang sama, dinyatakan pada Persamaan 2.14.

$$Q_{emit} = \epsilon \sigma A_S T_S^4 \dots\dots\dots(2.14)$$

Emisivitas suatu benda memiliki nilai berkisar dari $0 \leq \epsilon \leq 1$, nilai tersebut merupakan ukuran seberapa dekat nilai emisivitas suatu benda dengan benda hitam yang memiliki emisivitas $\epsilon = 1$. Hal lain

yang penting dari radiasi pada suatu permukaan benda adalah kemampuan menyerap (*absorptivity*) α , yang nilainya sama dengan emisivitas berkisar $0 \leq \epsilon \leq 1$. Benda hitam mampu menyerap seluruh radiasi yang datang ke permukaan, sehingga benda hitam merupakan absorber yang sempurna dengan $\alpha = 1$. Radiasi yang datang pada sebuah benda akan diserap, dipantulkan dan juga diteruskan oleh benda seperti ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Kemampuan menyerap radiasi yang datang pada permukaan benda buram (Cengel, 2002).

Emisivitas dan absorptivitas suatu permukaan tergantung pada temperatur dan panjang gelombang radiasi. Disebutkan dalam Hukum *Kirchhoff's* bahwa emisivitas dan absorptivitas suatu permukaan pada temperatur dan panjang gelombang radiasi tertentu adalah sama. Kemampuan permukaan dalam menyerap radiasi dapat ditentukan dengan Persamaan 2.15.

$$Q_{\text{absorbed}} = \alpha Q_{\text{Incident}} \dots\dots\dots(2.15)$$

Perbandingan antara radiasi yang dipancarkan kembali oleh permukaan dan radiasi yang diserap adalah nilai perpindahan panas radiasi bersih, dimana apabila laju penyerapan radiasi lebih besar dari laju radiasi yang pancarkan, maka disimpulkan permukaan tersebut mendapatkan energi dari radiasi. Tetapi jika yang terjadi adalah sebaliknya, maka dapat disimpulkan permukaan tersebut kehilangan energi dari radiasi yang datang (Cengel, 2002).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

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

3.1.1 Tempat penelitian

Pembuatan alat dan pengujian untuk pengambilan data pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Termodinamika Teknik Mesin Universitas Lampung.

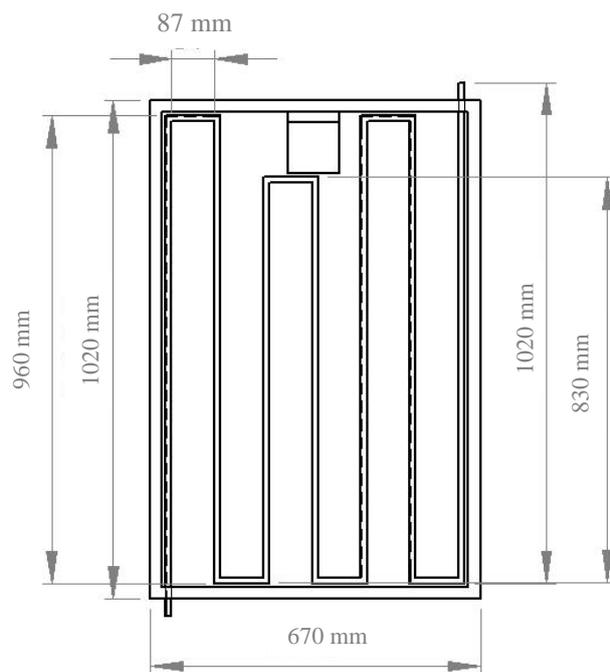
3.1.2 Waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus 2019 hingga Februari 2020 dengan jadwal tersusun adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Jadwal kegiatan penelitian

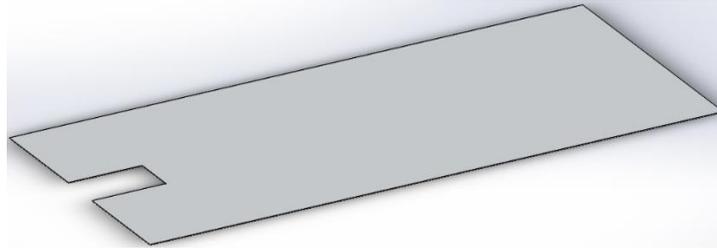
Kegiatan		Agu	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr
1	Studi Literatur	■	■	■						
2	Perancangan dan Pembuatan alat Pengujian			■	■					
3	Pengujian					■	■	■		

Jumlah potongan aluminium *hollow* yang didesain adalah terdiri dari beberapa potongan dengan panjang masing-masing yaitu 1020 mm sebanyak 2 buah, 960 mm sebanyak 3 buah, 830 mm sebanyak 2 buah dan 111 mm sebanyak 6 buah dengan panjang total adalah 6,58 m. Jarak antara tiap aluminium *hollow* yang sudah dibelokkan sebesar 90° adalah 87 mm dan pelat datar sebagai absorbernya menggunakan aluminium dengan panjang 970 mm, lebar 620 dan tebal 1 mm. Berikut adalah dimensi dari PV/T saluran pipa persegi dapat dilihat pada Gambar 3.2.

