

**PENGARUH VARIASI GEOMETRI SIRIP TIPE SUDUT TERHADAP  
TEMPERATUR DAN *PRESSURE DROP* KOLEKTOR *PHOTOVOLTAIC  
THERMAL* (PV/T) MENGGUNAKAN METODE CFD**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**JOKO PRASETYO**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

## **ABSTRACT**

### **EFFECT OF INCLINED ANGLE AND GEOMETRY OF FINS ON HEAT TRANSFER AND PRESSURE DROP OF PV/T COLLECTORS SIMULATED BY USING CFD METHOD**

By:

Joko Prasetyo

A Photovoltaic Thermal (PV/T) collector is a device used to convert sunlight into electrical energy. The emission of sunlight also produces heat energy that cause a decrease in the electrical efficiency of a Photovoltaic Thermal (PV/T) collector. This research aims to find out the thermal and pressure drop of Photovoltaic Thermal (PV/T) collectors by using CFD Method. The performances of PV/T collectors are simulated by adding fins underneath the surface to absorb the unused waste heat. The variations of fin geometry are 15°, 30°, and 45° for angle fin and 50 mm, 75 mm, and 100 mm for fin height respectively.

The simulation results show that the increase in the fin angle affects the movement of working fluid flow become faster than the other fin angle variations. This may contribute to heat transfer enhancement so that the surface temperature of the PV/T collector become decrease. In other case, the fin height is increased to extend the contact area of heat transfer which attribute to decrease the PV/T surface temperature. On contrary to the thermal performance, the higher fin angle and fin height, the pressure drop will be increased and consequently, the consumption of the power will be increased to moving the fluid as well. The results also indicate that the best temperature is found to be 34,91 °C at 45°, 100 mm, and 4 m/s of angle fin, height fin, and fluid velocity respectively with pressure drop of 900,34 Pa.

Keywords: Photovoltaic Thermal, CFD, PV/T Temperature, Pressure Drop, Fin.

## ABSTRAK

### **PENGARUH VARIASI GEOMETRI SIRIP TIPE SUDUT TERHADAP TEMPERATUR DAN *PRESSURE DROP* KOLEKTOR *PHOTOVOLTAIC THERMAL* (PV/T) MENGGUNAKAN METODE CFD**

Oleh :

Joko Prasetyo

Kolektor *Photovoltaic Thermal* (PV/T) adalah alat yang digunakan untuk mengkonversi gelombang elektromagnetik menjadi energi listrik. Pancaran sinar matahari yang menghasilkan nilai kalor menyebabkan penurunan efisiensi elektrik dari sebuah kolektor *Photovoltaic Thermal* (PV/T). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik termal dan *pressure drop* dari kolektor *Photovoltaic Thermal* (PV/T) dengan metode CFD. Penelitian ini mensimulasikan penambahan sirip pada sistem pendinginan kolektor *Photovoltaic Thermal*. Variasi besar sudut adalah 15°, 30° dan 45° sedangkan variasi tinggi sirip sebesar 50 mm, 75 mm dan 100 mm.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin besar sudut dan ketinggian sirip akan meningkatkan pergerakan dan luas area aliran fluida sehingga dapat meningkatkan terjadinya perpindahan panas pada kolektor PV/T. Dengan demikian temperatur permukaan PV/T dapat menjadi lebih rendah. Namun *pressure drop* yang terjadi semakin tinggi akibat adanya penambahan besar sudut dan ketinggian sirip sehingga akan membutuhkan daya pemompaan fluida yang lebih tinggi. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa temperatur PV/T terendah adalah 34,91 °C yang terjadi pada variasi sudut sirip 45° dan tinggi sirip 100 mm pada kecepatan 4 m/s yang menghasilkan *pressure drop* sebesar 900,34 Pa.

Kata kunci : *Photovoltaic Thermal*, CFD, Temperatur PV/T, *Pressure Drop*, Sirip.

**PENGARUH VARIASI GEOMETRI SIRIP TIPE SUDUT TERHADAP  
TEMPERATUR DAN *PRESSURE DROP* KOLEKTOR *PHOTOVOLTAIC  
THERMAL* (PV/T) MENGGUNAKAN METODE CFD**

**Oleh :  
Joko Prasetyo**

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

**Pada**

**Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

Judul Skripsi : **PENGARUH VARIASI GEOMETRI SIRIP TIPE  
SUDUT TERHADAP TEMPERATUR DAN  
PRESSURE DROP KOLEKTOR PHOTOVOLTAIC  
THERMAL (PV/T) MENGGUNAKAN  
METODE CFD**

Nama Mahasiswa : **Joko Prasetyo**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1615021017**

Jurusan : **Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**



Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2

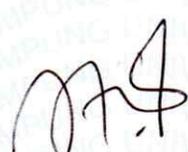
  
**Amrizal, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP 19700202 199803 1 004

  
**A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng.**  
NIP 19760715 200812 1 002

Ketua Jurusan  
Teknik Mesin

Kepala Program Studi  
S1 Teknik Mesin

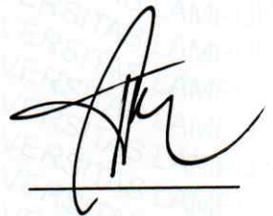
  
**Dr. Amrul, S.T., M.T.**  
NIP 19710331 199903 1 003

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

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

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



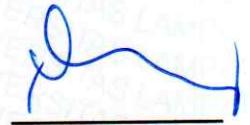
---

Anggota Penguji : **A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng.**

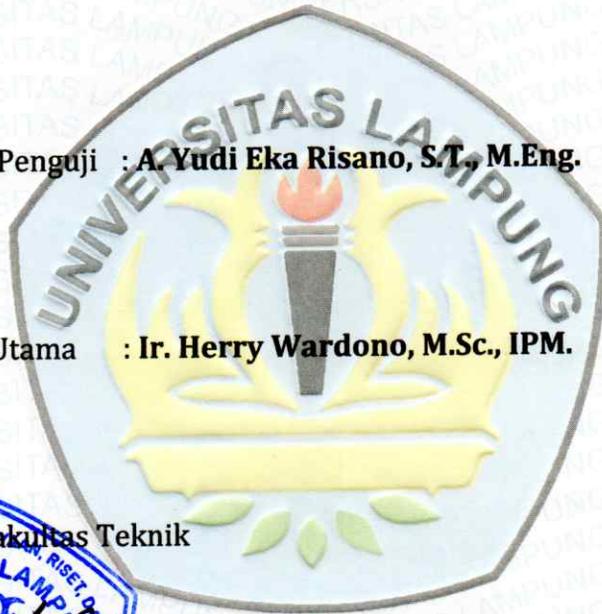


---

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



---



2. Dekan Fakultas Teknik



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**  
NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **26 November 2021**

## PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL  
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PENGATURAN  
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN  
REKTOR No. 3187/H26/DT/2010.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



JOKO PRASETYO  
NPM. 1615021017

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Fajar Bulan pada tanggal 19 September 1997. Penulis merupakan anak ke-5 dari pasangan Bapak Sudimin dan Ibu Siti Rokayah. Penulis tinggal di Jalan Lintas Liwa RT 005 RW 005 Pekon Karang Agung, Kecamatan Way Tenong, Kabupaten Lampung Barat. Penulis mengawali pendidikan formal di SD Negeri 1 Karang Agung (2004-2010), SMP Negeri 1 Way Tenong (2010-2013), SMK Negeri 1 Kebun Tebu (2013-2016).

Pada tahun 2016 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah mengikuti organisasi BEM-Universitas Lampung menjabat sebagai anggota sosial dan kemasyarakatan pada periode 2017-2018. Mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai anggota Riset dan Teknologi periode 2018-2019. Aktif di organisasi KUKIS UNILA menjabat sebagai *Engine Staff* periode 2018-2019. Aktif di organisasi Paguyuban Beasiswa Karya Salemba Empat sebagai anggota PSDM pada periode 2018-2019 dan sebagai Kadiv Pendidikan Riset dan Teknologi

periode 2019-2020. Penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT. Bukit Asam Unit Tarahan, Lampung pada bulan Januari-Februari 2019. Penulis juga melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Pekon Muara Baru, Kecamatan Kebun Tebu, Lampung Barat pada tahun 2020.

Pada skripsi ini penulis melaksanakan penelitian Tugas Akhir dengan Judul “Pengaruh Variasi Geometri Sirip Tipe Sudut Terhadap Temperatur dan *Pressure Drop* Kolektor *Photovoltaic Thermal* (PV/T) Menggunakan Metode CFD” di bawah bimbingan Bapak Amrizal, S.T.,M.T., Ph.D. dan Bapak A. Yudi Eka Risano, S.T.,M.Eng. serta sebagai Pembahas Bapak Ir. Herry Wardono, M.Sc., IPM.

Bandar Lampung, 11 Desember 2021

JOKO PRASETYO

## MOTTO

**“Allah SWT tidak membebani seseorang melainkan sesuai kesanggupannya”  
(QS. Al-Baqarah:286)**

**“Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan”  
(QS. Al-Insyirah:6)**

**“Dan janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah SWT. Sesungguhnya tiada berputus dari rahmat Allah SWT melainkan orang-orang yang kufur”  
(QS. Yusuf:87)**

**“Amalan yang lebih dicintai Allah SWT adalah amalan yang terus menerus dilakukan walaupun sedikit”  
(Nabi Muhammad SAW)**

**“Barang siapa memberi kemudahan kepada orang yang kesulitan maka Allah SWT memberi kemudahan kepadanya di dunia dan akhirat. Barang siapa merintis jalan mencari ilmu maka Allah SWT akan memudahkan bagiannya jalan ke surga”  
(HR. Muslim)**

**“sekali layar berkibar pantang surut ke belakang”  
(Zikwan)**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang*

### **PERSEMBAHAN**

*Alhamdulillahirobbil'alamin, dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat, rizki dan karunia yang Engkau berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.*

*Teriring doa, rasa syukur dan segala kerendahan hati. Dengan segala cinta dan kasih sayang ku persembahkan karya ini untuk orang-orang yang sangat berharga dalam hidupku:*

#### **Bapakku (SUDIMIN) dan Ibuku (SITI RUKOYAH)**

*Teruntuk Bapak dan Ibu yang sudah tenang di sana. Terima kasih atas segala yang sudah Bapak dan Ibu berikan Kepada joko. Anakmu sangat bersyukur dan berserah atas segala nikmat dan karunia yang telah Allah SWT berikan. Menjadi anakmu adalah suatu kebanggan bagi joko untuk selalu berbakti kepadamu.*

*Terima kasih Bapak Terima kasih Ibu. Kasih sayangmu dan kesabaranmu membuatku sangat bersyukur. Semoga anakmu ini menjadi anak yang sholeh dan menjadi pribadi yang lebih baik lagi. Al-Fatihah*

#### **Kakak-kakakku (Jumali, Siswanto, Tati Diana, S.Pd, Agus Susanto)**

*yang selalu memberikan semangat, kasih sayang dan menghiburku ketika aku sedang kelelahan dan merasa sedih.*

#### **Para Pendidik**

*Kepada bapak ibu dosen dan guru-guru, yang telah memberikan ilmu, nasihat, bimbingan, kesabaran, waktu, dan arah yang telah diberikan.*

**Almamater tercinta Universitas Lampung**

## SANWACANA

Puji syukur khadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Skripsi ini berjudul “ Pengaruh Variasi Geometri Sirip Tipe Sudut Terhadap Temperatur dan *Pressure Drop* Kolektor *Photovoltaic Thermal* (PV/T) Menggunakan Metode CFD”.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari peranan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Karomani, M.Si. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Prof. Drs. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T.,M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung beserta Staff dan jajarannya.
3. Bapak Dr. Amrul, S.T.,M.T sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Ibu Novri Tanti, S.T.,M.T sebagai Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Bapak. Amrizal, S.T.,M.T.,Ph.D sebagai Dosen Pembimbing satu yang selalu memberikan pengarahan dan bimbingan serta ilmu-ilmu baru dalam menyelesaikan skripsi
6. Bapak A. Yudi Eka Risano, S.T.,M.Eng sebagai Dosen Pembimbing dua yang

memberikan saran-saran perbaikan, nasihat serta motivasi hingga skripsi ini dapat terselesaikan.

