

**KARAKTERISASI UNJUK KERJA KOLEKTOR *PHOTOVOLTAIC* /
THERMAL DENGAN SIRIP TIPE LINIER MENGGUNAKAN
METODE CFD**

(Skripsi)

Oleh:

ABDURRAHMAN FIRMANSYAH



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2021

ABSTRAK
**KARAKTERISASI UNJUK KERJA KOLEKTOR *PHOTOVOLTAIC* /
THERMAL DENGAN SIRIP TIPE LINIER MENGGUNAKAN METODE
CFD**

Oleh
ABDURRAHMAN FIRMANSYAH

Computing Fluid Dynamic (CFD) yang merupakan salah satu cabang ilmu dinamika fluida yang mengaplikasikan metode numerik dan algoritma untuk memecahkan dan menganalisa masalah yang melibatkan aliran fluida dengan distribusi temperatur dan tekanan yang terjadi. Penelitian yang bertujuan untuk melihat karakteristik unjuk kerja PV/T menggunakan perangkat lunak Penelitian berbasis simulasi menggunakan CFD memiliki keunggulan antara lain kemudahan dalam memberikan variasi pengujian, biaya penelitian yang cenderung murah dan efisiensi penggunaan waktu yang sangat baik.

Tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah mengetahui karakteristik unjuk kerja termal dan *pressure drop* panel surya termal (PV/T) kolektor pelat datar menggunakan sirip linier dengan fluida kerja udara. Variasi pengujian yang digunakan adalah jarak antar sirip 50 mm, 75 mm dan 100 mm serta tinggi sirip 25 mm, 37,5 mm, dan 50 mm yang menghasilkan nilai temperatur permukaan PV/T terendah sebesar 53,075 °C yang terjadi pada laju aliran massa 48 g/s serta nilai *pressure drop* terendah pada geometri jarak sirip 50 mm dan tinggi sirip 25 mm adalah sebesar 0,4794 Pa pada laju aliran massa 12 g/s .

Kata Kunci : PV/T, Termal, *Pressure Drop*, Metode CFD.

ABSTRACT
**PERFORMANCE CHARACTERIZATION OF PHOTOVOLTAIC /
THERMAL COLLECTOR WITH LINEAR TYPE USING CFD METHOD**

By
ABDURRAHMAN FIRMANSYAH

Computing Fluid Dynamic (CFD) which is a branch of fluid dynamics that applies numerical methods and algorithms to solve and analyze problems involving fluid flow with temperature and pressure distributions that occur. Research that aims to see the characteristics of PV/T performance using software Simulation-based research using CFD has advantages such as the ease of providing test variations, research costs that tend to be cheap and very good time use efficiency.

The objective of this research is to know the characteristics of thermal performance and pressure drop of solar thermal panels (PV/T) flat plate collectors using linear fins with air working fluid. The variation of the test used is the distance between the fins 50 mm, 75 mm and 100 mm and the height of the fins is 25 mm, 37.5 mm, and 50 mm which produces the lowest PV/T surface temperature value of 53.075 C which occurs at a mass flow rate of 48 g/s and the lowest pressure drop value at 50 mm fin geometry and 25 mm fin height is 0.4794 Pa at 12 g/s mass flow rate.

Keywords: *PV/T, Thermal, Pressure Drop, CFD Method*

**KARAKTERISASI UNJUK KERJA KOLEKTOR *PHOTOVOLTAIC* /
THERMAL DENGAN SIRIP TIPE LINIER MENGGUNAKAN METODE
CFD**

**Oleh
ABDURRAHMAN FIRMANSYAH**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**



**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2021

Judul Skripsi : **KARAKTERISASI UNJUK KERJA KOLEKTOR
PHOTOVOLTAIC / THERMAL DENGAN SIRIP
TIPE LINIER MENGGUNAKAN METODE CFD**

Nama Mahasiswa : **Abdurrahman Firmansyah**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1615021028**

Jurusan : **Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**

Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2

Amrizal, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19700202 19980310 04

M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng.
NIP. 19801001 2008120 01

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

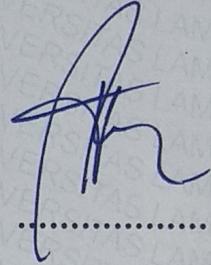
Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP. 19710331 19990310 03

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

MENGESAHKAN

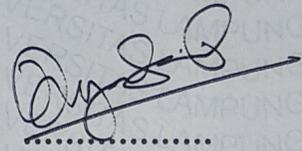
1. Tim Penguji

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



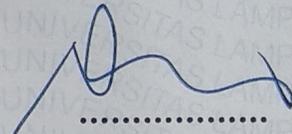
.....

Anggota Penguji : **M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng.**



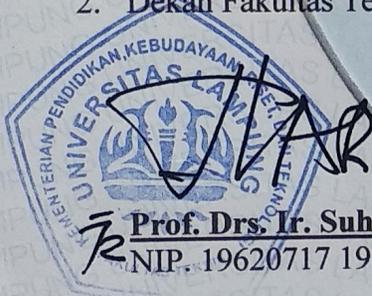
.....