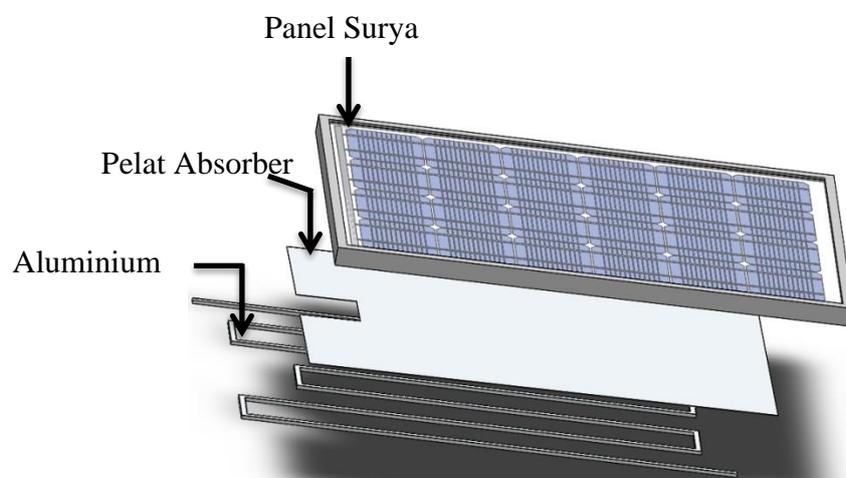


Gambar 3.2 Dimensi *hybrid* panel surya termal (PV/T).

Desain dari pelat absorber yang digunakan pada kolektor termal dan juga susunan dari PV/T saluran pipa persegi dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.



Gambar 3.3 Desain pelat absorber.



Gambar 3.4 Desain susunan *hybrid* panel surya termal (PV/T).

Masing-masing bagian disusun seperti pada Gambar 3.4, dimana aluminium *hollow* ditempelkan pada pelat absorber yang kemudian dipasangkan pada bagian bawah dari panel surya sehingga menjadi satu sistem *Hybrid* Panel Surya Termal (PV/T). Untuk jenis aliran pada kolektor termal yang dibuat adalah menggunakan jenis aliran *serpentine*. Jenis aliran ini dipilih karena memiliki kelebihan yaitu distribusi fluida baik kecepatan fluida maupun laju aliran massa fluida lebih merata dibandingkan dengan jenis aliran *parallel*.

3.2.2 Pembuatan kolektor termal pelat datar

Tahap awal dalam membuat kolektor termal tipe pelat datar yang sudah dirancang yaitu dengan memotong aluminium *hollow* yang memiliki panjang 6 m dengan gerinda menjadi panjang masing-masing yaitu 1020 mm sebanyak 2 buah, 960 mm sebanyak 3 buah, 830 mm sebanyak 2 buah dan 111 mm sebanyak 6 buah sehingga panjang total adalah 6,58 m.



Gambar 3.5 Pemotongan aluminium *hollow*.

Setelah itu aluminium *hollow* juga dipotong secara menyilang pada setiap ujung dengan sudut 45° yang nantinya akan disambung dan dapat dibentuk menjadi belokan 90° , kecuali pada bagian ujung fluida masuk dan fluida keluar.



Gambar 3.6 Belokan 90° aluminium *hollow*.

Total jumlah belokan pada jalur aluminium *hollow* adalah sebanyak 12 belokan dengan sudut yang sama yaitu 90° . Pada semua bagian sudut belokan tersebut kemudian dilakukan pengikisan menggunakan gerinda untuk mengurangi ketebalan dari aluminium *hollow*. Pengikisan tersebut bertujuan agar ketika dilakukan penyambungan menggunakan resin dapat diampelas hingga datar dan ketika direkatkan pada pelat absorber keadaan kedua permukaan aluminium bisa berkontak rata dan tidak memiliki sekat.



Gambar 3.7 Penyambungan aluminium *hollow* menggunakan resin.

Penyambungan belokan pada aluminium *hollow* adalah menggunakan campuran resin dan katalis. Sebelum diberi campuran resin dan katalis, pada setiap celah ujung aluminium yang akan disambung ditutup menggunakan solasi bening tipis yang bertujuan agar ketika diberi resin, resin tidak masuk ke dalam aluminium *hollow*. Karena apabila resin masuk ke dalam aluminium *hollow* dan mengeras, maka dapat mengganggu laju dari aliran fluida. Pada Gambar 3.7 diberikan

tambahkan bubuk *fly ash* pada campuran resin dan katalis agar hasil dari sambungan lebih keras dan tahan diampas. Hal ini disebabkan karena, ketika pada awal percobaan penyambungan hanya menggunakan resin dan katalis tanpa diberikan *fly ash* setelah kurang lebih didiamkan mengeras selama 1 hari kemudian diampas, hasilnya sambungan mengalami keretakan yang dikhawatirkan dapat menyebabkan kebocoran ketika dialiri fluida.