7. Bapak Ir. Herry Wardono, M.Sc., IPM sebagai Dosen Pembahas yang telah memberikan nasihat, motivasi dan kritik serta masukan positif dalam penyelesaian skripsi ini.
8. Seluruh Dosen dan Staff Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik yang telah memberikan pendidikan, memberikan ilmu dan nasihat selama penulis menempuh pendidikan.
9. Kedua Orang Tua yang selalu memberikan doa, dukungan, motivasi serta nasihat yang baik bagi penulis.
10. Mas Jumali, Mas Siswanto, Mba Tati Diana, S.Pd dan Mas Agus Susanto. Selaku kakak yang sangat perhatian dan selalu memberikan nasihat dan masukan yang membuat penulis selalu bersemangat.
11. Devy Febriyanti, S.Si yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis dalam penyelesaian skripsi
12. Sobat Ansys Abdurrahman Firmansyah, S.T, Rizal Khairudin, S.T, Angelia Eka Salsabila, S.T, Fathur Rifai, Randa Admiral, Panji Firmanul Hakim, S.T, Ardi Rahardia, S.T. yang telah memberikan semangat masukan dan bantuan dalam penyelesaian skripsi.
13. Seluruh teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2016 yang telah bersama-sama berjuang dalam dunia keteknikan yang selalu memberikan kehangatan dan kenyamanan di dunia perkuliahan. Serta mendukung penulis untuk bersemangat dalam menyelesaikan skripsi sampai selesai.

Penulis berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca pada umumnya dan khususnya untuk teman-teman mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Selain itu, penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran sebagai masukan untuk penyempurnaan penulisan di masa mendatang.

Bandar Lampung, 11 Desember 2021  
Penulis

Joko Prasetyo

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xviii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	5
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Kerangka Pemikiran .....	6
1.6 Sistematika Penulisan.....	7
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Matahari.....	8
2.2 Pemanfaatan Energi Matahari .....	9
2.3 Photovoltaic .....	10
2.4 Klasifikasi Kolektor Surya .....	13
2.5 Photovoltaic Thermal (PV/T) Hybrid.....	18
2.6 Jenis Aliran PV/T <i>Air System</i> .....	18
2.7 Sirip Pada PV/T <i>Air System</i> .....	20
2.8 Persamaan Dasar PV/T <i>Air System</i> .....	22
2.9 Perpindahan Panas .....	23

2.10	Computational Fluid Dynamic (CFD).....	27
2.11	Metode Perhitungan CFD.....	29

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

3.1	Tempat dan Waktu Penelitian .....	31
3.2	Parameter Penelitian.....	31
3.3	Perancangan Desain Geometri Sirip.....	33
3.4	Proses Simulasi CFD.....	37
3.5	Diagram Alir Metode Penelitian .....	38

### **IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1	Proses Simulasi.....	39
4.2	Validasi Data .....	47
4.3	Pengembangan Penelitian Berdasarkan Variasi Sudut Sirip.....	54
4.4	Pengembangan Penelitian Berdasarkan Variasi Tinggi Sirip.....	71

### **V. PENUTUP**

5.1	Simpulan.....	87
5.2	Saran .....	88

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>89</b>
-----------------------------	-----------

<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>91</b>
----------------------	-----------

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1 Data Hasil Eksperimen Dengan Variasi Laju Aliran Massa Fluida Udara.....	48
4.2 Data Hasil Temperatur Masuk dan Keluar Fluida Kerja (Udara) Secara Ekperimen dan Simulasi.....	51
4.3 Data Hasil Temperatur Permukaan Panel Surya Secara Eksperimen dan Simulasi.....	53
4.4 Data Hasil Simulasi Variasi Sudut Sirip.....	56
4.5 Data Hasil Simulasi Variasi Tinggi Sirip.....	72

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Peredaran Bumi Mengitari Matahari (Goswami, 2015).....	8
2.2 Penyusunan Panel Surya (Geretschlager, 2016).....	11
2.3 Kolektor Plat Datar (Soteris, 2004).....	14
2.4 Kolektor Parabola (Soteris, 2004).....	16
2.5 <i>Evacuated Tube Collector</i> (Soteris, 2004).....	17
2.6 Aliran <i>Single Pass</i> (Guan, 2010).....	19
2.7 Aliran <i>Double Pass</i> (Guan, 2010).....	20
2.8 (a) <i>Rectangle Fin</i> (b) <i>Parabolic Fin</i> (c) <i>Triangular Fin</i> (d) <i>Pin Fin</i> (Mokheimer, 2003).....	21
2.9 Ilustrasi PV/T Air System Aliran <i>Double Pass</i> (Elsafi, 2015).....	22
2.10 Ilustrasi PV/T Air System Aliran <i>Single Pass</i> (Elsafi, 2015).....	23
3.1 Bentuk Geometri Sirip 15°.....	33
3.2 Bentuk Geometri Sirip 30°.....	34
3.3 Bentuk Geometri Sirip 45°.....	34
3.4 Bentuk Variasi Tinggi Sirip 50 mm di 45°.....	35
3.5 Bentuk Variasi Tinggi Sirip 75 mm di 45°.....	36
3.6 Bentuk Variasi Tinggi Sirip 100 mm di 45°.....	36
3.7 Diagram Alir Penelitian.....	38
4.1 Navigasi Lembar Kerja <i>Ansys Fluent</i> .....	39
4.2 Prose <i>Input Geometry</i> .....	40
4.3 Proses Pembuatan Domain Fluida.....	41
4.4 Proses <i>Meshing</i> .....	42
4.5 <i>Meshing Polyhexcore</i> .....	43
4.6 Proses <i>Solver</i> .....	44

4.7	Proses <i>Initialization</i> dan <i>Calculation</i> .....	45
4.8	<i>Residual</i> .....	46
4.9	Grafik <i>Volume Average Of Temperature</i> .....	47
4.10	Grafik Perbandingan Temperatur Keluaran Udara Terhadap Laju Aliran Massa Secara Simulasi dan Eksperimen.....	52
4.11	Grafik Perbandingan Temperatur Permukaan PV/T Terhadap Laju Aliran Massa Secara Simulasi dan Eksperimen.....	54
4.12	Grafik Pengaruh Kecepatan Udara Masuk Terhadap Nilai Temperatur Keluaran Dengan Persentase penurunannya.....	58
4.13	Kontur Temperatur Keluaran (a) Variasi Sudut Sirip 15° (b) Variasi Sudut Sirip 30° (c) Variasi Sudut Sirip 45°.....	59
4.14	Grafik Pengaruh Kecepatan Udara Masuk Terhadap Nilai Temperatur Permukaan PV/T Dengan Persentase Penurunannya.....	61
4.15	Kontur Temperatur PV/T (a) Variasi Sudut Sirip 15° (b) Variasi Sudut Sirip 30° (c) Variasi Sudut Sirip 45°.....	63
4.16	Vektor <i>Velocity</i> (a) Variasi Sudut Sirip 15° (b) Variasi Sudut Sirip 30° (c) Variasi Sudut Sirip 45°.....	65
4.17	Grafik Pengaruh Kecepatan Udara Masuk Terhadap Nilai <i>Pressure Drop</i> Dengan Persentase Kenaikannya.....	67
4.18	Kontur <i>Pressure</i> (a) Variasi Sudut Sirip 15° (b) Variasi Sudut Sirip 30° (c) Variasi Sudut Sirip 45°.....	70
4.19	Grafik Pengaruh Kecepatan Udara Masuk Terhadap Nilai Temperatur Keluaran Dengan Persentase Penurunannya.....	74
4.20	Kontur Temperatur Keluaran (a) Variasi Tinggi Sirip 15° (b) Variasi Tinggi Sirip 30° (c) Variasi Tinggi Sirip 45°.....	75
4.21	Grafik Pengaruh Kecepatan Udara Masuk Terhadap Nilai Temperatur Permukaan PV/T Dengan Persentase Penurunannya.....	77
4.22	Kontur Temperatur Permukaan PV/T Pada (a) Variasi Tinggi Sirip 50 mm (b) Variasi Tinggi Sirip 75 mm (c) Variasi Tinggi Sirip 100 mm.....	79
4.23	Vektor <i>Velocity</i> Pada (a) Variasi Tinggi Sirip 50 mm (b) Variasi Tinggi Sirip 75 mm (c) Variasi Tinggi Sirip 100 mm.....	81

4.24	Kontur <i>Pressure</i> Pada (a) Variasi Tinggi Sirip 50 mm (b) Variasi Tinggi Sirip 75 mm (c) Variasi Tinggi Sirip 100 mm.....	83
4.25	Grafik Pengaruh Kecepatan Udara Masuk Terhadap Nilai <i>Pressure Drop</i> Dengan Persentase Kenaikannya.....	85

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi di dunia memiliki kontribusi yang amat bermanfaat dalam aktivitas manusia. Sementara ini penyokong pokok sumber energi di sebagian besar negara di dunia hanya mengandalkan minyak bumi. Pasokan minyak bumi yang semakin menurun menyebabkan kelangkaan dan harga yang melonjak mahal. Bersamaan dengan kondisi yang semakin berkurangnya sumber energi minyak bumi, maka upaya yang banyak dilakukan pada saat ini adalah mengenai energi alternatif yang dapat terus diperbaharui (*renewable resources*). Pancaran sinar matahari adalah alternatif yang bisa dimanfaatkan dalam menanggulangi krisis energi di dunia.

Berdasarkan kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral No. 39 Tahun 2017 tentang pelaksanaan kegiatan fisik pemanfaatan energi baru dan energi terbarukan serta konservasi energi. Bahwa partisipasi pemerintah dalam penyediaan sumber energi baru terbarukan untuk pembangkit tenaga listrik maupun non tenaga listrik dalam kemampuan dalam penyediaan energi nasional dan pelaksanaan konservasi energi. Memutuskan berdasarkan pasal 4 mengenai instalasi penyediaan tenaga listrik dari energi baru dan energi

terbarukan bahwa Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) diperlukan guna ketahanan energi nasional.

Energi surya atau energi matahari membentuk energi baru terbarukan yang memiliki potensi yang sangat tinggi, ramah lingkungan dan bebas polusi. Pada periode penyimpanan sepanjang hari, matahari dapat memancarkan energinya sebesar empat juta exajoule ( $1 \text{ EJ} = 10^{18} \text{ J}$ ) tetapi energi yang sampai ke bumi berkisar  $5 \times 10^4 \text{ EJ}$ . Pemanfaatan ini memiliki beberapa aspek penting yang dapat mempengaruhi jalannya keberlangsungan energi terbarukan dan meninggalkan energi fosil (Sandeep,2017).

Produksi listrik dengan bahan energi fosil. Memiliki dampak yang sangat mengkhawatirkan terhadap pemanasan global, kemudian kenaikan tarif listrik yang semakin meningkat, seharusnya menjadi perhatian khusus dari pemerintah ataupun pihak swasta untuk bersama-sama menggabungkan pola pikir untuk mencari solusi. Seperti efisiensi penggunaan energi listrik dengan beban berat, pengurangan rugi-rugi daya pada saat pendistribusian listrik serta pemanfaatan energi terbarukan di sekitar area yang ramah lingkungan sebagai sumber energi listrik alternatif.

Penggunaan *Photovoltaic* sebagai pemanfaatan energi matahari merupakan cara yang dapat dilakukan di mana alat tersebut dapat mengkonversikan cahaya matahari menjadi energi listrik, dengan cara gelombang elektromagnetik hasil radiasi matahari dapat merubah molekul pada senyawa silikon pada *Photovoltaic* atau panel surya menjadi elektron bebas (elektron negatif) yang bergerak dan menghasilkan listrik. Energi yang dihasilkan kemudian disimpan

dan digunakan sesuai dengan kebutuhannya (Hersch,1982).

Berdasarkan letak geografis, Indonesia berada di garis khatulistiwa. Potensi ini disokong dengan besarnya nilai distribusi rata-rata matahari di Indonesia sebesar 4,8 kWh/m<sup>2</sup> per hari. Namun banyak terjadi permasalahan yang dapat mengurangi performa dari penyerapan radiasi sinar matahari. Pengurangan performa tersebut disebabkan oleh temperatur panel surya yang meningkat akibat proses pelepasan panas yang buruk dari panel surya, sehingga menyebabkan efisiensi dari panel surya yang terus menurun. Oleh karena itu diperlukan pembentukan geometri tambahan seperti penggunaan sirip untuk membantu proses pelepasan panas yang terjadi (Souissa,2018).