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 : **19 Oktober 2021**

PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 36 PERATURAN
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN
REKTOR NO. 13 TAHUN 2019.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



ABDURRAHMAN FIRMANSYAH
NPM. 1615021018

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Bandar Lampung pada 15 Juni 1998, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Mursalin dan Ibu Yusmiati. Jenjang pendidikan pertama yang dijalani oleh penulis adalah Pendidikan Sekolah Dasar Negeri 3 Perumnas Way Kandis pada tahun 2004 hingga tamat pada tahun 2010. Selanjutnya penulis melanjutkan Sekolah Menengah Pertama di SMP Al-Azhar 3 Bandar Lampung dari tahun 2010 hingga selesai pada tahun 2013. Selanjutnya pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan di MAN 1 Bandar Lampung hingga lulus pada tahun 2016.

Ditahun 2016 penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin di Universitas Lampung. Kemudian selama menjadi mahasiswa teknik mesin penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM). Pada tahun 2017 penulis terdaftar sebagai Staff Kaderisasi HIMATEM yang kemudian dilanjutkan pada tahun 2019 Sebagai Pengurus Inti yaitu Ketua Divisi Kaderisasi HIMATEM. Pada 2019 akhir penulis melakukan Kerja Praktek di PT. Tunas Baru Lampung Tbk. dengan topik yang dibahas Perhitungan Efektifitas *Plate Heat Exchanger* dan pada Tahun 2020 awal penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata di Desa Lengkukai Kecamatan Kelumbayan Barat Kabupaten Tanggamus. Sejak Bulan September 2020 penulis mulai melakukan penelitian untuk merancang, mensimulasikan dan menganalisis unjuk kerja termal dan *pressure drop* (PV/T) panel surya dan kolektor termal aliran udara bersirip dibawah binbingan dari Bapak Amrizal, S.T., M.T., Ph.D. selaku pembimbing pertama dan Bapak M. Dyan Susila ES. S.T., M.Eng. selaku pembimbing kedua.

**DENGAN MENYEBUT NAMA ALLAH SWT YANG MAHA PENGASIH
DAN MAHA PENYAYANG**

KARYA TULIS INI DIPERSEMBAHKAN KEPADA

**Kedua Orang Tua Serta Keluarga Yang Terkasih
dan
Semua Yang Selama Ini Telah Mendukung, Mendidik, Dan Membimbing
Penulis**

Terima Kasih Banyak

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullohi Wabarokatuh

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karna atas rahmat, hidayah, dan lindungannya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dan menyelesaikan laporan skripsi dengan lancar dan tetap dalam keadaan sehat wal afiat. Shalawat serta salam tak lupa penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing umatnya menuju kehidupan yang berakhlak dan berilmu yang baik sehingga dapat menjalani kehidupan dengan baik dan benar. Skripsi ini dibuat sebagai sebuah karya tulis yang merupakan hasil dari pengerjaan tugas akhir yang telah dilakukan. Diharapkan karya tulis ini dapat menjadi salah satu bentuk perkembangan dalam ilmu di bidang energi, terkhusus dalam bidang pemanfaatan energi surya. Skripsi ini juga merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Semoga karya tulis ini dapat membawa manfaat bagi pembacanya dan dapat dikembangkan lebih jauh lagi.

Selesainya skripsi ini tidak luput dari bantuan, bimbingan dan arahan dari semua pihak, oleh karena itu penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, hidayah dan rezeki kepada penulis serta Rasulullah Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi suri tauladan dalam berperilaku selama kegiatan penelitian ini berlangsung
2. Kedua orang tua penulis, Mursalin dan Yusmiati yang selalu mendampingi dan mendoakan penulis sehingganya penulis dapat tetap bersemangat dan lancar dalam menjalankan studi Teknik Mesin.

3. Prof. Drs. Ir. Suharno, M.Sc., Ph.D. IPU., ASEAN Eng., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung beserta staff dan jajarannya.
4. Dr. Amrul, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Novri Tanti, S.T., M.T. selaku Kepala Prodi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
6. Dr. Amrizal, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I yang telah bersedia mendidik dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
7. M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang telah bersedia membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
8. Ir. Herry Wardono, M.Sc., IPM. selaku Dosen Penguji Utama dalam skripsi ini. Terimakasih untuk koreksian serta maukan dalam pengerjaan skripsi ini sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
9. Seluruh Dosen di Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah mengajarkan banyak pengetahuan kepada penulis.
10. Seluruh Staff dan Karyawan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
11. Nonni Utami Rahmiati dan Mulya Riza Rahmawati selaku Kakak dan Adik penulis.
12. Tim Laboratorium Termodinamika: Rizal Khairudin, Joko Prasetyo dan Angelia Eka Salsabila yang selalu memberikan semangat pada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
13. Seluruh teman-teman Angkatan 2016 yang selalu mendengarkan keluhan, memberikan motivasi, dan memberi dorongan semangat. Semoga kebersamaan kita tetap terjaga.
14. Anggota Kajian Remaja Dakwah Wisma Dita dan Griya Delicia yang dengan sadar dan tanpa pengaruh apapun bersedia untuk mendengarkan keluh kesah, bertukar pikiran dan memberikan semangat pada penelitian ini maupun hal diluaran.