Gambar 3.8 Pengamplasan hasil sambungan.

Pengamplasan sambungan resin yang sudah mengeras dilakukan dengan kertas amplas kasar dan halus. Amplas digunakan untuk mengurangi ketebalan hasil sambungan dan amplas halus digunakan untuk meratakan dan menghaluskan sambungan sampai rata dengan permukaan aluminium *hollow*.



Gambar 3.9 Saluran pipa persegi kolektor termal.

Gambar 3.9 adalah hasil akhir dari aluminium *hollow* yang dibentuk menjadi saluran fluida pada kolektor termal pelat datar dengan menggunakan jenis aliran *serpentine* yang kemudian akan diletakan pada permukaan bagian bawah pelat aluminium absorber.



Gambar 3.10 Pelat absorber aluminium.

Proses terakhir adalah pemotongan pelat aluminium setebal 1 mm dengan ukuran panjang 970 mm dan lebar 620 mm sebagai penyerap panas pada panel surya. Kemudian aluminium *hollow* dan pelat absorber dipasangkan pada bagian bawah panel surya menggunakan pelat aluminium tebal yang dipasang melintang pada bawah aluminium *hollow* dan kemudian dibaut pada bingkai bawah panel surya hingga menekan ketiga komponen sehingga permukaannya berkontak keseluruhan.



Gambar 3.11 *Hybrid* panel surya termal (PV/T) tipe kolektor pelat datar saluran pipa persegi.

3.2.3 Pengujian *hybrid* panel surya termal (PV/T) pada *solar simulator*

Pengujian *hybrid* panel surya termal (PV/T) dilakukan di dalam Laboratorium Termodinamika Teknik Mesin menggunakan *solar simulator*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui efisiensi termal dan efisiensi elektrik dari *hybrid* panel surya termal (PV/T) berdasarkan distribusi termal dengan menggunakan fluida alir air. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. *Solar Simulator*

Solar simulator merupakan alat yang digunakan sebagai pengganti radiasi matahari pada saat melakukan pengujian didalam ruangan. *Solar simulator* memancarkan radiasi sebesar 800-1000 Watt dengan jumlah lampu yang digunakan adalah sebanyak 12 buah.



Gambar 3.12 *Solar simulator*.

2. *Solar Cell* Tipe S/N. D01 IV1801247

Panel surya (PV) merupakan alat yang digunakan untuk merubah energi dari radiasi matahari menjadi energi listrik. Dimana yang

digunakan dalam penelitian ini adalah panel surya (PV) dengan dimensi 1020 mm x 670 mm x 30 mm dan terbuat dari material *polycrystalline*.



Gambar 3.13 Solar cell atau photovoltaic (PV).

3. Solarmeter

Solarmeter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur jumlah radiasi matahari yang langsung mengenai permukaan Panel surya. *Solarmeter* yang digunakan adalah tipe SPM - 1116SD.



Gambar 3.14 Solarmeter.

4. Penampung Air

Penampung air digunakan untuk menampung fluida alir air yang akan dialirkan pada saluran saluran pipa persegi kolektor termal pelat datar.



Gambar 3.15 Penampung air.

5. *Temperature Recorder* Tipe BTM – 4208SD

Temperature Recorder Tipe BTM – 4208SD adalah alat yang digunakan untuk merekam temperatur selama melakukan pengujian baik temperatur *inlet*, *outlet*, temperatur lingkungan dan temperatur dari panel surya. Untuk interval pengambilan datanya dapat diatur sesuai dengan kebutuhan dalam pengujian, serta data yang dihasilkan dari alat ini adalah berupa data-data *microsoft excel* yang nantinya dapat dianalisis dan dibuat dalam bentuk grafik atau pun tabel.



Gambar 3.16 *Temperature recorder* tipe BTM – 4208SD.

6. *Digital Laser Thermometer*

Digital laser thermometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kembali temperatur dari fluida alir yang dipanaskan dan juga permukaan panel surya ketika terkena radiasi matahari.



Gambar 3.17 *Digital laser thermometer*.

7. Kolektor Termal Pelat Datar Saluran Pipa Persegi

Kolektor termal pelat datar saluran pipa persegi adalah alat yang digunakan untuk menyerap energi panas dari radiasi matahari

dengan mengalirkan fluida pada kolektor sehingga fluida akan menyerap panas tersebut.



Gambar 3.18 Kolektor termal pelat datar saluran pipa persegi.