Penurunan dari efisiensi elektrikal menjadikan salah satu pemicu dikembangkannya teknologi baru guna mengurangi peningkatan temperatur kerja yang terjadi akibat paparan dari radiasi cahaya matahari. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan yaitu memanfaatkan teknologi *Photovoltaic Thermal* (PV/T). *Photovoltaic Thermal* (PV/T) merupakan teknologi yang memadukan dua sistem dalam satu *frame*, sehingga paparan panas yang disebabkan oleh radiasi cahaya matahari dapat diminimalisir. Kolektor surya yang banyak dikembangkan yaitu kolektor pelat datar atau disebut juga *Flat-Plate Collectors* (FPC). Hal ini di karenakan kolektor pelat datar dapat dengan mudah diaplikasikan, dengan desain yang sederhana serta lebih mudah untuk melakukan perpindahan panas secara merata. Pengujian yang menggunakan *Flat-Plate Collectors* (FPC) banyak digunakan dengan merubah komponen material, desain serta membuat susunan konfigurasi pendingin udara dengan

sirip sebagai penyerap panas.

Beberapa metode yang dilakukan untuk menjaga temperatur panel surya agar tetap dingin, salah satunya yaitu penelitian dari Mokhtari dkk, (2017). Penelitian yang dilakukan adalah dengan menambahkan plat tipis di bagian bawah panel surya dengan tiga pemodelan sirip pendingin yang berbeda. Panas yang dikeluarkan dari proses radiasi sinar matahari dapat dikurangi dengan merambatkan panas di antara plat sirip yang dihembus udara pada kondisi *steady*. Model geometri sirip yang digunakannya memiliki bentuk sudut sebesar 30 dan 45 derajat dengan aliran yang *linier* dari arah masuknya udara. Pemodelan dari geometri tersebut menghasilkan perpindahan panas yang sangat tinggi yakni sebesar 40-50% pada aliran laminar dan 15-20% pada aliran turbulen. Semakin baik proses perpindahan panas atau *heat transfer* maka kondisi dari panel surya akan semakin baik untuk menyerap energi foton yang dihasilkan.

Penelitian yang akan dilakukan adalah proses pengembangan dari penelitian yang telah dilakukan. Pengembangan yang dilakukan diupayakan untuk mempermudah melihat efisiensi dari panel surya bersumber pada nilai termal dan *pressure drop*. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *software Computational Fluid Dynamic* (CFD). CFD adalah salah satu ilmu dinamika fluida yang menerapkan metode numerik dan algoritma dalam memecahkan dan menganalisis masalah yang terjadi pada sebuah *experiment*. Hal inilah yang menjadi dasar perlu dilakukannya simulasi dari kerja panel surya plat datar. Dengan penambahan sirip membentuk sudut untuk menganalisis termal

dan *pressure drop* menggunakan CFD *Ansys Fluent* agar didapatkan karakteristik unjuk kerja yang diharapkan.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Membuat simulasi untuk mengetahui unjuk kerja panel surya kolektor pelat datar dengan menggunakan geometri sirip tipe sudut.
2. Menganalisis karakter termal dan *pressure drop* dari kolektor *Photovoltaic Thermal* (PV/T) dengan variasi sudut sirip dan tinggi sirip.

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini dibuat agar fokus pembahasan dari penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Menggunakan panel surya jenis *Flat Plate Collector* (FPC) dengan ukuran 500 mm X 200 mm.
2. Simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *Ansys Fluent*
3. Simulasi dilakukan dengan kondisi *steady state*.
4. Material yang digunakan untuk *absorber* dan sirip adalah aluminium
5. Menggunakan sirip udara geometri *linier* membentuk sudut dengan aliran udara *single pass*.
6. Ukuran sirip yang digunakan memiliki tinggi 25 mm, dengan variasi kemiringan sudut sirip sebesar 15°, 30°, dan 45° dan panjang setiap sirip 50 mm dengan tebal 1 mm.

7. Variasi tinggi sirip sebagai variasi lanjutan dengan ketinggian sebesar 50 mm, 75 mm dan 100 mm.
8. Parameter kecepatan udara *input* sebagai kondisi batas dari simulasi CFD yang dilakukan sebesar 1 m/s, 2 m/s 3 m/s dan 4 m/s.
9. Parameter radiasi sebesar  $1000 \text{ W/m}^2$
10. Jenis metode viskositas yang digunakan K- $\omega$  SST.

#### 1.4 Kerangka Pemikiran

Energi matahari adalah energi yang paling besar dan ramah lingkungan. Banyak proses pemanfaatan yang dapat dilakukan dengan bantuan energi matahari. Salah satunya dengan pemanfaatan panel surya atau *Photovoltaic Thermal* (PV/T), dengan adanya panel surya energi matahari dapat diubah menjadi energi listrik.

Pada penelitian (Mokhtari, 2017) menyebutkan bahwa proses perpindahan panas yang terjadi pada panel surya akan menambah nilai efisiensi dari panel tersebut untuk menghasilkan energi listrik yang besar. Jenis aliran yang sangat berpengaruh tentunya aliran turbulen yang dapat membuat proses perpindahan panas semakin merata ke setiap sudut yang ada pada panel surya. Berdasarkan penelitian (Hidayat, 2020) menyebutkan bahwa aliran *single pass* mempunyai efektivitas penurunan yang kurang baik dengan jenis sirip linier. Pada pengembangan penelitian ini digunakan jenis aliran aliran *single pass* dengan bentuk yang berbeda, sehingga menghasilkan efektivitas penurunan PV/T yang lebih baik dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

### **I. PENDAHULUAN**

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

### **II. TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisikan mengenai teori pendukung penelitian, mulai dari teori perpindahan panas, potensi energi matahari, mekanisme dan cara kerja dari panel surya (PV/T) dan panel surya termal (PV/T) serta perangkat lunak CFD dan penelitian yang telah dilakukan.

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

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

### **IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisikan tentang data pengamatan hasil uji dan eksperimen hasil simulasi perangkat lunak *CFD* dan melakukan analisis hasil pengamatan.

### **V. SIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran yang diberikan untuk penelitian yang akan datang.

### **DAFTAR PUSTAKA**

Berisikan tentang rujukan atau referensi untuk menyokong dan mendukung penelitian yang dilakukan.

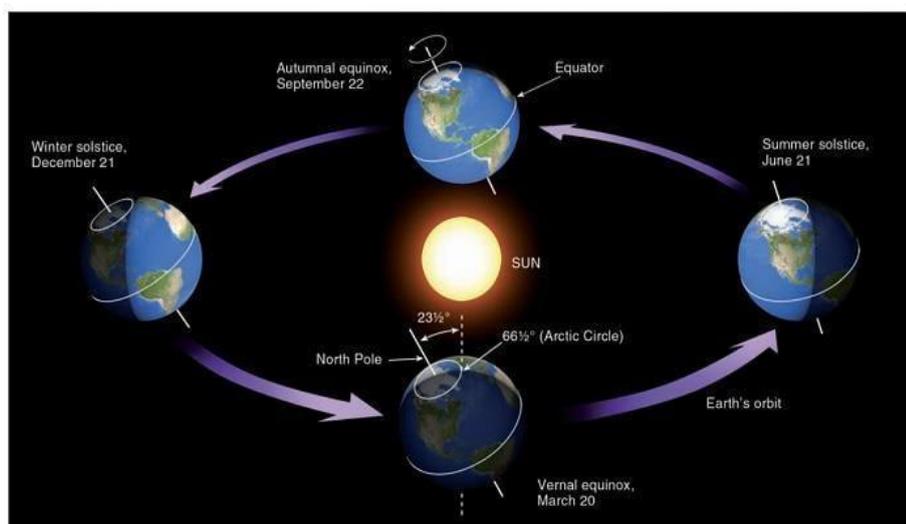
### **LAMPIRAN**

Berisikan tentang data-data tambahan yang mendukung penelitian.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Matahari

Matahari adalah salah satu bintang yang menjadi poros utama pada sistem tata surya yang ada di galaksi Bima Sakti. Matahari mempunyai diameter sebesar  $13,9 \times 10^5$  km yang tersusun atas lapisan gas terdiri dari 80% hidrogen dan 19% helium. Reaksi fusi antara hidrogen dan helium akan menciptakan energi yang sangat besar dan menjadi sumber energi matahari. Lapisan terluar menghasilkan temperatur sebesar 5.760 K berdasarkan energi yang diperoleh di permukaan bumi. Temperatur pada pusat matahari diperkirakan sebesar  $20 \times 10^6$  K.



Gambar 2.1 Peredaran Bumi Mengitari Matahari (Goswami, 2015)

Matahari dan bumi memiliki jalur peredaran masing-masing hal ini disebabkan jalur lintasan yang berbentuk elips yang membuat matahari dan bumi memiliki jarak yang berbeda-beda. Jarak rata-rata matahari ke bumi sebesar  $1.496 \times 10^{11}$  menghasilkan daya pancar atau radiasi rata-rata sebesar  $1.367 \text{ W/m}^2$ . Sumber energi yang dihasilkan merupakan energi terbarukan dan dapat dimanfaatkan untuk menggantikan energi konvensional seperti batu bara dan minyak bumi maupun gas alam (Goswami, 2015).

## 2.2 Pemanfaatan Energi Matahari

Matahari juga memiliki nilai konstanta atau irradiansi dari matahari sebesar  $1353\text{-}1368 \text{ W/m}^2$  tergantung jarak matahari ke permukaan bumi. Energi ini sangatlah besar dan energi matahari tidak akan habis. hal ini yang menjadi landasan para ilmuwan untuk melakukan penelitian agar energi ini bisa dimanfaatkan secara maksimal. Salah satu cara untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik adalah menggunakan sel surya atau *Photovoltaic Thermal (PV/T)* (Duffie, 2006).

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dimanfaatkan untuk mengonversi energi matahari menjadi energi listrik. Alat yang mampu mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik dikenal dengan sebutan panel surya atau *Photovoltaic Thermal (PV/T)*. Penerapan PLTS sebagai energi alternatif pengganti energi konvensional di Indonesia cukup baik yakni sekitar  $4,5 \text{ kWh/m}^2$  / hari yang setara dengan  $675 \text{ Wh/hari}$  yang dihasilkan oleh modul PV/T berkapasitas  $100 \text{ Wp}$  (Watt peak) dengan luas permukaan  $1 \text{ m}^2$  dan

efisiensi PV/T sebesar 15%. Penggunaan sebesar 15% dari radiasi yang diberikan dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik yang bebas dari polusi (Akhmad, 2005).

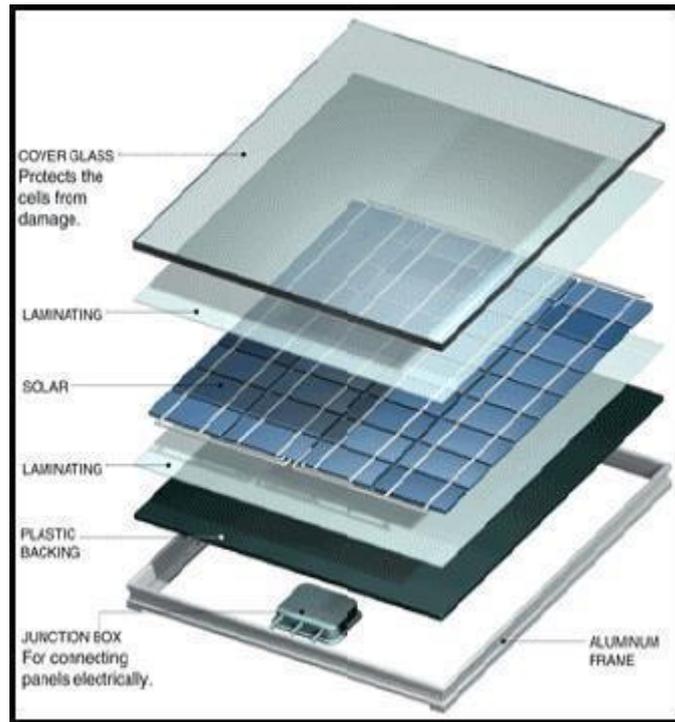
## 2.3 Photovoltaic

*Photovoltaic* atau sel surya merupakan sebuah alat yang dapat mengkonversikan cahaya matahari dan memberikan energi kepada elektron sehingga menghasilkan arus listrik melalui gelombang radiasi yang dipancarkan. Sel surya tersusun dari material semikonduktor yang dibentuk dalam satu unit modul. Sebuah modul yang tersusun dari banyak sel surya dapat disusun secara seri maupun paralel.

Energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya dapat terjadi akibat energi foton yang dibawa oleh cahaya matahari melepaskan elektron-elektron yang terdapat pada *junction* (sambungan) semikonduktor tipe P dan N untuk mengalir (Hersch, 1982).

### 2.3.1 Struktur Penyusunan *Photovoltaic*

*Photovoltaic* dibuat agar cahaya matahari yang datang dapat diterima dengan maksimal, sehingga didapatkan efisiensi tertinggi. Struktur penyusun PV/T dibuat dengan bentuk semi transparan. Hal ini memiliki tujuan agar proses konversi energi matahari dapat bekerja dengan baik. Tersaji pada gambar Gambar 2.2 merupakan struktur penyusunan *Photovoltaic Thermal* (PV/T).