15. Teman-teman Toserba dan Anak Markas selaku sahabat karib penulis sejak bangku madrasah aliyah yang selalu menyediakan tempat untuk berdiskusi dan memberikan bantuan-bantuan kepada penulis.
16. Billy, Irsal, Ai, Adam, Farrel, Erick, Bomber, Reni, Tipah, Adel, Yayan dan istri selaku sahabat baik penulis sejak bangku SMP yang telah bersama-sama tumbuh, berproses, dan berkembang bersama-sama sejak dahulu.
17. Semua pihak yang telah membantu penulis namun tidak bisa disebutkan namanya satu persatu, penulis ucapkan terima kasih semoga Allah Yang Maha Pengasih membalas segala kebaikan kalian.
18. *Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me, I wanna thank me for doing all this hard work, I wanna thank me for having no days off, and I wanna thank me for never quitting.*

Penulis menyadari bahwa isi skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak yang bersifat membangun dalam rangka penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Bandar Lampung, 19 Oktober 2021

Penulis,

Abdurrahman Firmansyah

NPM.1615021028

Motto

Pursuit of Martial Peak.

If time was all that it took to become strong, there'd be no difference between geniuses and mediocrities in this world.

Do what you love, but if you can't then learn to love what you do. Life is'nt that bad bro.

See the bad inside yourself, and see the good inside others.

Happiness comes to the brave person.

DAFTAR ISI

	Halaman
<i>Cover</i>	i
Abstrak	ii
Pengesahan	v
Pernyataan Penulis	vii
Riwayat Hidup	viii
Persembahan	ix
Sanwacana	x
Motto	xiii
Daftar Isi	xv
Daftar Gambar	xvii
Daftar Tabel	xx
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 Surya	8
2.2 Kalor	10
2.3 Mekanisme Perpindahan Panas	10
2.3.1 Konduksi	10
2.3.2 Konveksi	11
2.3.3 Radiasi	11

2.4 Kolektor Surya	12
2.5 Prinsip Dasar Teknologi <i>Solar Cell (Photovoltaic)</i>	14
2.5.1 Semikonduktor Tipe P dan Tipe N	14
2.5.2 Semikonduktor P-N	15
2.6 Jenis Aliran <i>Photovoltaic Air System</i>	16
2.6.1 Aliran <i>Single Pass</i>	17
2.6.2 Aliran <i>Double Pass</i>	17
2.7 Sirip Pada PV/T <i>Air System</i>	18
2.8 Persamaan Dasar <i>Photovoltaic Thermal Air System</i>	19
2.9 <i>Pressure Drop</i>	20
2.10 <i>Computational Fluid Dynamic (CFD)</i>	20
2.10.1 <i>Pre-processing</i>	21
2.10.2 Tahap <i>Solver</i>	22
2.10.3 <i>Post-Processing</i>	28

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.1.1 Tempat Penelitian	29
3.1.2 Waktu Penelitian	29
3.2 Prosedur Penelitian	30
3.2.1 Data Pendukung	30
3.2.2 Simulasi Unjuk Kerja	30
3.3 Diagram Alir Metode Penelitian	31
3.4 Perancangan Geometri Sirip	32
3.5 Metode <i>Computational Fluid Dynamic</i>	36
3.6 Data Hasil Pengujian	37

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Validasi Data	38
4.1.1 Validasi Temperatur Masuk dan Keluar Fluida Kerja Sirip Linier	42
4.1.2 Validasi Temperatur Permukaan Panel Surya PV/T	43

4.2 Pengembangan Penelitian dengan Simulasi <i>Ansys Discovery Aim</i>	45
4.2.1 Pengembangan Penelitian Metode Simulasi dengan memvariasikan Jarak Antar Sirip	46
4.2.2 Pengembangan Penelitian Metode Simulasi dengan memvariasikan Jarak Antar Sirip	57

V. PENUTUP

5.1 Simpulan	68
5.2 Saran	69

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Matahari	9
Gambar 2.2 Kolektor surya pelat datar	13
Gambar 2.3 Semikonduktor tipe-P (kiri) dan Semikonduktor tipe-N (kanan). ..	14
Gambar 2.4 Diagram energi sambungan P-N dan daerah deplesi	15
Gambar 2.5 Aliran <i>single pass</i>	16
Gambar 2.5 Aliran <i>double pass</i>	17
Gambar 2.6 (a) <i>Rectangle Fin</i> (b) <i>Parabolic Fin</i> (c) <i>Triangular Fin</i> (d) <i>Pin Fin</i>	18
Gambar 2.7 Ilustrasi PV/T Air System Aliran Double Pass	19
Gambar 2.8 Ilustrasi PV/T Air System Aliran Single Pass	20
Gambar 2.9 Geometri kolektor surya sirip linier	22
Gambar 2.10 Hasil <i>meshing</i> kolektor surya sirip linier.....	22
Gambar 2.11 <i>Toolbar Menu General</i>	23
Gambar 2.12 <i>Toolbar Menu Materials (a. air, b. silicon, c. alumunium)</i>	24
Gambar 2.13 <i>Toolbar Boundary Conditions</i>	25
Gambar 2.14 <i>Toolbar Solution Initializition</i>	26
Gambar 3.1 Bentuk geometri sirip dengan jarak 50 mm	30
Gambar 3.2 Bentuk geometri sirip dengan jarak sirip 75 mm	31
Gambar 3.3. Bentuk geometri sirip dengan jarak 100 mm	32
Gambar 3.4 Bentuk geometri sirip dengan jarak 50 mm dan tinggi 25 mm ...	32
Gambar 3.5 Bentuk geometri sirip dengan jarak 50 mm dan tinggi 37,5 mm	33
Gambar 3.6 Proses <i>meshing</i>	34
Gambar 4.1 <i>Contour</i> Tout fluida dengan laju aliran massa 12 g/s	37