8. *Tri Star Solar Charge Controller Tipe TS-45*

Tri Star Solar Charge Controller Tipe TS-45 adalah alat yang digunakan untuk merekam daya listrik yang dihasilkan dari panel surya selama melakukan pengujian yaitu arus (A) dan tegangan (V). Interval pengambilan data dapat diatur sesuai dengan kebutuhan dalam pengujian, serta data yang dihasilkan dari alat ini adalah berupa data-data *microsoft excel* yang nantinya dapat dianalisis dan dibuat dalam bentuk tabel atau grafik.



Gambar 3.19 *Tri star solar charge controller tipe TS-45.*

9. Anemometer

Anemometer adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin pada saat melakukan pengujian. Anemometer yang digunakan adalah Lutron Tipe LM – 8000A.



Gambar 3.20 Anemometer.

10. Manometer Air Raksa

Manometer air raksa adalah alat yang digunakan untuk mengukur rugi tekanan pada aliran fluida yang mengalir di dalam saluran atau *pressure drop*.



Gambar 3.21 Manometer air raksa.

11. Pemanas Air

Pemanas air digunakan untuk menaikkan temperatur dari fluida pada penampung fluida yang akan dialirkan pada saluran kolektor dengan temperatur yang dibutuhkan ketika melakukan pengujian.



Gambar 3.22 Pemanas air.

12. Pompa

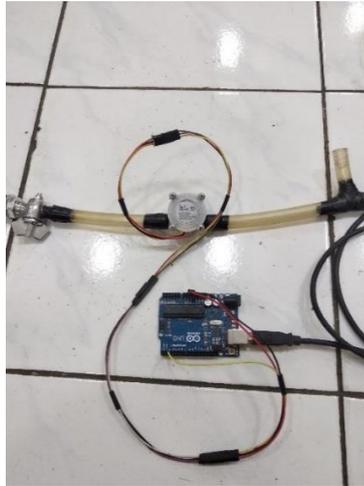
Pompa digunakan untuk mengalirkan fluida alir agar dapat mengalir di saluran kolektor dengan laju aliran massa sesuai yang dibutuhkan untuk pengujian. Pompa yang digunakan adalah pompa aquarium *Power Head 105* dengan ketinggian maksimal 3 meter dan debit maksimal 3000 L/h.



Gambar 3.23 Pompa.

13. *Water Flow Meter*

Water flow meter adalah alat yang digunakan untuk mengontrol laju aliran massa fluida yang mengalir di dalam saluran kolektor. Alat ini menggunakan *water flow sensor* Sea tipe YF – S402 dengan minimal debit 0.3 L/min dan debit maksimal 6 L/min dan diprogram menggunakan Arduino Uno.



Gambar 3.24 *Water flow meter*.

14. *Thermocouple*

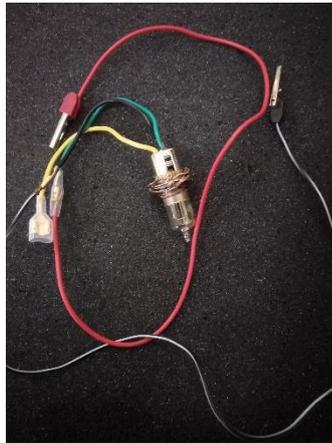
Thermocouple digunakan untuk mengukur temperatur fluida masuk dan fluida keluar dari kolektor. *Thermocouple* yang digunakan adalah tipe K.



Gambar 3.25 *Thermocouple*.

15. Lampu DC

Lampu DC digunakan untuk memberikan beban ke aki agar tidak penuh selama melakukan pengujian. Lampu DC yang digunakan adalah lampu motor 12 V 35 A.



Gambar 3.26 Lampu DC.

16. Aki

Aki digunakan untuk menampung daya listrik yang dihasilkan oleh *photovoltaic* (PV). Aki yang digunakan pada penelitian ini adalah *MPower Battery* tipe GEL dengan kapasitas 100 Ah dan tegangan 12 V.



Gambar 3.27 Aki.

17. Kipas Angin

Kipas angin digunakan untuk menggantikan kecepatan udara luar karena pengujiannya dilakukan di dalam ruangan. Kipas angin yang digunakan adalah Mitochiba tipe MT – 1822 dengan daya 70 W dan tegangan 220 V. Kecepatan minimal yang dihasilkan kipas adalah 0.3 m/s dan kecepatan maksimal 2.0 m/s.