Gambar 2.2 Penyusunan Panel Surya (Geretschlager, 2016)

Lapisan teratas sel surya terdapat kaca yang berfungsi untuk meneruskan cahaya matahari yang datang. Kaca dilapisi dengan lapisan antireflektif agar mencegah cahaya yang datang tidak keluar dari sel surya. Lapisan berikutnya adalah *encapsulant* material, lapisan ini merupakan lapisan pembatas antar lapisan atau struktur panel surya yang berbahan *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA), bahan ini berbentuk seperti *rubber* sehingga dapat menjadi pelindung bagi sel surya. *Photovoltaic* tersusun dari material semikonduktor tipe P dan N. Semikonduktor tipe N memiliki muatan negatif dan tipe P bermuatan positif. *Insulating back sheet* terbuat dari bahan plastik yang berfungsi untuk mengisolasi dan melindungi PV/T dari kelembapan. *Junction box* memiliki fungsi mengalirkan energi listrik ke luar panel (Geretschlager, 2016).

### 2.3.2 Prinsip Kerja Panel Surya

Semua cahaya, termasuk sinar matahari adalah bentuk radiasi elektromagnetik yang mirip dengan gelombang radio atau gelombang mikro. Matahari mengeluarkan radiasi ini karena panas. Radiasi benda hitam ini terdiri dari campuran luas panjang gelombang yang berbeda, beberapa di antaranya adalah *spectrum* yang dapat dilihat oleh mata telanjang dan banyak panjang gelombang lebih pendek atau lebih panjang. Matahari adalah *blackbody*, jika dingin, akan tampak hitam karena hanya akan menyerap radiasi. Lebih dari setengah energi matahari mencapai permukaan bumi adalah dalam bentuk radiasi yang terlihat. Ozon menyerap atau menyaring sebagian besar dari panjang gelombang *energetic*, beruntung karena sinar ultraviolet gelombang pendek dapat merusak bahan organik dan makhluk hidup.

Sifat fisika dari sel PV/T sangat mirip dengan diode klasik dengan *junction* P dan N. Ketika *junction* menyerap cahaya, energi foton yang diserap ditransfer ke sistem elektron-proton material, menciptakan muatan yang dipisahkan oleh *junction*. Muatan ini dapat berupa pasangan elektron-ion dalam muatan di daerah *junction* dan menciptakan *gradient potensial*, juga akselerasi di bawah medan listrik, dan bersirkulasi sebagai arus melalui rangkaian eksternal. Kuadrat arus yang dikalikan dengan resistansi rangkaian adalah jumlah daya yang dapat dikonversikan menjadi listrik. Energi yang tersisa dari foton akan meningkatkan suhu *cell* dan menghilang ke lingkungan (Patel, 2005)

Cahaya matahari yang datang ke permukaan panel merupakan gelombang elektromagnetik yang terdapat partikel berukuran sangat kecil bernama foton. Foton akan menuju lapisan semikonduktor tipe P dan tipe N, semikonduktor tipe N memiliki elektron berlebih pada struktur atomnya sedangkan tipe P kekurangan elektron pada struktur atomnya. Elektron berlebih pada sebuah atom akan bergerak mengisi kekosongan atom yang memiliki kekurangan elektron pada struktur atomnya. Elektron pada semikonduktor tipe N akan memiliki kecenderungan berpindah untuk mengisi kekosongan elektron pada tipe P sehingga menghasilkan medan listrik.

#### **2.4 Klasifikasi Kolektor Surya**

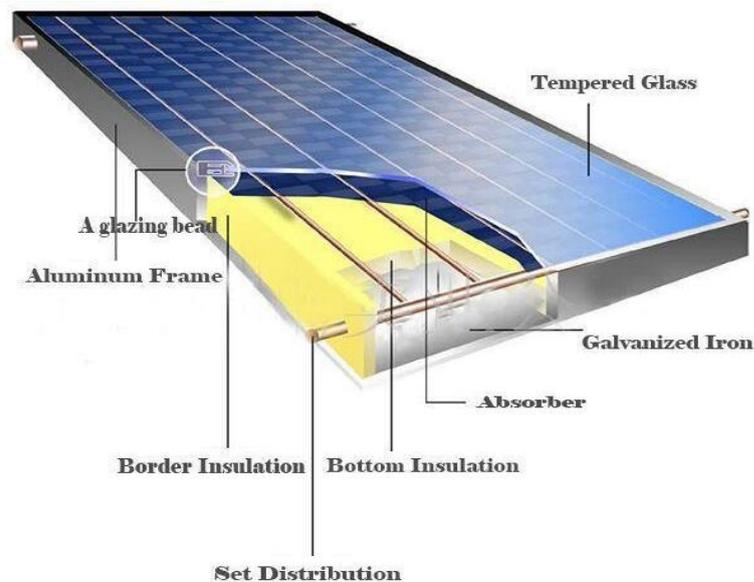
Kolektor surya merupakan alat penukar panas yang dapat menyerap energi surya dan mengubahnya menjadi energi panas (Duffie, 2006). Unjuk kerja dari kolektor surya dipengaruhi oleh sifat fisik dari *absorber*. Unjuk kerja termal kolektor juga dipengaruhi oleh jenis kolektor, konfigurasi saluran udara, *transmisivitas* penutup atas kolektor, kecepatan udara dan dimensi kolektor.

Kolektor termal secara umum terdiri dari dua jenis, yaitu kolektor termal tidak terpusat (*non concentrating/ stationery*) dan terpusat (*concentrating*). Kolektor termal tidak terpusat dapat dibedakan dari klasifikasi berdasarkan temperatur, dimensi, dan penyerapannya, yaitu sebagai berikut:

### 2.4.1 Kolektor Plat Datar

Kolektor surya dengan plat datar merupakan kolektor yang paling umum digunakan. Kolektor plat datar menerima radiasi matahari dari satu arah.

Gambar 2.3 merupakan komponen penyusun plat datar.



Gambar 2.3 Kolektor Plat Datar (Soteris, 2004)

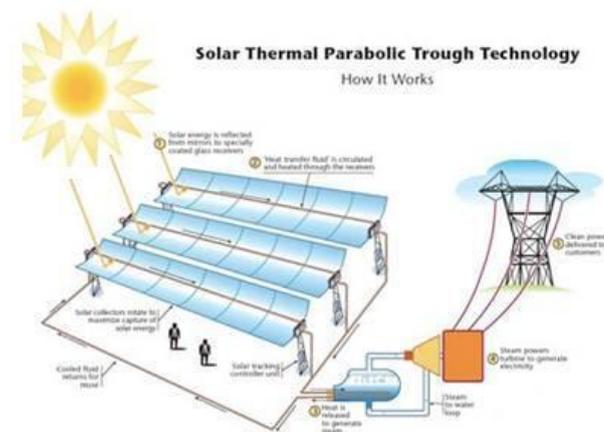
Radiasi matahari akan sampai ke kolektor dan menembus kaca transparan yang terdapat pada kolektor surya. Energi matahari akan diteruskan oleh kaca dan diserap plat *absorber*, panas yang dihasilkan oleh radiasi matahari akan terpusat pada plat *absorber* berwarna hitam mencapai temperatur  $30\text{ }^{\circ}\text{C} - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$  kemudian ditransfer ke fluida kerja yang mengalir. Pada penggunaan fluida kerja air, ditambahkan pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air yang masuk ke dalam kolektor untuk menerima transfer panas dari plat *absorber*. Sedangkan pada penggunaa fluida kerja gas atau udara dapat menggunakan sirip sebagai penambah

luar area perpindahan panas, sehingga suhu dari panel surya dapat terjaga. Karena jika suhu panel surya terjaga dengan baik maka nilai efisiensi elektrik dari panel surya tidak akan menurun.

Pada penggunaan fluida kerja udara, ditambahkan saluran untuk udara masuk guna menerima transfer dari plat *absorber*. Terdapat isolator di bagian bawah yang bertindak sebagai penyekat panas agar panas yang terpusat pada plat *absorber* tidak menyebar ke lingkungan luar kolektor sehingga dapat diserap dengan baik oleh fluida kerja yang mengalir (Soteris, 2004).

#### 2.4.2 Kolektor Parabola

Kolektor parabola dibuat untuk memusatkan pantulan sinar matahari pada pipa yang dialiri fluida kerja. Sinar matahari yang datang direfleksikan oleh kaca menuju pipa sehingga temperatur pipa yang umumnya berwarna hitam meningkat mencapai temperatur kerja  $60^{\circ}\text{C}$ – $240^{\circ}\text{C}$ . Panas yang terdapat pada pipa ditransfer menuju fluida yang mengalir di dalamnya. Panas yang dialirkan melalui pipa kemudian dialirkan ke dalam sebuah boiler atau tabung untuk mereaksikan panas tersebut menjadi uap bertekanan. Tekanan uap yang dihasilkan tersebut digunakan untuk menjalankan sebuah turbin dengan cara menyempotkan udara bertekanan tersebut mengenai sudu-sudu pada turbin. Ketika generator turbin bergerak maka dapat menghasilkan energi listrik yang dapat dimanfaatkan setiap harinya.



Gambar 2.4 Kolektor Parabola (Soteris, 2004)

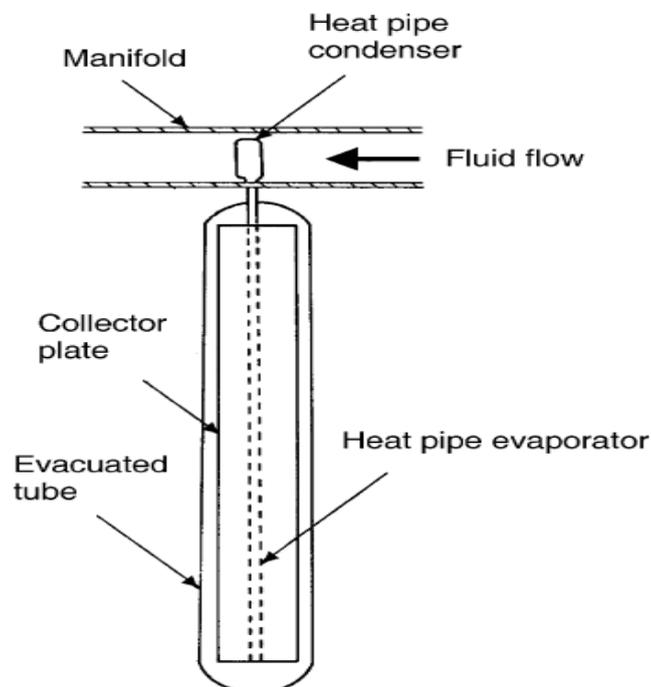
Gambar 2.4 mengilustrasikan sinar matahari yang datang kemudian direfleksikan oleh kaca berbentuk parabola dipusatkan ke pipa. Desain parabola bertujuan agar sinar matahari yang datang akan direfleksikan menuju pipa, selain itu desain parabola juga dapat mengurangi kerugian panas akibat konveksi dari udara sekitar.

#### 2.4.3 *Evacuated Tube Collector*

*Evacuated Tube Collector* adalah kolektor yang menggunakan sebuah tabung kaca yang berisi pipa panas dan plat absorber sebagai pengumpul energi panas matahari. *Evacuated Tube Collector* beroperasi dengan kolektor lain, kolektor surya ini terdiri dari tabung vakum yang di dalam terdapat sebuah pipa panas seperti Gambar 2.5. Tabung vakum dapat mengurangi kerugian konveksi dan konduksi, sehingga dapat mengumpulkan panas lebih baik dan dapat beroperasi pada suhu tinggi, lebih tinggi dari kolektor plat datar.

Kolektor ini menggunakan perubahan fase cair-uap untuk mentransfer panas pada efisiensi tinggi. Kolektor ini memiliki pipa panas yang ditempatkan di dalam tabung yang tertutup rapat. Pipa yang merupakan tembaga tersegel, kemudian diletakkan pada sirip tembaga hitam yang mengisi tabung (plat *absorber*). Dalam siklus ini panas menguapkan cairan, dan uap tersebut berpindah ke daerah pendingin di mana ia akan melepaskan panas latennya.