Gambar 4.2 <i>Contour</i> temperatur (a) permukaan PV/T dan (b) sirip <i>absorber</i> dengan laju aliran massa 12 g/s	38
Gambar 4.3 Grafik perbandingan temperatur keluaran udara terhadap laju aliran massa secara simulasi dan ekperimen	40
Gambar 4.4 Grafik perbandingan temperatur permukaan PV/T terhadap laju aliran massa secara simulasi dan eksperimen	42
Gambar 4.5 Grafik hasil perbandingan temperatur udara keluar simulasi PV/T	45
Gambar 4.6 <i>Contour</i> hasil simulasi temperatur <i>outlet</i> pada jarak antar sirip 50 mm dan laju aliran massa 12g/s	46
Gambar 4.7 <i>Contour</i> hasil simulasi temperatur <i>outlet</i> pada jarak antar sirip 75 mm dan laju aliran massa 12g/s	47
Gambar 4.8 <i>Contour</i> hasil simulasi temperatur <i>outlet</i> pada jarak antar sirip 100 mm dan laju aliran massa 12g/s	47
Gambar 4.9 Grafik perbandingan laju aliran mass terhadap temperatur permukaan PV/T dengan variasi jarak antar sirip	48
Gambar 4.10 <i>Contour</i> temperatur (a) permukaan PV/T dan (b) sirip <i>absorber</i> dengan jarak antar sirip 50 mm dan laju aliran massa 12 g/s	49
Gambar 4.11 <i>Contour</i> temperatur (a) permukaan PV/T dan (b) sirip <i>absorber</i> dengan jarak antar sirip 75 mm dan laju aliran massa 12 g/s	50
Gambar 4.12 <i>Contour</i> temperatur (a) permukaan PV/T dan (b) sirip <i>absorber</i> dengan jarak antar sirip 100 mm dan laju aliran massa 12 g/s ..	50
Gambar 4.13 Grafik perbandingan antara laju aliran massa nilai <i>pressure drop</i> simulasi PV/T	51
Gambar 4.14 Grafik hasil temperatur keluaran simulasi PV/T variasi tinggi sirip	54
Gambar 4.15 <i>Contour</i> hasil simulasi temperatur <i>outlet</i> variasi tinggi sirip 25 mm dengan laju aliran massa 12 g/s	55
Gambar 4.16 <i>Contour</i> hasil simulasi temperatur <i>outlet</i> variasi tinggi	

sirip 37,5 mm dengan laju aliran massa 12 g/s	56
Gambar 4.17 <i>Contour</i> hasil simulasi temperatur <i>outlet</i> variasi tinggi	
sirip 50 mm dengan laju aliran massa 12 g/s	56
Gambar 4.18 Grafik temperatur permukaan rata-rata PV/T variasi	
tinggi sirip	57
Gambar 4.19 <i>Contour</i> temperatur (a) permukaan PV/T dan (b) sirip <i>absorber</i>	
jarak antar sirip 50 mm dan tinggi sirip 25 mm dengan laju aliran	
massa 12 g/s	58
Gambar 4.20 <i>Contour</i> temperatur (a) permukaan PV/T dan (b) sirip <i>absorber</i>	
jarak antar sirip 50 mm dan tinggi sirip 37,5 mm dengan laju aliran	
massa 12 g/s	59
Gambar 4.21 <i>Contour</i> temperatur (a) permukaan PV/T dan (b) sirip <i>absorber</i>	
jarak antar sirip 50 mm dan tinggi sirip 50 mm dengan laju aliran	
massa 12 g/s	59
Gambar 4.22 Grafik hasil <i>pressure drop</i> hasil simulasi PV/T variasi	
tinggi sirip	60

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Data hasil eksperimen dengan variasi laju aliran massa fluida udara ..	36
Tabel 4.2 Data hasil temperatur masuk dan keluar fluida kerja (udara) secara eksperimen dan simulasi	39
Tabel 4.3 Data hasil temperatur permukaan panel surya secara eksperimen dan simulasi	41
Tabel 4.4 Hasil pengujian PV/T sirip linier dengan variasi jarak antar sirip	44
Tabel 4.5 Hasil pengujian PV/T sirip linier dengan variasi tinggi sirip	53

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi dikelompokkan menjadi sumber energi tidak terbarukan dan sumber energi terbarukan. Sumber energi tidak terbarukan adalah sumber energi yang keberadaannya di alam sangat terbatas dan akan habis dalam kurun waktu tertentu seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara atau yang lebih dikenal dengan sebutan bahan bakar fosil. Penggunaan bahan bakar fosil mempunyai dampak negatif pada perubahan iklim karena bahan bakar fosil apabila dibakar akan melepaskan gas karbon dioksida (CO_2) dan gas karbon monoksida (CO).