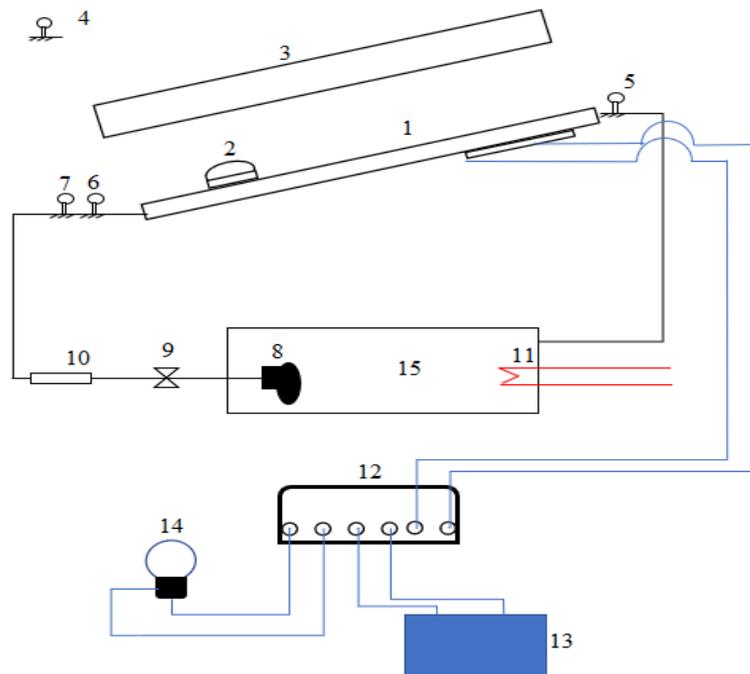


Gambar 3.28 Kipas angin.

Pengujian *hybrid* panel surya termal PV/T dilakukan dengan menggunakan 4 variasi temperatur fluida masuk (T_{in}), dimulai dari temperatur mendekati lingkungan yaitu 27 °C kemudian dinaikkan temperatur fluidanya dengan kelipatan 5 °C sampai temperatur 42 °C, dengan kecepatan udara lingkungan adalah sama dengan kecepatan udara lingkungan di luar ruangan sesuai dengan standar pengujian. Selain itu juga dilakukan pengujian dengan tambahan variasi sebagai data pembanding yaitu variasi laju aliran massa fluida dibawah dan diatas standar uji, kemudian variasi kecepatan udara dibawah dan diatas

kecepatan udara lingkungan. Untuk setiap variasi temperatur fluida masuk dilakukan sebanyak 4 kali pengambilan data sesuai dengan Standar EN 12975. Adapun tahapan dan skema dari pengujian *hybrid* panel surya termal (PV/T) kolektor pelat datar saluran pipa persegi ini adalah sebagai berikut :

1. Pengukuran temperatur fluida masuk *thermorecorder* PV/T (T_{in}).
2. Pengukuran laju aliran massa fluida *water flow sensor* (\dot{m}).
3. Pengukuran intensitas radiasi dari *solar simulator*, dengan waktu pengkondisian sebelum pengambilan data selama kurang lebih 20 menit menggunakan *solar power meter*.
4. Pengukuran temperatur fluida keluar PV/T *thermorecorder* (T_{out}).
5. Pengukuran temperatur udara lingkungan *thermorecorder* (T_{amb}).
6. Pengukuran temperatur permukaan panel surya *thermorecorder* ($T_{s,pv}$).
7. Pengukuran tegangan yang dihasilkan panel surya menggunakan *solar charge controller* (V).
8. Pengukuran arus keluaran panel surya *solar charge controller* (A).
9. Pengukuran kecepatan udara menggunakan anemometer (v).
10. Peningkatan temperatur fluida alir menggunakan pemanas air pada penampung air.
11. Pengukuran *pressure drop* menggunakan manometer air raksa (ΔP).