Selanjutnya cairan akan kembali ke kolektor dan prosesnya berulang. Logam yang berada di ujung pipa akan menjadi penukar panas (*manifold*). Air atau glikol akan mengalir melalui logam dan mengambil panas dari tabung. Cairan tersebut kemudian membawa panas ke penyimpanan panas seperti dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 *Evacuated Tube Collector* (Soteris, 2004)

## 2.5 Photovoltaic Thermal (PV/T) Hybrid

*Photovoltaic Thermal (PV/T) Hybrid* merupakan sebuah upaya peningkatan efisiensi dari *Photovoltaic*. *Photovoltaic* konvensional memanfaatkan cahaya matahari yang mengandung partikel kecil berupa foton kemudian dikonversikan menjadi energi listrik. Pancaran radiasi matahari yang diterima sel surya akan mengakibatkan temperatur permukaan panel meningkat dan mengakibatkan turunnya efisiensi elektrik. Radiasi matahari yang sebagian besar tidak semua diubah dan menjadi energi listrik. Hal ini disebabkan energi keluaran yang diperoleh berupa elektrik dan termal. Energi keluaran yang diperoleh berpengaruh pada *input* energi surya, temperatur *ambien*, kecepatan udara serta temperatur kerja di bagian sistem dan perpindahan panas (Yianoulis, 2001).

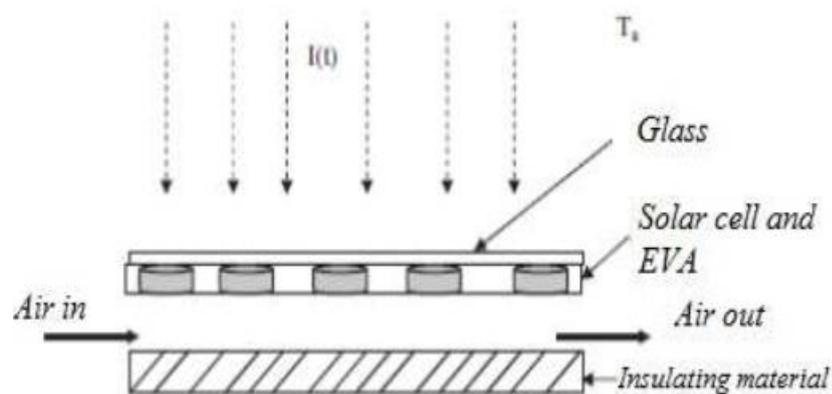
Energi panas yang tidak terpakai dapat dimanfaatkan dengan menambah kolektor termal sehingga menghasilkan energi termal. Penambahan kolektor termal selain mendapatkan energi panas juga dapat meningkatkan efisiensi dari sel surya karena panas yang terdapat pada permukaan panel dapat ditransfer ke fluida kerja pada kolektor termal.

## 2.6 Jenis Aliran PV/T Air System

Aliran pada PV/T *air system* bertujuan untuk mentransfer energi kalor atau panas pada *absorber* menuju udara yang mengalir. Peningkatan kerja termal dapat dilakukan dengan cara memperluas kontak perpindahan panas salah satunya dengan variasi jenis aliran.

### 2.6.1 Aliran *Single Pass*

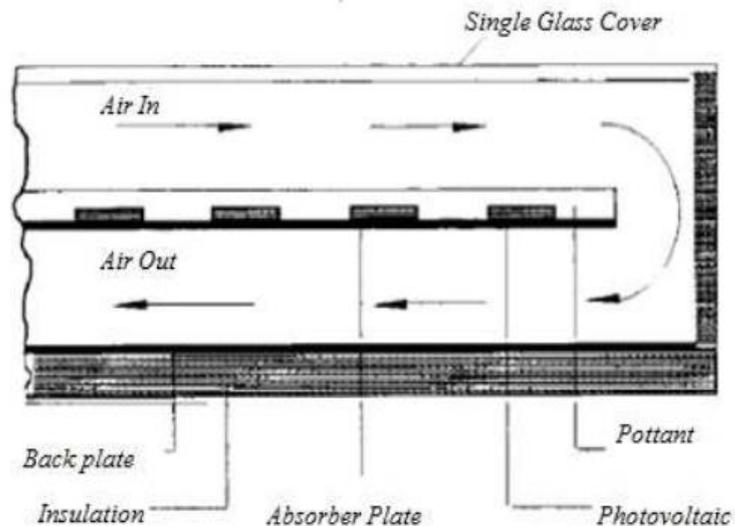
Pada aliran jenis ini plat *absorber* diletakkan di bagian bawah *Photovoltaic* kemudian udara mengalir melalui saluran udara di bagian bawah *absorber*. Energi radiasi matahari yang mengakibatkan temperatur permukaan panel meningkat diserap oleh plat *absorber* kemudian ditransfer ke udara yang mengalir di bagian bawah permukaan plat *absorber* secara konveksi sehingga temperatur panel menurun dan efisiensi elektrik *photovoltaic* meningkat seperti diilustrasikan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Aliran *Single Pass* (Guan, 2010)

### 2.6.2 Aliran *Double Pass*

Penambahan laluan aliran bertujuan untuk meningkatkan luas kontak perpindahan panas yang terdapat pada PV/T *air system*. Dengan penambahan laluan aliran udara tersebut dapat mendinginkan panel surya. Gambar 2.7 mengilustrasikan aliran *double pass* pada PV/T *air system*.

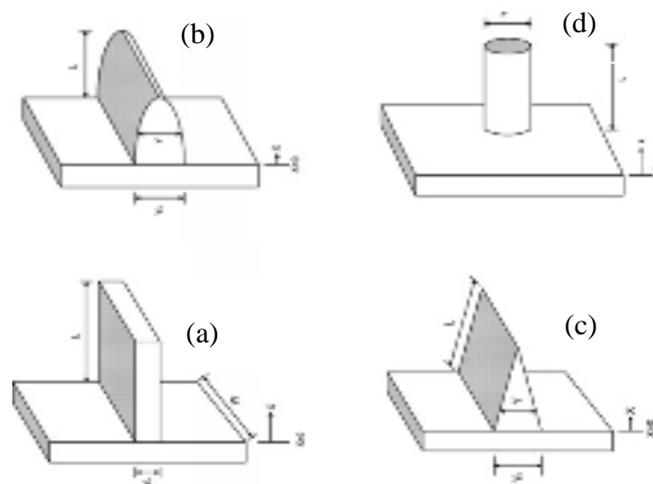


Gambar 2.7 Aliran *Double Pass* (Guan, 2010)

Radiasi matahari yang datang melewati kaca transparan yang berfungsi sebagai penerus dan mengisolasi aliran udara agar tidak keluar lingkungan. Udara masuk melewati permukaan panel kemudian diarahkan menuju bawah permukaan panel yang terpasang plat *absorber* dan udara keluar dari bawah permukaan panel.

## 2.7 Sirip Pada PV/T Air System

Meningkatkan luas permukaan yang berkontak langsung dengan fluida dapat memperluas *area* kontak perpindahan panas dan turbulensi aliran fluida dapat meningkatkan efektivitas kolektor termal, penambahan sirip (*fin*) pada sistem PV/T merupakan salah satunya. Penambahan sirip pada desain PV/T akan merubah aliran udara yang melewati sirip sehingga aliran udara menjadi turbulen dan meningkatkan koefisien perpindahan panas. Gambar 2.8 mengilustrasikan geometri sirip yang sering digunakan pada PV/T *air system*.



Gambar 2.8 (a) *Rectangle Fin* (b) *Parabolic Fin* (c) *Triangular Fin* (d) *Pin Fin* (Mokheimer, 2003)

Elsafi (2015) melakukan simulasi dengan konfigurasi geometri *fin* terhadap performa PV/T aliran *double pass*. Variasi geometri *fin* yang disimulasikan yaitu persegi panjang (*rectangle fin*), parabola (*parabolic fin*), dan segitiga (*triangular fin*) dan didapatkan geometri persegi panjang lebih efektif untuk menurunkan temperatur panel. Sirip bertujuan untuk meningkatkan transfer panas dari permukaan dengan meningkatkan efektivitas permukaan. Secara matematis efektivitas sirip ( $\epsilon_f$ ) ditulis dalam persamaan 2.1 berikut.

$$\epsilon_f = \frac{q_f}{hA_{c,t}\theta_b} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan

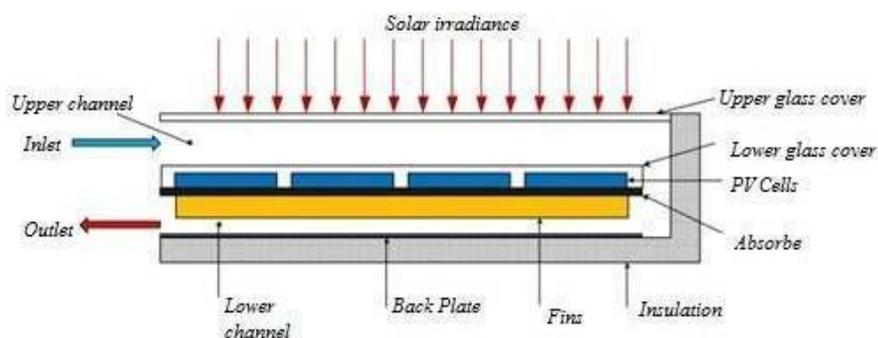
- $\epsilon_f$  = Efektivitas sirip
- $q_f$  = perpindahan panas melalui sirip
- $h$  = koefisien perpindahan panas
- $A_{c,t}$  = luas area sirip
- $\theta_b$  = perbedaan temperature sirip dan lingkungan

Persamaan lain untuk menghitung performa sirip adalah efisiensi yang ditulis dalam persamaan (2.2).

$$\eta_f = \frac{q_f}{q_{max}} = \frac{q_f}{hA_f\theta_b} \dots\dots\dots (2.2)$$

## 2.8 Persamaan Dasar PV/T Air System

Energi radiasi yang diserap oleh *absorber* pada kolektor, akan menghasilkan panas kemudian ditransfer ke fluida kerja yang mengalir di dalam saluran pipa di bawah *absorber* plat hitam. *Absorber* plat hitam digunakan untuk mengisolasi energi dari radiasi matahari yang mengenai *absorber*. Hal ini dilakukan untuk memaksimalkan energi yang ditransfer ke fluida kerja. (Duffie, 2006). *Energy balance* sebuah PV/T air system aliran *double pass* diilustrasikan pada Gambar 2. 9 berikut.



Gambar 2.9 Ilustrasi PV/T Air System Aliran Double Pass (Elsafi, 2015)

Energi yang berasal dari radiasi matahari datang menembus kaca dan diterima oleh permukaan panel diserap oleh plat *absorber* dan sirip sebagai pertambahan luas permukaan kemudian ditransfer ke fluida kerja yang mengalir berupa udara yang masuk melalui atas permukaan panel dan keluar dari bawah permukaan panel.

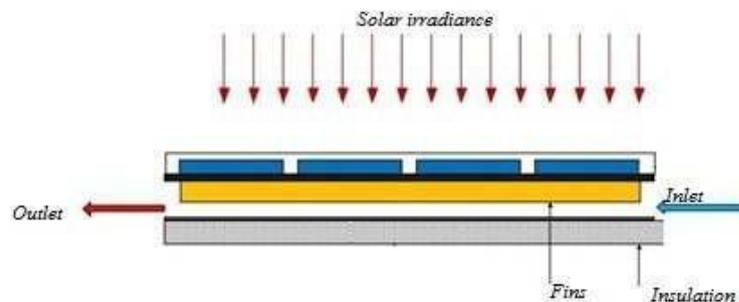
Efisiensi termal sesaat dari PV/T air system dapat dihitung menggunakan persamaan (2.3)

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m}C_p(T_{fo}-T_{fi})}{AG_t} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan

- $\eta_{th}$  = Efisiensi Termal (%)
- $C_p$  = Panas Spesifik Udara (J/kg.K)
- $T_{fi}$  = Temperatur Fluida Masuk (K)
- $T_{fo}$  = Temperatur Udara Keluar (K)
- $A$  = Luas Absorber (m<sup>2</sup>)
- $G_t$  = Irradiasi Total (W/m<sup>2</sup>)

Energy balance sebuah PV/T air system aliran *single pass* diilustrasikan pada Gambar 2.10 berikut



Gambar 2.10 Ilustrasi PV/T Air System Aliran Single Pass (Elsafi, 2015)

## 2.9 Perpindahan Panas

Proses perpindahan panas memiliki sistem yang saling berkaitan dan memiliki dasar yang berbeda-beda. Termodinamika dalam pertukaran panas sangat memainkan peran hukum pertama dan kedua termodinamika, dengan mekanisme utama ini dapat melakukan transfer energi antara sistem dengan sekitarnya.