Di era serba moderen ini, permintaan akan energi menjadi semakin meningkat dan konsumsi bahan bakar fosil yang semakin melonjak baik untuk industri maupun transportasi, sedangkan cadangan bahan bakar fosil semakin menipis. Meskipun demikian telah banyak pula yang sadar akan hal itu dan mencoba mencari sumber energi alternatif dan ramah lingkungan. Energi terbarukan adalah energi yang didapatkan dari pemanfaatan panas matahari, air, angin, panas bumi, gelombang laut serta biomassa. Energi terbarukan mempunyai keuntungan ramah terhadap lingkungan serta keberadaannya di alam ini tidak akan habis. Penggunaan energi fosil secara terus menerus akan mengurangi cadangan energi yang ada karena cadangan energi fosil yang terbatas dan membutuhkan waktu yang lama untuk memperbaharunya.

Energi matahari atau energi surya dapat menjadi energi alternatif untuk mengurangi penggunaan energi fosil serta menjadi energi terbarukan.

Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi yang sangat besar dalam produksi energi matahari hal ini dikarenakan negara tropis mendapatkan intensitas radiasi yang tinggi dan pemanfaatan panas matahari yang baik dapat mengurangi energi fosil yang selama ini digunakan.

Kebutuhan total energi primer Indonesia mengalami peningkatan sebesar 214,2 Juta TOE dari sebelumnya 178,4 Juta TOE pada tahun 2013 sampai dengan tahun 2018 atau tumbuh rata-rata 3,7% per tahun. rata-rata pertumbuhan 3,7% per tahun. Sementara bauran energi primer dalam 5 tahun terakhir menunjukkan perubahan yang cukup signifikan khususnya mengenai peran minyak yang menurun dari 48,1% tahun 2013 menjadi 38,8% tahun 2018 atau turun rata-rata 2% per tahun. Sedangkan peran EBT naik rata-rata 15,7% per tahun (meningkat dari 5% tahun 2013 menjadi 8,6% tahun 2018). Naiknya peran EBT terutama dipengaruhi oleh meningkatnya pangsa *biofuel*. (DEN,2019).

Semakin menurunnya cadangan sumber bahan bakar fosil sebagai bahan bakar pembangkit listrik serta konsumsi yang terus meningkat membuat para ahli memikirkan dan mencari sumber-sumber energi alternatif serta menciptakan teknologi baru yang dapat menggantikan bahan bakar fosil sebagai sumber energi pembangkit listrik. Oleh karena itu, pada saat ini berbagai penelitian telah dilakukan di berbagai negara maju untuk mengurangi emisi gas buang dengan menghemat penggunaan bahan bakar fosil, salah satu diantaranya adalah penggunaan matahari sebagai sumber energi.

Indonesia adalah negara yang mempunyai berbagai jenis sumber daya energi dalam jumlah yang melimpah. Letak Indonesia sendiri yang berada pada daerah khatulistiwa berdampak pada wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 10 - 12 jam dalam sehari. Potensi yang dimiliki sumber energi matahari di Indonesia sebagai sumber energi listrik alternatif (terbarukan) sangat perlu dimanfaatkan mengingat, total intensitas penyinaran rata-rata 4,5 kWh per meter persegi perhari, matahari bersinar berkisar 2000 jam per tahun,

sehingga tergolong kaya sumber energi matahari. Data Ditjen Listrik dan pengembangan energi pada tahun 1997, kapasitas terpasang listrik tenaga surya di Indonesia mencapai 0,88 MW dari potensi yang tersedia $1,2 \times 10^9$ MW. Sedangkan arah kebijakan pengembangan energi baru dan terbarukan telah diamanatkan dalam Undang-Undang Nomor 30, pasal 20-22 Tahun 2007 Tentang Energi.

Ada beberapa tipe kolektor surya, salah satu diantaranya yang sudah banyak dikenal adalah kolektor surya pelat datar. Jenis kolektor ini menggunakan alat berupa pelat datar, permukaannya dicat warna hitam *doff* untuk mendapatkan penyerapan radiasi matahari yang optimal dan selanjutnya kalor ditransfer ke fluida kerja. Agar tidak terjadi kerugian panas ke lingkungan, maka digunakan penutup transparan sehingga terjadi efek rumah kaca, sedangkan pada bagian bawah dan samping diberikan isolasi. *Photovoltaic* (PV) merupakan suatu sistem yang secara langsung mentransfer radiasi matahari atau energi surya menjadi energi listrik. Prinsip kerja *photovoltaic* pertama kali ditemukan oleh *Henri Becquerrel* pada tahun 1839, efek *photovoltaic* adalah fenomena dimana munculnya voltase listrik karena adanya kontak antara dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat diekspos di bawah energi cahaya matahari. Energi surya berupa radiasi cahaya yang terdiri dari foton - foton yang memiliki tingkat energi yang berbeda - beda. Perbedaan tingkat energi inilah yang menentukan panjang spektrum cahaya. Ketika foton mengenai permukaan sel *photovoltaic* maka foton tersebut dapat dibiarkan, diserap ataupun diteruskan menembus sel *photovoltaic*. Foton yang diserap oleh sel surya inilah yang akan memicu timbulnya energi listrik (Wiranugraha dkk, 2016).