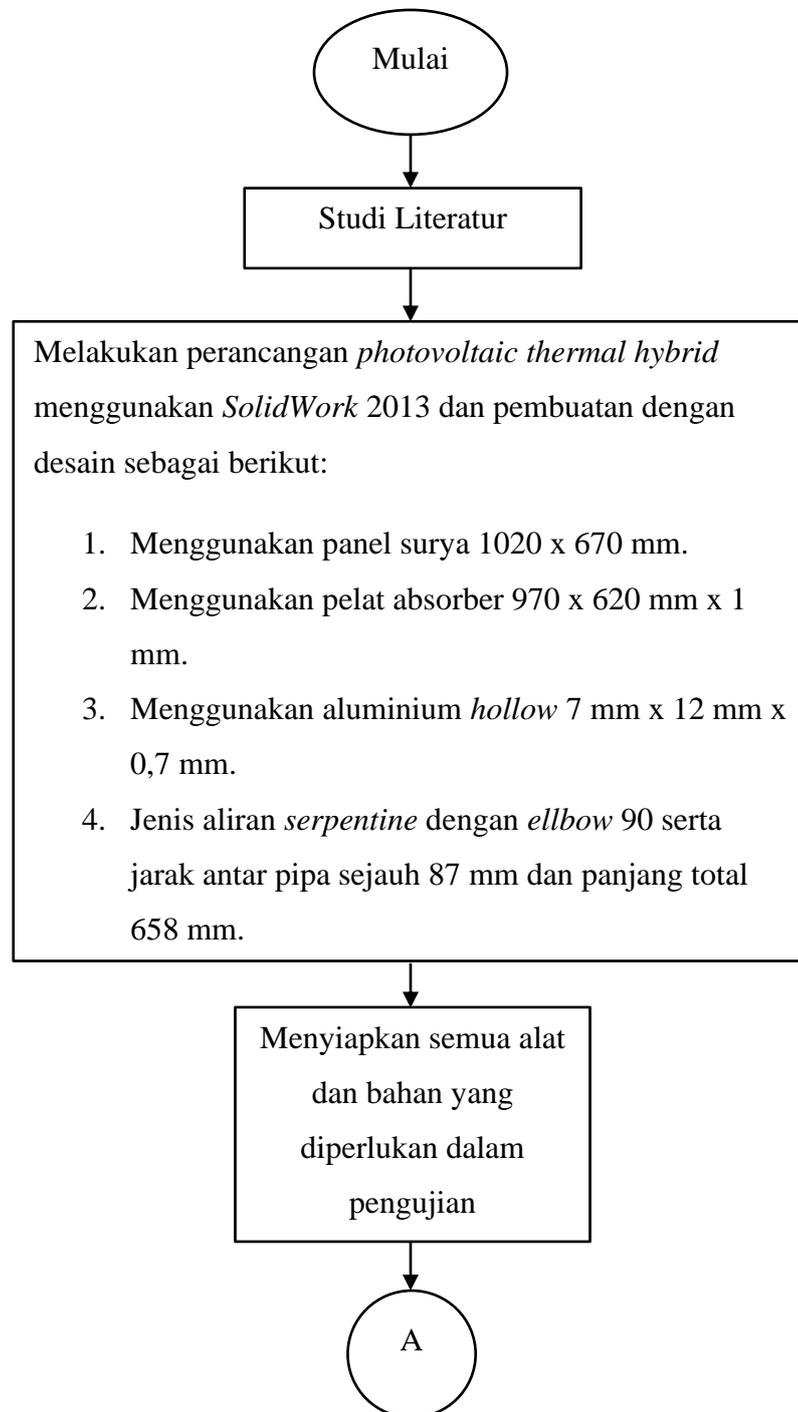


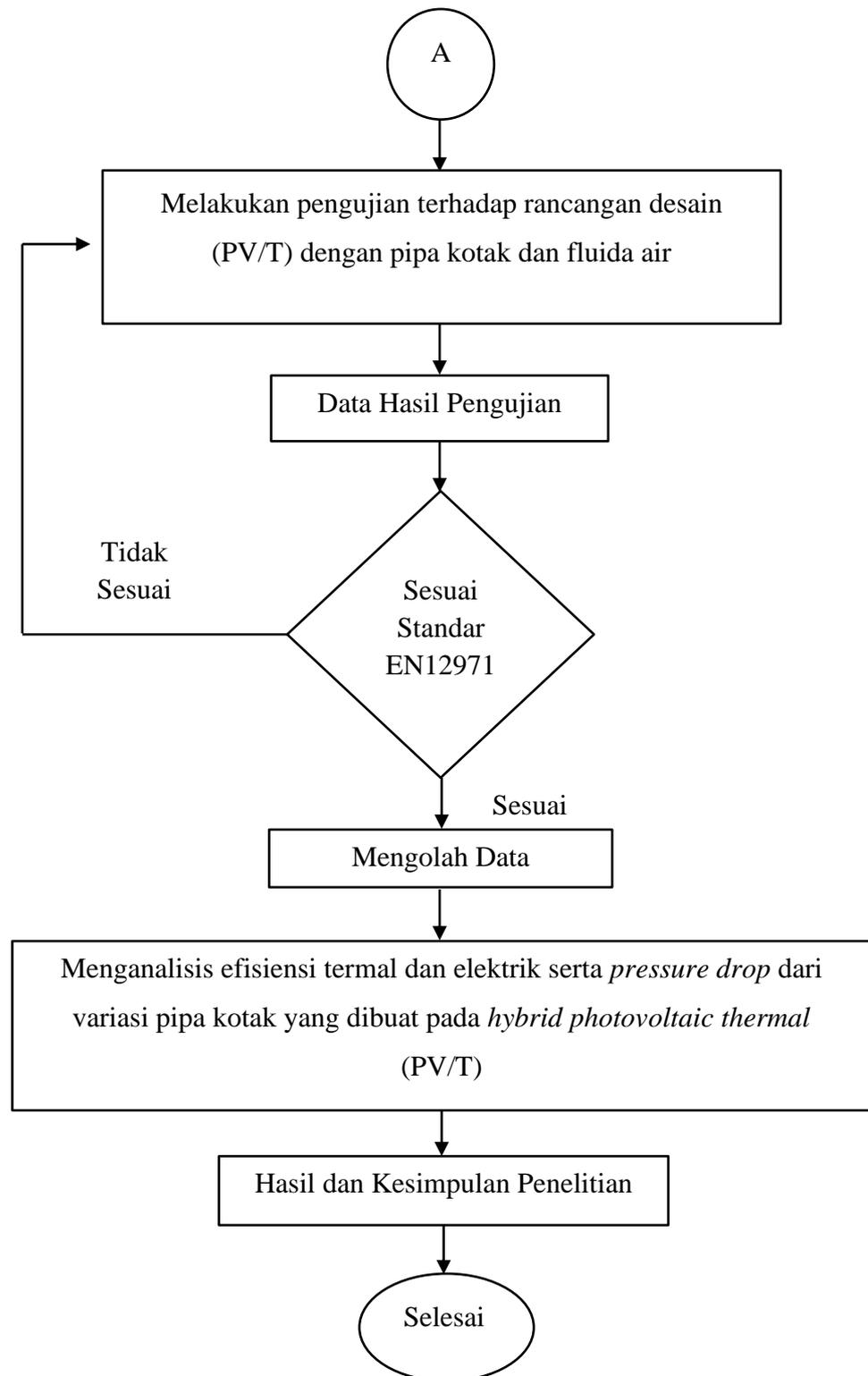
Gambar 3.29 Skema rangkaian pengujian PV/T.