### 2.9.1 Perpindahan Panas Konduksi

Peristiwa perpindahan panas secara konduksi berkaitan dengan perpindahan molekul dan atom yang ada pada benda padat, atau gas. Perpindahan panas konduksi dapat diartikan sebagai proses perpindahan energi di mana energi yang lebih besar bergerak ke energi yang lebih rendah. (Holman, 1983).

Suatu benda yang bertemperatur tinggi memiliki molekul energi yang lebih tinggi juga. Pada proses perpindahan panas, molekul yang memiliki energi lebih tinggi akan berpindah ke molekul yang memiliki energi lebih rendah, hal ini terus terjadi sehingga benda tersebut mengalami pemanasan dan terus berlanjut hingga temperatur yang dicapai. Pencapaian terkait perpindahan panas konduksi ini memiliki peranan terhadap nilai kalor yang dihasilkan. Faktor penyebab perpindahan panas konduksi mulai konduktivitas termal, luas area, dan beda temperatur material. Perpindahan panas konduksi dapat dihitung menggunakan persamaan 2.4 berikut.

$$\dot{Q} = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan

- $\dot{Q}$  = Kalor Konduksi (W)
- k = Konduktivitas Termal (W/mK)
- A = Luas Permukaan (m<sup>2</sup>)
- dT = Perubahan Temperatur (K)
- dx = Perubahan Jarak (m)

### 2.9.2 Perpindahan Panas Konveksi

Peristiwa perpindahan panas secara konveksi dapat terjadi akibat sebuah permukaan yang bersinggungan dengan fluida yang bergerak di sekitarnya. Besarnya nilai perpindahan panas konveksi dapat menggunakan persamaan 2.5 sebagai berikut.

$$\dot{Q} = hA(T_s - T_e) \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan

$\dot{Q}$  = Panas Konveksi (Watt)

$h$  = Koefisien Perpindahan Panas Konveksi (W/m<sup>2</sup>K)

$A$  = Luas Permukaan (m<sup>2</sup>)

$T_s$  = Temperatur Permukaan (K)

$T_e$  = Temperatur Lingkungan (K)

Pengambilan panas dengan konveksi akan lebih cepat apabila mempercepat aliran fluida yang melewati permukaan benda, sehingga peristiwa konveksi yang menggunakan pompa atau daya untuk menghilangkan panas secara konveksi disebut dengan *forced convection* atau konveksi paksa. Peristiwa konveksi yang tidak menggunakan daya atau pompa sehingga melakukan pendinginan alami dengan lingkungan disebut dengan konveksi natural.

### 2.9.3 Perpindahan Panas Radiasi

Radiasi termal merupakan energi yang diemisikan oleh benda yang bersuhu tidak nol. Emisi dapat dikaitkan dengan perubahan dalam konfigurasi elektron dari atom atau molekul. Energi yang berasal dari

lokasi radiasi berpindah melalui gelombang elektromagnetik. Ketika perpindahan panas secara konduksi dan konveksi harus terdapat medium, perpindahan panas secara radiasi tidak membutuhkan medium untuk memindahkan panas atau dalam keadaan vakum, radiasi mengemisikan atau menyebarkan energi termalnya dari suatu permukaan benda. *Heat flux* atau laju panas yang dipancarkan oleh permukaan benda nyata akan lebih kecil nilainya dari *blackbody* atau benda hitam. Persamaan antara benda nyata dan benda hitam dapat digunakan persamaan 2.6 berikut.

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan

E = Daya Pancar (W/m<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  = Emisivitas ( $0 < \varepsilon < 1$ )

$\sigma$  = Konstanta Stefan Blotzman ( $5,669 \times 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>K)

T = Temperatur Absolut (K)

Dengan nilai dalam rentang ( $0 < \varepsilon < 1$ ), daya pancaran memberikan seberapa efisien permukaan memancarkan energi *relative* terhadap benda hitam atau *blackbody*. Pancaran radiasi dari benda hitam atau *black body* memiliki penyinaran yang ideal meskipun dengan temperatur yang sama. Energi radiasi matahari bergerak pada kecepatan cahaya yaitu  $3 \times 10^8$  serta menyerupai radiasi cahaya. Terdapat karakteristik radiasi dari benda hitam di antaranya adalah tranmisivitas, absorptivitas dan emisivitas. (Incropera, 2007)

## 2.10 Computational Fluid Dynamic (CFD)

*Computational Fluid Dynamic* (CFD) merupakan alat untuk menganalisis aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena-fenomena lain yang terasosiasi seperti reaksi kimia yang didasarkan pada simulasi komputer. Proses implementasi CFD, menggunakan iterasi sehingga dapat menggambarkan langkah dalam proses CFD dan memberikan solusi ketika menggunakan analisis CFD dalam memahami fenomena aliran. CFD sangat berguna untuk pembelajaran mengenai laju aliran, perpindahan panas serta reaksi kimia dengan penyelesaian persamaan matematik dengan bantuan analisis numerik. CFD menyelesaikan dengan membagi sistem satuan kecil sel dan mengaplikasikan persamaan pada elemen diskrit untuk mencari penyelesaian numerik mengenai distribusi tekanan dan gradien temperatur. (K. Hetal, 2013)

CFD sangat bermanfaat dalam proses desain karena akan meminimalisir proses kegagalan dan menghindari dari kerugian finansial. Dengan menggunakan CFD karakteristik atau fenomena yang terjadi dapat diperlihatkan sesuai dengan parameter yang diberikan. CFD memiliki proses utama yaitu.

### 2.10.1 *Pre-Processing*

*Pre-processing* adalah tahapan penentuan simulasi yang digunakan, kemudian tahapan ini digunakan untuk menggambar geometri dari alat yang akan disimulasikan. Pada proses ini juga dilakukan penamaan pada beberapa permukaan gambar kerja, dan proses

*meshing*. Pemberian nama pada proses ini harus tepat, sehingga sistem dapat membaca dengan baik ketika akan dilakukan simulasi. *Meshing* merupakan kegiatan yang dilakukan oleh sistem untuk membuat geometri menjadi bagian-bagian kecil. Pembagian komponen ini akan membantu dalam proses analisa yang akan dilakukan, karena setiap komponen geometri dapat diperbesar dan dilihat dengan baik karena *meshing* yang dilakukan.

### 2.10.2 *Solver*

Pada tahap ini adalah tahapan untuk menentukan kondisi-kondisi batas pada CFD. Pada tahap ini yang perlu dikondisikan adalah energi, temperatur, bentuk aliran, jenis material yang digunakan, dan kondisi awal pada proses *inlet* dan *outlet* dari fluida. Setelah semua kondisi telah didapatkan sesuai dengan kondisi aktual alat maka dilakukan proses perhitungan dengan menjalankan simulasi. Parameter temperatur memiliki kondisi yang harus diperhatikan. Kondisi batas seperti *heat flux* konstan dan temperatur permukaan yang konstan tentu akan mempengaruhi proses simulasi. Maka dalam proses simulasi perlu menganalisis data yang akan digunakan sehingga simulasi yang akan dijalankan akan memberikan hasil yang mendekati kenyataan dengan baik.

### 2.10.3 *Post-Processing*

*Post-Processing* adalah tahap terakhir dalam melihat hasil dari simulasi, kontur pergerakan dan perpindahan panas. Pada tahap ini

semua bentuk yang dibutuhkan untuk keperluan hasil atau data terdapat diproses ini. Proses berupa kontur, vektor dan *streamline* juga dapat dilihat saat proses ini untuk memudahkan mengidentifikasi fenomena yang terjadi.

## 2.11 Metode Perhitungan CFD

Metode perhitungan CFD dengan memanfaatkan kontrol dimensi luas dan volume, dengan bantuan perangkat komputer dalam menyelesaikan proses perhitungan. Proses perhitungan yang dilakukan oleh perangkat lunak yang digunakan CFD adalah dengan menghitung bagian yang disebut dengan sel yang didapatkan melalui proses *meshing*. Sel-sel tersebut yang akan menjadi kontrol perhitungan perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan proses CFD.

### 2.11.1 Metode Beda Hingga

Metode ini merupakan salah satu metode dalam proses penyelesaian skema numerik persamaan diferensial parsial. Penyelesaian dalam metode ini menggunakan deret Taylor dengan mengubah persamaan diferensial parsial ke dalam bentuk beda hingga. Setelah ditransformasikan kedalam beda hingga selanjutnya dilakukan iterasi untuk mendapatkan solusinya (Derajat, 2013).

### 2.11.2 Metode Elemen Hingga

Metode ini merupakan salah satu cara untuk menyelesaikan

persoalan diferensial baik biasa atau diferensial parsial. Prinsip kerja dari metode elemen hingga adalah membagi suatu persoalan yang kompleks menjadi elemen-elemen kecil dan menyelesaikannya dengan cara interpolasi (Isworo, 2018).

### 2.11.3 Metode Volume Hingga

Metode ini merupakan metode untuk menyelesaikan persoalan diferensial. Metode penyelesaian yang digunakan mengacu pada volume yang mengitari setiap titik *node* pada sebuah *mesh*. Metode volume hingga ini biasanya digunakan dalam permasalahan diferensial yang berhubungan dengan dinamika fluida (Isworo, 2018).

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan pada tempat dan waktu penelitian sebagai berikut:

##### 3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian dan pengambilan data dilakukan di Laboratorium Termodinamika Teknik Mesin Universitas Lampung.

##### 3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilakukan pada bulan Juni 2021 sampai dengan bulan November 2021.

#### **3.2 Parameter Penelitian**

Parameter penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan memvalidasi hasil simulasi berdasarkan data hasil eksperimen penelitian yang dilakukan Hidayat (2020) sebagai acuan:

##### 3.2.1 Data Pendukung Validasi

Data pendukung yang digunakan adalah data hasil penelitian dari Hidayat (2020), yaitu geometri panel surya, intensitas radiasi matahari

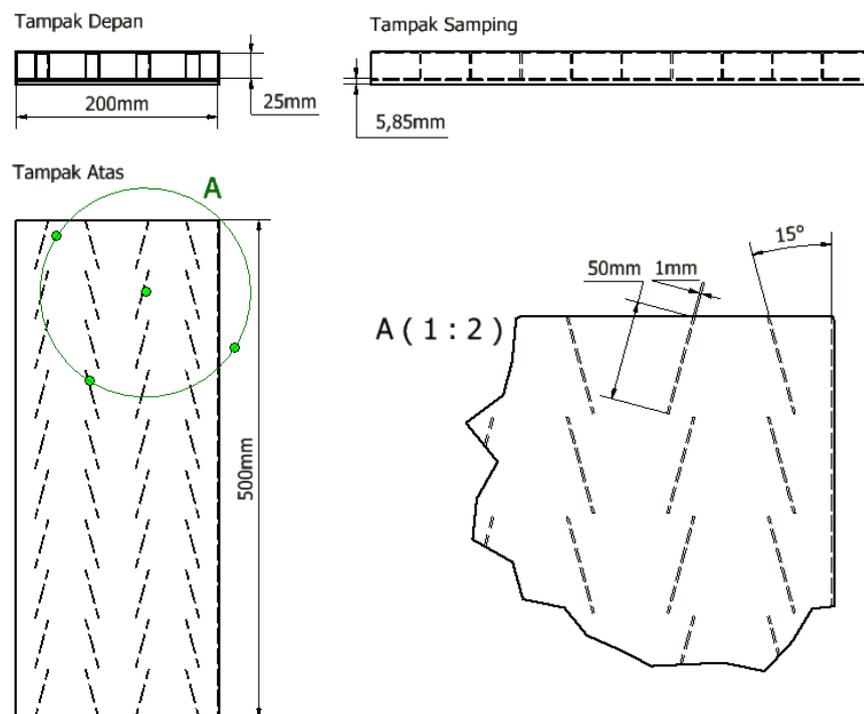
(G), temperatur fluida masuk ( $T_{in}$ ), temperatur fluida keluar ( $T_{out}$ ), laju aliran massa ( $\dot{m}$ ), dan *pressure drop*. Geometri panel surya menggunakan sirip *linier* dengan ukuran tinggi 25,4 mm, ketebalan 1 mm, dan jarak antar *fin* sebesar 12,7 mm. Dengan panjang panel surya 1020 mm lebar sebesar 670 mm. dengan masing-masing parameter tersebut dijadikan bahan validasi untuk keberhasilan pengembangan penelitian dengan menggunakan metode CFD.