Salah satu kekurangan *photovoltaic* apabila digunakan secara langsung adalah ketika pengoperasiannya mengalami kenaikan temperatur. Panel surya selain menyerap cahaya matahari juga akan menyerap panas dari matahari sehingga temperatur dari panel surya akan mengalami kenaikan. 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. Menurut Chow (2003) panel surya yang terpapar matahari secara terus-menerus akan menurunkan efisiensi elektrikal setiap kenaikan temperatur kerja sebesar 9 -10 °C pada permukaan photovoltaic mengakibatkan penurunan efisiensi elektrik sebesar 5%. *Flat plate collector* (kolektor pelat datar) merupakan jenis kolektor yang umum digunakan dalam teknologi *photovoltaic thermal* (PV/T). Kolektor pelat datar mampu menyerap radiasi matahari dengan sorotan langsung, namun temperatur panel menjadi lebih cepat meningkat dan menurunkan kinerja kolektor.

Sebagai upaya dalam optimasi efisiensi pada sistem *photovoltaic thermal* (PV/T) kolektor pelat datar maka dilakukan penurunan temperatur panel dan mengumpulkan energi panas yang dipancarkan radiasi matahari. *Photovoltaic* dengan metode pendingin udara merupakan salah satu cara efektif dalam upaya peningkatan efisiensi *photovoltaic*. Peningkatan luas area perpindahan panas akan meningkatkan efisiensi *photovoltaic*, Peningkatan luas area perpindahan panas dapat dilakukan dengan cara penambahan sirip (*fin*) serta melakukan aliran *double pass* pada aliran udara. (Elsafi, 2015). Penambahan sirip pendingin dapat diberikan pada bagian bawah dari panel surya yang kemudian akan dialiri fluida guna terjadinya perpindahan panas. Fluida yang sering digunakan adalah udara, hal ini menjadi suatu keunggulan sistem PV/T yang menggunakan sirip (*fin*) sebagai perangkat pendinginnya karena udara sangat berlimpah ketersediaannya di alam. Selain kemudahan penggunaan fluida kerja, penggunaan *fin* memberikan kemudahan dalam pembuatan dan mudah untuk memindahkan instalasi system PV/T dari satu tempat ke tempat lainnya.

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Hidayat (2020) mengenai pengaplikasian kolektor surya termal (PV/T) dengan *air system*. Penelitian tersebut menggunakan udara sebagai fluida kerja dan menggunakan sirip udara berbentuk linier dengan ukuran panel surya yang digunakan adalah 1020 mm X 670 mm, ukuran sirip tinggi 25,4 mm, ketebalan sirip 1 mm serta jarak antar

sirip sebesar 12,7 mm. Efisiensi termal dan elektrik yang dihasilkan sebesar 73,3 % dan 10,16 % sebagai nilai tertinggi yang terjadi pada variasi laju aliran massa 48 g/s. Namun penelitian tersebut memiliki kekurangan - kekurangan antara lain waktu yang dibutuhkan untuk pembuatan dan pengujian cukup lama kemudian biaya yang dikeluarkan juga cukup banyak dilihat dari alat dan bahan yang digunakan.

Berbekal penelitian tersebut penulis melakukan pengembangan penelitian untuk melihat karakteristik unjuk kerja PV/T menggunakan perangkat lunak *Computational Fluid Dynamic* (CFD). *Computational Fluid Dynamic* (CFD) merupakan salah satu cabang ilmu dinamika fluida yang mengaplikasikan metode numerik dan algoritma dalam memecahkan serta menganalisa masalah yang melibatkan aliran fluida dengan distribusi temperatur dan tekanan yang terjadi (Mahdi, 2017). Penelitian berbasis simulasi menggunakan CFD memiliki keunggulan antara lain kemudahan dalam memberikan variasi pengujian, biaya penelitian yang cenderung murah dan efisiensi penggunaan waktu yang sangat baik. Dengan dasar inilah perlu dilakukan simulasi unjuk kerja kolektor surya pelat datar dengan penambahan geometri sirip linier menggunakan perangkat lunak *Ansys Discovery Aim* agar didapatkan karakteristik unjuk kerjanya.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah mengetahui karakteristik unjuk kerja termal dan *pressure drop* panel surya termal (PV/T) kolektor pelat datar menggunakan sirip linier dengan fluida kerja udara.

1.3. Batasan Masalah

Sebagai batasan masalah dalam pembahasan agar fokus dari permasalahan ruang lingkup penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Menggunakan panel surya termal (PV/T) jenis *flat plate collector* (FPC) dengan ukuran 1020 mm X 670 mm.
2. Simulasi menggunakan perangkat lunak *Ansys Discovery Aim*.
3. Simulasi dilakukan dengan kondisi *steady state*.
4. Material yang digunakan untuk *absorber* dan *fin* adalah aluminium.
5. Simulasi dilakukan untuk memperoleh unjuk kerja termal dan *pressure drop* dari *photovoltaic thermal* (PV/T) jenis kolektor pelat datar.
6. Menggunakan *fin* dengan geometri linier dengan aliran udara *single pass*.
7. Ukuran sirip yang digunakan memiliki panjang 1000 mm.
8. Variasi jarak antar sirip linier yang digunakan adalah 50 mm, 75 mm, dan 100 mm.
9. Variasi tinggi sirip menjadi 25 mm, 37,5 mm, dan 50 mm

1.4 Sistem 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 *photovoltaic thermal* (PV/T), serta perangkat lunak *CFD Ansys Discovery Aim* dan penelitian yang telah dilakukan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang parameter pengujian, 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 *Ansys Discovery Aim* dan melakukan analisa hasil pengamatan.