Keterangan :

- | | |
|--|----------------------------|
| 1. <i>Hybrid photovoltaic thermal (PV/T)</i> | 9. Katup |
| 2. <i>Solar power meter</i> | 10. <i>Flow meter</i> |
| 3. <i>Solar simulator</i> | 11. <i>Heater</i> |
| 4. <i>Digital thermometer</i> | 12. <i>Control charger</i> |
| 5. <i>Thermometer output</i> | 13. Aki |
| 6. <i>Thermometer inlet</i> | 14. Lampu |
| 7. <i>Pressure guage</i> | 15. Penampungan air |
| 8. Pompa sirkulasi | |

3.3 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.30 Diagram alir penelitian.

V. PENUTUP

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan adalah sebagai berikut :

5.1.1 Penggunaan aluminium *hollow* sebagai saluran fluida alir pada kolektor termal membuat luas perpindahan panas pada kolektor lebih besar dibandingkan dengan saluran pipa bundar, sehingga bisa meningkatkan penyerapan panas pada kolektor termal dan menurunkan temperatur permukaan panel surya serta meningkatkan efisiensi termalnya sebesar 65,03 % untuk saluran pipa persegi dan 49,08 % untuk saluran pipa bundar dari penelitian sebelumnya oleh Sasongko 2019.

5.1.2 Efisiensi termal dan efisiensi elektrik dari panel surya dengan pendinginan kolektor termal pelat datar saluran pipa persegi mampu mencapai efisiensi termal tertinggi 65,03 % dan meningkatkan efisiensi elektrik sebesar 1,1% dari 8,30 % menjadi 9,4 % untuk variasi temperatur fluida alir 27 °C.

5.1.3 Pengujian pada *hybrid* PV/T dengan laju aliran massa 0,01 kg/s menghasilkan *pressure drop* kolektor pelat datar saluran pipa persegi adalah sebesar 397,305 Pa, dan *pressure drop* paling tinggi adalah ketika laju aliran massa dinaikkan 0.015 kg/s yaitu 463.522 Pa. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar laju aliran massa maka *pressure drop* akan semakin tinggi.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk pengembangan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

5.2.1 Perlu dilakukan simulasi pada pengujian PV/T kolektor pelat datar saluran pipa persegi yang berguna sebagai validasi data pengujian. Hal ini perlu dilakukan karena simulasi yang pernah dilakukan sebelumnya memiliki dimensi panel surya dan kolektor termal yang berbeda dengan penelitian saat ini.

5.2.2 Memvariasikan fluida alir pada kolektor dengan fluida alir lain yang memiliki koefisien perpindahan panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan air, sehingga diharapkan bisa melepaskan panas pada panel surya lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

Ajiwiguna, M.A., at all. 2014. The Design and Optical Analysis of Compound Parabolic Collector. Vol. 79, No. 258-262. National Cheng Kung University Rd. Tainan. Taiwan.

Cengel, Yunus A. 2003. Heat Transfer A Practical Approach Second Edition. McGraw-Hill. Boston.

Das, Dudul., Kalita, Pankaj & Roy, Omkar. 2018. Flat Plate Hybrid Photovoltaic-Thermal (PV/T) System. Vol. 84, No. 111-130. Indian Institute of Technology Guwahati. India.