### 3.2.2 Simulasi Karakteristik Unjuk Kerja

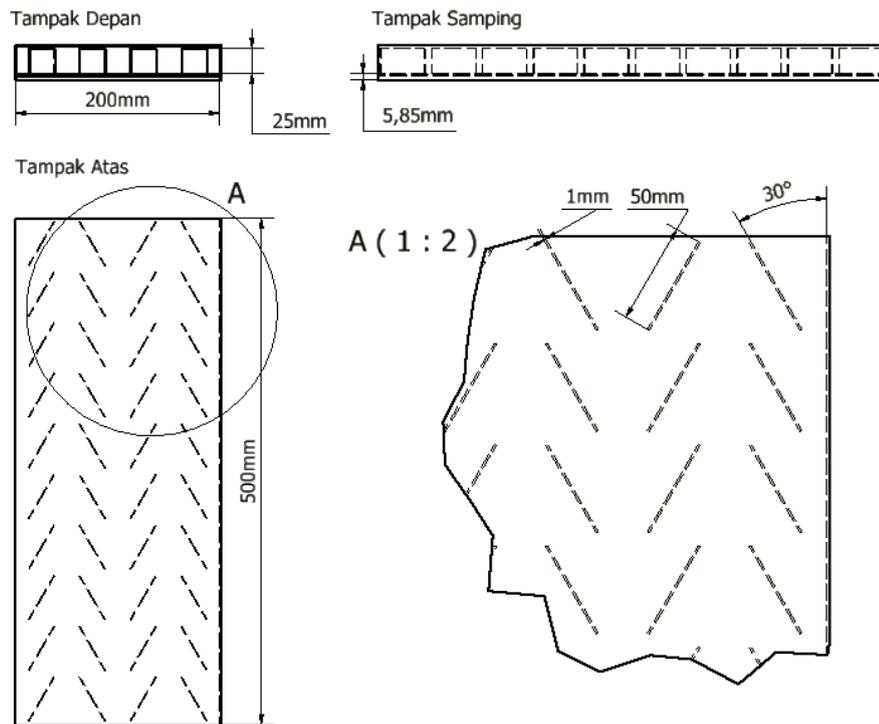
Simulasi karakteristik unjuk kerja yang menjadi fokus adalah unjuk kerja termal dan *pressure drop* dilakukan pada kolektor *photovoltaic thermal* (PV/T) dengan penambahan pendingin geometri sirip tipe sudut dengan beberapa variasi sudut sebesar 15°, 30° dan 45°. Kemudian menambahkan variasi tinggi sebagai variasi lanjutan dengan variasi tinggi sirip sebesar 50 mm, 75 mm dan 100 mm. keenam variasi tersebut diharapkan dapat memberikan pengaruh terhadap proses penurunan temperatur permukaan PV/T. Proses simulasi yang dilakukan menggunakan aplikasi CFD yaitu *Ansys Fluent* dan perancangan desain geometri menggunakan aplikasi *Autodesk Inventor*.

### 3.3 Perancangan Desain Geometri Sirip

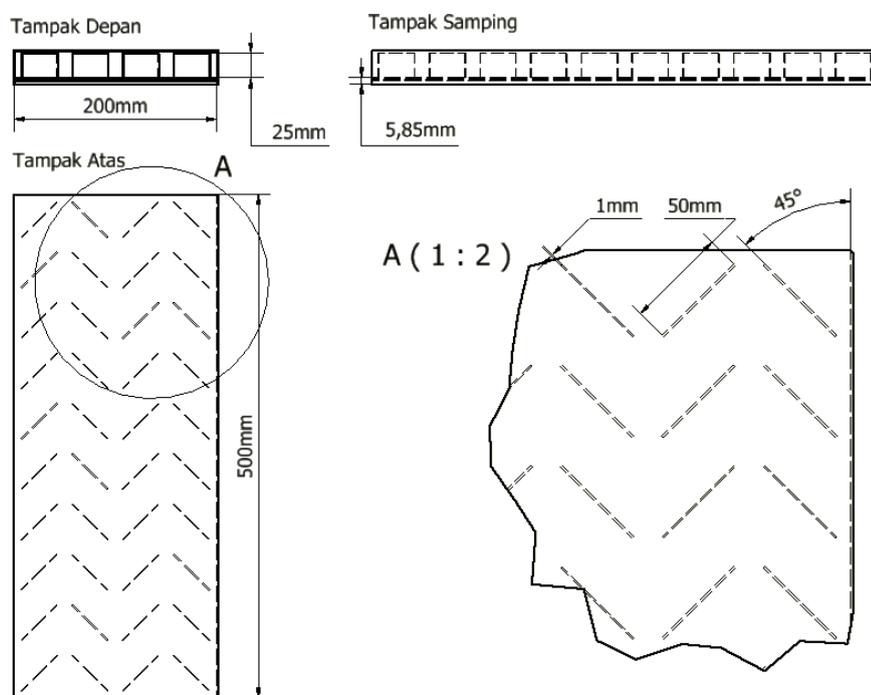
Penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan beberapa tahap, prosedur perancangan desain geometri sirip dari panel surya tipe kolektor plat datar menggunakan perangkat lunak *Ansys Fluent*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui bentuk geometri sirip udara yang paling optimal dalam proses penyerapan panas dari kolektor surya, selama proses pengoperasian dilihat dari kemampuan menurunkan temperatur permukaan PV/T terendah. Pada dasarnya bentuk geometri yang umum pada desain ini di antaranya tinggi sirip sebesar 25 mm, panjang sirip 50 mm, dan tebal sirip 1 mm membentuk sudut serta memiliki penampang PV/T sebesar 500 mm x 200 mm. masing masing geometri tersebut divariasikan berdasarkan besar sudut sirip sebesar 15°, 30° dan 45°, yang disajikan pada Gambar 3.1, 3.2 dan 3.3.



Gambar 3.1 Bentuk Geometri Sirip 15°

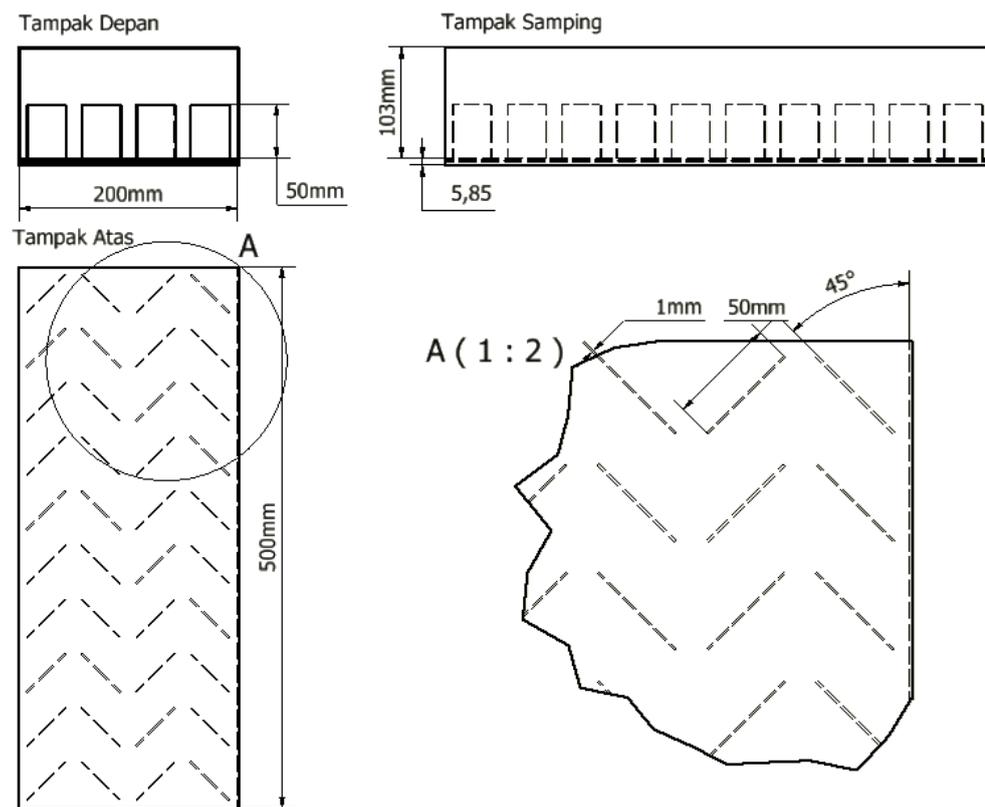


Gambar 3.2 Bentuk Geometri Sirip 30°

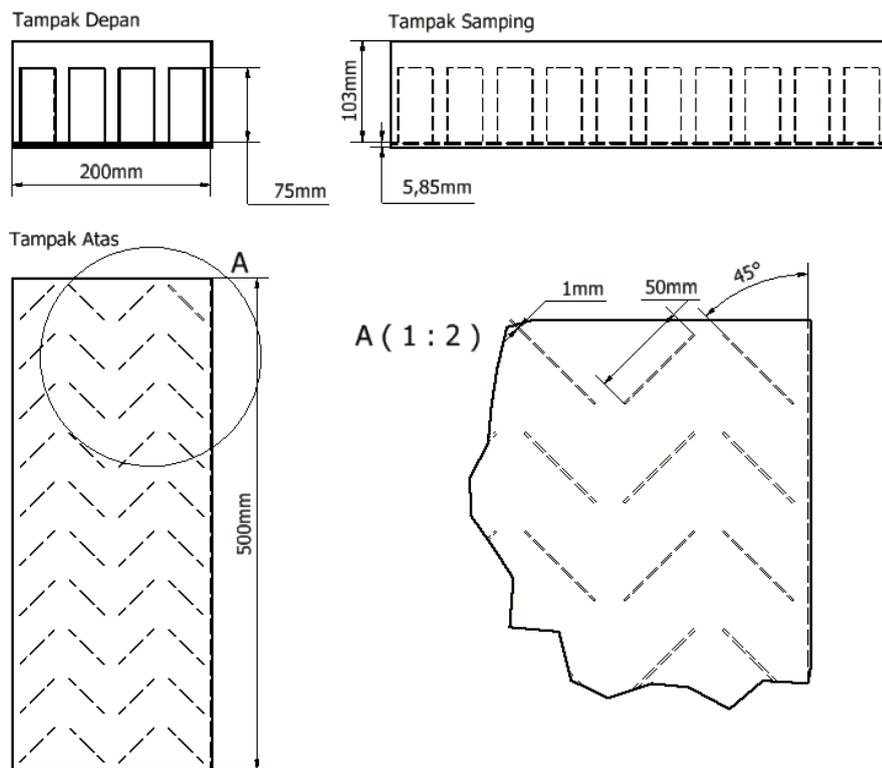


Gambar 3.3 Bentuk Geometri sirip 45°

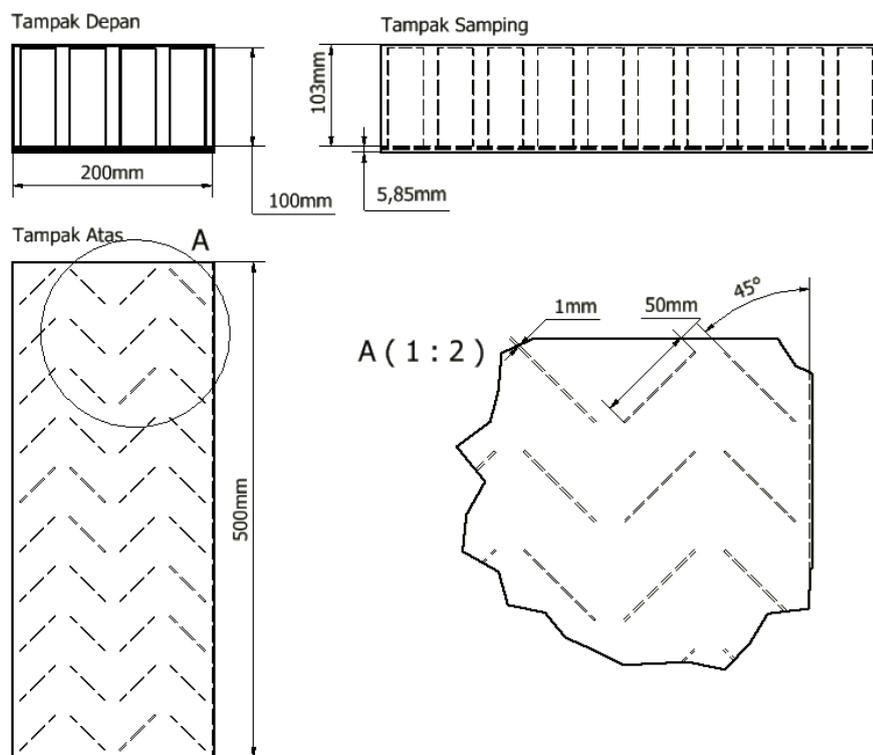
Kemudian hasil terbaik dari ketiga desain geometri di atas akan divariasikan lagi berdasarkan variasi tinggi sirip sebesar 50 mm, 75 mm dan 100 mm. Variasi kedua ini merupakan variasi lanjutan di mana sudut kemiringan yang terbaik terbentuk pada besar sudut  $45^\circ$ . Pada variasi kedua ini selain penambahan variasi tinggi terjadi penambahan diameter hidrolis dari aliran fluida sehingga luas area menjadi berubah yakni tinggi 103 mm. dengan diameter hidrolis yang berubah apakah ada pengaruh pada temperatur permukaan PV/T atau tidak signifikan. Adapun rancangan variasi tinggi sirip dapat diamati pada Gambar 3.4, 3.5 dan 3.6.