V. SIMPULAN DAN SARAN

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

DAFTAR PUSTAKA

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

LAMPIRAN

Berisikan tentang data – data tambahan yang mendukung penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi Surya

Energi surya merupakan salah satu energi yang sedang giat dikembangkan saat ini oleh pemerintah Indonesia karena sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup besar. Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia, radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan berturut-turut sebagai berikut: untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 4,5 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 10%; dan di Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 5,1 kWh/m² perhari dengan variasi bulanan sekitar 9% (Yandri, 2012).

Dengan demikian, potensi penyinaran matahari rata-rata Indonesia sekitar 4,8 kWh/m² perhari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Matahari adalah sumber energi utama yang memancarkan energi yang luar biasa besarnya ke permukaan bumi. Pada keadaan cuaca cerah, permukaan bumi menerima sekitar 1000 watt energi matahari permeter persegi. Kurang dari 30% energi tersebut dipantulkan kembali ke angkasa, 47% dikonversikan menjadi panas 23% digunakan untuk seluruh sirkulasi kerja yang terdapat di atas permukaan bumi, sebageaian kecil 0,25% ditampung angin, gelombang dan arus dan masih ada bagian yang sangat kecil 0,025% disimpan melalui proses fotosintesis di dalam tumbuh-tumbuhan yang akhirnya digunakan dalam proses pembentukan batu bara dan minyak bumi (bahan bakar fosil, proses fotosintesis yang memakan jutaan tahun) yang saat ini digunakan secara ekstensif dan eksploratif bukan hanya untuk bahan bakar tetapi juga untuk bahan pembuat plastik,

formika, bahan sintesis lainnya. Sehingga bisa dikatakan bahwa sumber segala energi adalah energi surya. Gambar 2.1 merupakan penampakan matahari yang terlihat dari bumi



Gambar 2.1 Matahari

Energi surya adalah sangat luar biasa karena tidak bersifat polutif, tidak dapat habis, dapat dipercaya dan tidak membeli. Kekurangan dari energi surya ini adalah sangat halus dan tidak konstan. Arus energi surya yang rendah mengakibatkan dipakainya sistem dan kolektor yang luas permukaannya besar untuk mengumpulkan dan mengkonsentrasikan energi itu. Sistem kolektor ini berharga cukup mahal dan ada masalah lagi bahwa sistem-sistem di bumi tidak dapat diharapkan akan menerima persediaan yang terus menerus dari energi surya. Hal ini berarti diperlukan semacam sistem penyimpanan energi atau konversi lain diperlukan untuk menyimpan energi pada malam hari serta pada saat cuaca mendung.

Energi surya atau matahari telah dimanfaatkan di banyak belahan dunia dan jika dieksploitasi dengan tepat, energi ini berpotensi mampu menyediakan kebutuhan konsumsi energi dunia saat ini dalam waktu yang lebih lama. Matahari dapat digunakan secara langsung untuk memproduksi listrik atau

untuk memanaskan bahkan untuk mendinginkan. Potensi masa depan energi surya hanya dibatasi oleh keinginan kita untuk menangkap kesempatan. (Widayana, 2012).

2.2. Kalor

Panas atau kalor merupakan suatu bentuk energi yang berpindah karena adanya perbedaan temperatur. Panas atau kalor tersebut akan bergerak dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Ketika panas atau kalor bergerak maka akan terjadi pertukaran panas dan kemudian akan berhenti ketika kedua tempat tersebut sudah memiliki temperatur yang sama. Contohnya, kopi panas ke lingkungan yang mempunyai suhu 20°C, hingga terjadi kesetimbangan atau kesamaan suhu pada gelas dan lingkungan (Cengel, 2011).

2.3. Mekanisme Perpindahan Panas

Mekanisme perpindahan panas yang terjadi dapat berupa konduksi, konveksi atau radiasi. Dalam aplikasinya, ketiga mekanisme ini dapat terjadi secara simultan.

2.3.1 Konduksi

Suatu material bahan yang mempunyai gradien, maka kalor akan mengalir tanpa disertai oleh suatu gerakan zat. Aliran kalor seperti ini disebut konduksi atau hantaran. Konduksi termal pada logam-logam padat terjadi akibat gerakan elektron yang terikat dan konduksi termal mempunyai hubungan dengan konduktivitas listrik. Pemanasan pada logam berarti pengaktifan gerakan molekul, sedangkan pendinginan berarti pengurangan gerakan molekul (Mc. Cabe, 1993). Laju perpindahan kalor secara konduksi sebanding dengan gradien suhu (Mc. Cabe, 1993), dan dengan konstanta kesetimbangan (konduksi), maka menjadi persamaan *Fourier*.

$$Q_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (\text{W}) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

- K = Konduktivitas Termal (W/m K)
- A = Luas Area Perpindahan Panas (m²)
- dT = Gradien Temperatur (K)
- dx = Jarak (m)

Tanda (-) digunakan untuk memenuhi hukum II Termodinamika yaitu “kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala temperatur”.