Handoyo, Ekadewi A. 2014. Perbandingan Konfigurasi Pipa Paralel dan Serpentine terhadap Unjuk Kerja Kolektor Surya Plat Datar. Vol. 2, No. 2. Teknik Mesin. Universitas Kristen Petra.

Ibrahim, Adnan., at all. 2009. Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T) Air and Water Based Solar Collector Suitable for Building Integrated Applications.

Vol. 5, No. 618-624. Hal Solar Energy Research Institute. University
Kebangsaan Malaysia. Selangor. Malaysia.

Kabir, E., Kumar, P., Kumar S., Adelodun, A. A., & Kim, Ki.H. 2018. Solar
Energy Potential and Future Prospects. Vol. 82, No. 894-900.
Bangladesh Agricultur University. Bangladesh.

Kadhim, Ali Najah., et all. 2014. Study on the Performance of Photovoltaic
Thermal Collector (PV/T) with Rectangular Tube Absorber Design.
Vol. 4, No. 960-978. Solar Energy Research Institute. University
Kebangsaan Malaysia. Selangor. Malaysia.

Kalogirou, Soteris A. 2004. Solar Thermal Collectors and Applications. Vol. 30,
No. 231-295. Department of Mechanical Engineering. Higher
Technical Institute.

Khelifa, A., Touafek, K., Moussa, H. Ben & Tabet, I. 2016. Modeling and
Detailed Study of Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T) Solar
Collector. Vol. 135, No. 169-176. Universite de Batna. Algeria.

Komp, Richard J. Ph.D. 2001. Practical Photovoltaic Electricity from Solar Cells
3rd Edition Revised. Aatec Publications ann Arbor. Michigan. United
States of America (USA).

Kovacs, Peter SP. 2012. Quality Assurance in Solar Thermal Heating and Cooling Technology, A Guide to The Standard EN 12975. Technical Research of Sweden.

Mojumder, S. S., Uddin, M., Alam, I., & Enam, K. 2013. Study of Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T) Solar System with Modification of Thin Metallic Sheet in the Air Channel. Vol. 3, No. 5. Technical University of Munich. Germany.

Mintorogo, Shah L.J & Furbo S. 2004. Vertical Evacuated Tubular-Collectors Utilizing Solar Radiation from All Directions. Vol. 78, No. 371-397. Department of Civil Engineering. Technical University of Denmark. Brovej. Denmark.

Mustofa & Hatib, R. 2014. Konfigurasi Serpentine-Paralel Dan Paralel-Serpentine Pada Pipa Fluida Pemanas Air Surya Sistem Thermosiphon. Vol. 5, No. 1. Jurusan Teknik Mesin Universitas Tadulako.

Muttaqin, Idzani., Irhamni, Gusti & Agani, Wahyu. Analisa Rancang Sel Surya dengan Kapasitas 50 Watt untuk Penerangan Parkiran Uniska. Vol. 1, No. 2. Fakultas Teknik. Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari. Banjarmasin.

- Nyayban, Anupriya., et all. 2020. First Principle Studies of Rubidium Lead Halides Towards Photovoltaic Application. National Institute of Technology Silchar. India.
- Patel, Mukund P. 2006. Wind and Solar Power System Design, Analysis and Operation Second Edition. Taylor & Francis Group, LCC. New York. U.S.A.
- Purwoto, B. H., Jatmiko., Alimul, M. F., & Huda, I. F. Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif. Vol. 18, No. 1. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Rusman. 2015. Pengaruh Variasi Beban Terhadap Efisiensi Solar Cell Dengan Kapasitas 50 WP. Vol. 4, No. 2. Politeknik Negeri Samarinda.
- Sasongko, Amrizal Danur. 20019. Unjuk Kerja Termal dan Pressure Drop Kolektor Hybrid PV/T Menggunakan CFD Berdasarkan Perubahan Penampang dan Penggunaan Nano Fluida. Skripsi Teknik Mesin Universitas Lampung. Lampung.
- Saygin, Hasan., et all. 2017. Performance Evaluation of Model PV/T Solar Collector : A Case Study in Design and Analysis of Experiment. Vol. 141, No. 210-221. Mechanical Engineering Department. Istanbul Aydin University. Turkey.

Septiadi, D., Nanlohy, P., Souissa, M., & Rumlawang, F. Y. 2009. Proyeksi Potensi Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan (Studi Wilayah Ambon dan Sekitarnya). Vol. 10, No. 1 : 22-28. Universitas Pattimura. Ambon.

Shahsavari, Amir., & Akbari, Morteza. 2018. Potential of Solar Energy in Developing Countries for Reducing Energy-Related Emissions. Vol. 90, No. 275-291. Faculty of Natural Resources and Environment. Ferdowsi University of Mashhad. Mashhad. Iran.

Touafek, K., et all. 2016. Modeling and Detailed Study of Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T) Solar Collector. Vol. 135, No. 169-176. Universite de Batna. Algeria.