Gambar 3.4 Bentuk Variasi Tinggi Sirip 50 mm di  $45^\circ$



Gambar 3.5 Bentuk Variasi Tinggi Sirip 75 mm di 45°



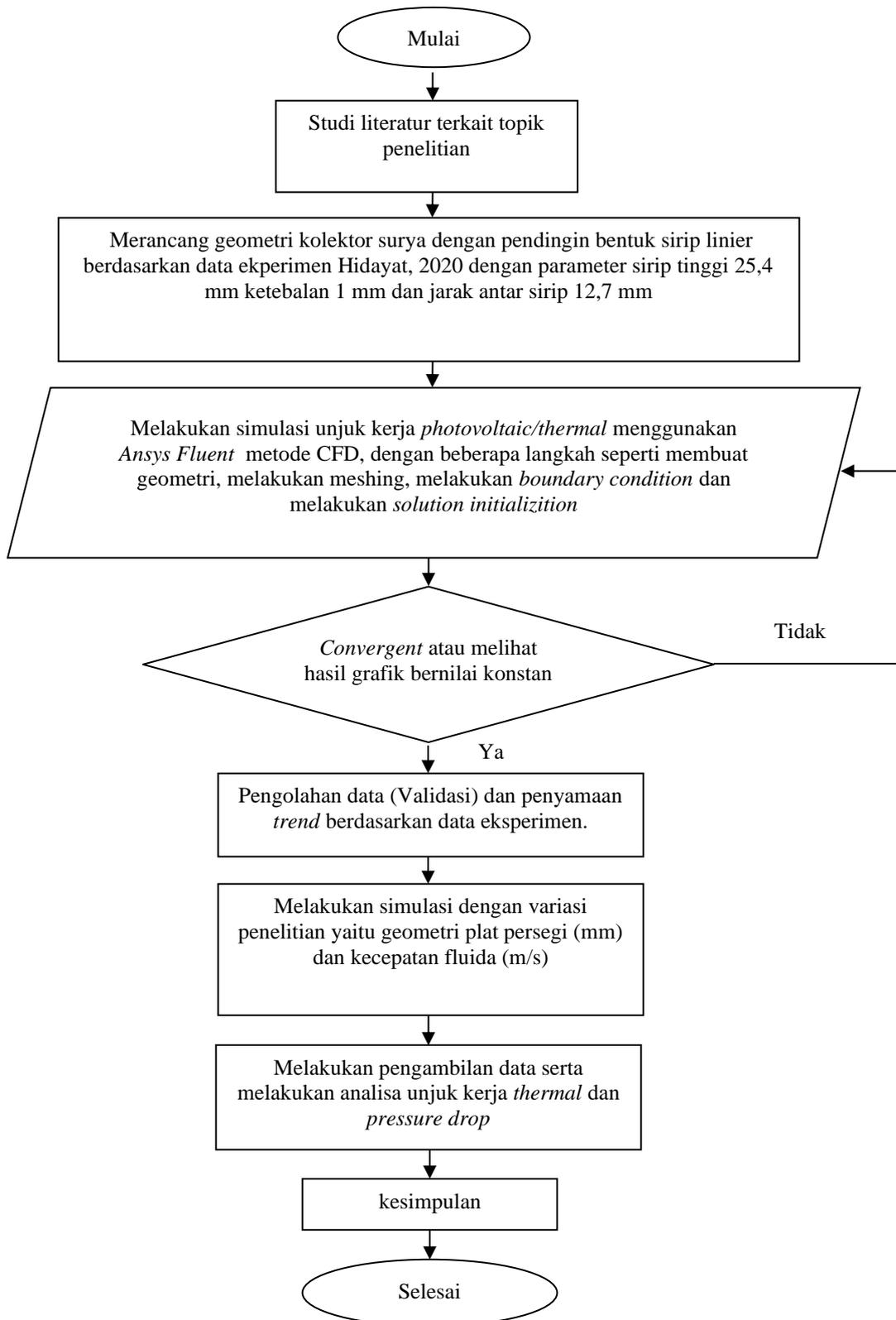
Gambar 3.6 Bentuk Variasi Tinggi Sirip 100 mm di 45°

### 3.4 Proses Simulasi CFD

Proses simulasi dari penelitian ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Ansys Fluent*. Langkah untuk melakukan simulasi adalah sebagai berikut.

1. Melakukan proses desain geometri pada aplikasi *Autodesk Inventor*
2. Membuka lembar kerja *Ansys Fluent* kemudian melakukan *input* desain geometri yang telah dibuat sebelumnya.
3. Melakukan *input* dengan menggunakan aplikasi tambahan dari *Ansys Fluent* yaitu dengan menggunakan *SpaceClaim* untuk membuat domain fluida.
4. Melakukan proses selanjutnya yaitu proses *meshing* pada desain geometri yang telah dibuat yaitu dengan membentuk sebuah *cell* pada desain geometri untuk memudahkan dalam proses perhitungan secara numerik dan logaritmik.
5. Melanjutkan proses selanjutnya yaitu proses *solver* yang di dalamnya terdapat proses *setup* dan *solution*.
6. Menyesuaikan proses setup sesuai dengan proses simulasi yang akan digunakan pada desain geometri yang telah dibuat sebelumnya dengan mengatur model energi, model viskositas, parameter *input*, dan kondisi batas.
7. Menyesuaikan proses *solution* dengan mengatur *hybrid initialization method* untuk memaksimalkan proses perhitungan yang berlangsung.
8. Menyesuaikan proses *run calculation* pada literasi yang memungkinkan proses dapat berjalan dengan steady atau sudah tidak ada perubahan data sehingga data yang dihasilkan akurat.
9. Melakukan pengulangan simulasi sesuai dengan variasi yang digunakan.

### 3.5 Diagram Alir Metode Penelitian



Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian

## V. PENUTUP

### 5.1 Simpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan pengembangan penelitian pendinginan PV/T menggunakan variasi sudut sirip dan tinggi sirip PV/T dengan metode CFD adalah sebagai berikut:

1. Simulasi dengan metode CFD menggunakan jumlah meshing rata-rata berkisar 2,5 juta cell dengan jenis *polihexore* menghasilkan kualitas *skewness* rata-rata sebesar 0,5 dan minimal *ortogonal quality* 0,1 sehingga hasil simulasi dapat memenuhi syarat.
2. Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin besar sudut dan ketinggian sirip akan meningkatkan pergerakan dan luas area aliran fluida sehingga dapat meningkatkan terjadinya perpindahan panas pada kolektor PV/T.
3. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan udara masuk menyebabkan temperatur PV/T berubah. Pada variasi sudut sirip 15° terjadi penurunan temperatur PV/T sebesar 30% dari semula 60,18 °C. menjadi 42,37 °C dengan *pressure drop* sebesar 75,26 Pa. Pada variasi sudut sirip 30° terjadi penurunan temperatur PV/T sebesar 27% dari semula 54,2 °C menjadi 39,42 °C dengan *pressure drop* sebesar 204,47 Pa. Pada variasi sudut sirip 45° terjadi penurunan temperatur PV/T sebesar 25% dari semula

48,78 °C menjadi 36,70 °C dengan *pressure drop* sebesar 711,01 Pa. Sedangkan pada variasi tinggi sirip 50 mm terjadi penurunan temperatur PV/T sebesar 18% dari semula 44,31 °C menjadi 36,55 °C dengan *pressure drop* sebesar 119,36 Pa. Pada variasi tinggi sirip 75 mm terjadi penurunan temperatur permukaan PV/T sebesar 15% dari semula 41,60 menjadi 35,36 °C dengan *pressure drop* sebesar 278,20 Pa. Pada variasi tinggi sirip 100 mm terjadi penurunan temperatur permukaan PV/T sebesar 12% dari semula 39,90 menjadi 34,91 °C dengan *pressure drop* sebesar 900,34 Pa

4. Hasil simulasi menunjukkan bahwa temperatur PV/T optimal adalah 34,91°C yang terjadi pada variasi sudut sirip 45° dan tinggi sirip 100 mm pada kecepatan 4 m/s dengan *pressure drop* sebesar 900,34 Pa.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan guna pengembangan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan pengembangan yang telah dilakukan dengan metode CFD, terdapat beberapa aspek yang harus diperhatikan salah satunya adalah proses *meshing*. Proses *meshing* yang baik dapat menghasilkan data yang akurat. Untuk kedepannya penulis menyarankan untuk hasil *meshing* yang baik gunakan jenis *meshing polyhexcore* dengan memperhatikan nilai  $Y^+$ .
2. Adapun pengembangan yang diharapkan adalah dengan memvariasikan radiasi sebagai parameter *input* atau *boundary condition* dari simulasi yang dilakukan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akhmad, K. 2005. *Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Penerapannya Untuk Daerah Terpencil*. Fakultas Teknik UNSOED. Purwokerto
- Derajat, P Pangestuti. 2013. *Deskripsi metode beda hingga untuk menyelesaikan persamaan fitzhugh-nagumo*. Universitas Islam Negeri Malang.
- Duffie, J.A. Beckman, W.A. 2006. *Solar Engineering of Thermal Process*. John Wiley and Sons. Canada
- Elsafi A, Gandhidasan P. 2015. *Performance of a Photovoltaic or Thermal Double Pass Solar Air Heater with Different Fin Configuration*. Journal of Clean Energy Technologies
- Geretschlager, KJ. Wallner GM. 2016. *Structure and Basic Properties of Photovoltaic Module Backsheet Film*. Johannes Kepler University. Austria
- Goswami D.Y. 2015. *Principles of Solar Engineering 3rd Edition*. CRC Press.
- Guan, TH. 2010. *Photovoltaic Thermal (PV/T) System: Effect of Active Cooling*. National University of Singapore. Singapore
- Hersch, P. 1982. *Basic Photovoltaic Principle and Methods*. Solar Energy Research Institute. Colorado
- Hidayat, Yandi Permana, 2020. *Unjuk Kerja dan Termal Kolektor Photovoltaic Thermal (PV/T) bersirip dengan aliran udara single pass dan double pass*.
- Holman, J.P. 1983. *Heat Transfer Sixth Edition*. Mcgraw Hill. London
- Incropera, F.P. 2007. *Fundamental of Heat and Mass Transfer*. Sixth Edition. Jhon Wiley and Sons. New York

- Isworo, Hajar. Ansyah, H Pathur. 2018. *Metode Elemen Hingga HMKB654*. Universitas Lambung Mangkurat.
- Kementerian ESDM RI. *Pelaksanaan Kegiatan Fisik Pemanfaatan Energi Baru dan Energi Terbarukan Serta Konservasi Energi*. PP ESDM No. 39 tahun 2017
- Kotwal, Hetal. 2013. *CFD Analysis of Shell and Tube Heat Exchanger*. International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)
- Mokhtari, Mojtaba. M. B. Gerdroodbary. Rezvan Yeganeh. K. Fallah. 2017. *Numerical study of mixed convection heat transfer of various fin arrangements in a horizontal channel*. Iran: Elsevier Ltd.
- Mokheimer, EMA. 2003. *Heat Transfer From Extended Surfaces Subject to Variable Heat Transfer Coefficient*. King Fahd University of Petroleum & Minerals. Saudi Arabia
- Patel, mukund R. 2005. *wind and solar power system*. Taylor & Francis Group. Francis.
- Sandeep. 2016. *Solar Energy Potential and Future Prospects*. The Federal University of Technology. Nigeria
- Soteris. A. 2004. *Solar Thermal Collectors and Applications*. Higher Technical Institute. Cyprus
- Souissa, M. 2009. *Proyeksi Potensi Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan (Studi Wilayah Ambon dan Sekitarnya)*. Universitas Pattimura. Ambon
- Timortheus, Togar. G. 2015. *Pemanfaatan Photovoltaic sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Medan: STT Immanuel Medan
- Yianoulis, P. 2001. *Hybrid Photovoltaic/Thermal Solar System*. University of Patras. Greece