2.3.2 Konveksi

Konveksi merupakan proses perlindungan kalor dengan media atau benda yang menghantarkan kalor juga turut berpindah, seolah-olah kalor dibawa oleh media tersebut. Proses perpindahan kalor ini umumnya terjadi dari benda padat ke fluida baik cair maupun gas. Kalor yang dipindahkan secara konveksi dinyatakan dengan persamaan Newton.

$$Q_{conv} = hA(T_s - T_f) \quad (\text{W}) \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

- h = Konvektivitas Termal (W/m² K)
- A = Luas Area Perpindahan Panas (m²)
- T_s = Temperatur Permukaan Padat (K)
- T_f = Temperatur Fluida (K)

Tanda (-) digunakan untuk memenuhi hukum II Termodinamika, sedangkan panas yang dipindahkan selalu mempunyai tanda (+).

2.3.3 Radiasi

Pada proses radiasi, panas diubah menjadi gelombang elektromagnetik yang merambat tanpa melalui ruang media penghantar. Jika gelombang tersebut mengenai suatu benda, maka gelombang dapat mengalami transisi (diteruskan), refleksi (dipantulkan) dan absorpsi (diserap) dan menjadi kalor. Hal itu tergantung pada jenis benda. Menurut hukum Stefan Boltzman tentang radiasi panas dan berlaku hanya untuk benda hitam, bahwa kalor yang dipancarkan (dari benda hitam) dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat temperatur absolut benda itu dan berbanding lurus dengan permukaan benda, secara matematis dapat ditulis,

$$Q_{rad} = E\sigma AT_s^4 \quad (\text{W})\dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

E = Emisivitas

σ = Konstanta Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$)

A = Luas area (m^2)

T_s = Gradien Temperatur (K)

2.4. Kolektor Surya

Sel surya merupakan perangkat yang unik karena memanfaatkan efek *photovoltaic* yang memungkinkannya perubahan langsung energi yang diserap dari matahari menjadi energi listrik, *photovoltaic* sendiri merupakan istilah yang telah digunakan di Inggris semenjak tahun 1849 dan berasal dari bahasa Yunani *phos* yang berarti cahaya dan *voltaic* yang berarti listrik diadaptasi dari nama fisikawan Italia yang bernama Alessandro Volta. Proses perubahan energi cahaya matahari menjadi listrik ini dapat berlangsung pada material semikonduktor yang mempunyai dua area yang berbeda, dimana satu area mempunyai kelebihan elektron dan area yang lain kekurangan elektron

(Muttaqin dkk, 2016). Pada umumnya material semikonduktor ini terbuat dari silikon yang pada penggunaannya dikategorikan berdasarkan bentuk menjadi 2 yakni kristal dan non-kristal. Sel surya mempunyai banyak aplikasi, diantaranya sangat berguna pada situasi dimana energi listrik masih jarang atau sulit didapatkan seperti didaerah terpencil dan juga satelit buatan manusia yang mengorbit bumi diluar angkasa. *Photovoltaic* (PV) adalah suatu sistem atau cara langsung untuk mentransfer radiasi matahari atau energi cahaya menjadi energi listrik. Sistem *photovoltaic* bekerja dengan prinsip efek *photovoltaic*. Efek *photovoltaic* pertama kali ditemukan oleh Henri Becquerel pada tahun 1839.

Efek *photovoltaic* adalah fenomena dimana suatu sel *photovoltaic* dapat menyerap energi cahaya dan merubahnya menjadi energi listrik. Efek *photovoltaic* didefinisikan sebagai suatu fenomena munculnya voltase listrik akibat kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat diexpose dibawah energi cahaya. Energi *solar* atau radiasi cahaya terdiri dari biasan foton-foton yang memiliki tingkat energi yang berbeda-beda. Perbedaan tingkat energi dari foton cahaya inilah yang akan menentukan panjang gelombang dari spektrum cahaya. Ketika foton mengenai permukaan suatu sel PV, maka foton tersebut dapat dibiaskan, diserap, ataupun diteruskan menembus sel PV. Foton yang diserap oleh sel PV inilah yang akan memicu timbulnya energi listrik. Sel PV adalah suatu perangkat yang mengkonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Pada dasarnya mekanisme konversi energi cahaya terjadi akibat adanya perpindahan elektron bebas didalam suatu atom. Konduktivitas elektron atau kemampuan transfer elektron dari suatu material terletak pada banyaknya elektron valensi dari suatu material. Sel surya pada umumnya menggunakan material semikonduktor sebagai penghasil elektron bebas.

Material semikonduktor adalah suatu padatan dan seperti logam, konduktivitas listriknya juga ditentukan oleh elektron valensinya. Namun, berbeda dengan logam yang konduktivitasnya menurun dengan kenaikan temperatur, material

semikonduktor konduktivitasnya akan meningkat secara signifikan. Ketika foton dari suatu sumber cahaya menmbuk suatu elektron valensi dari atom semikonduktor, hal ini mengakibatkan suatu energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron tersebut terlepas dari struktur atomnya. Elektron yang terlepas tersebut menjadi bebas bergerak didalam bidang kristal dan elektron tersebut menjadi bermuatan negatif dan berada pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor. Panel surya sangat mudah dalam hal pemeliharaan karena tidak ada bagian bergerak. Satu-satunya hal yang harus dikhawatirkan adalah memastikan untuk menyingkirkan segala hal yang dapat menghalangi sinar matahari ke panel surya tersebut. Gambar 2.2 merupakan gambar penampakan dari panel surya jenis kolektor pelat datar atau disebut juga *flat plate collector* (FPC).



Gambar 2.2 Kolektor surya pelat datar

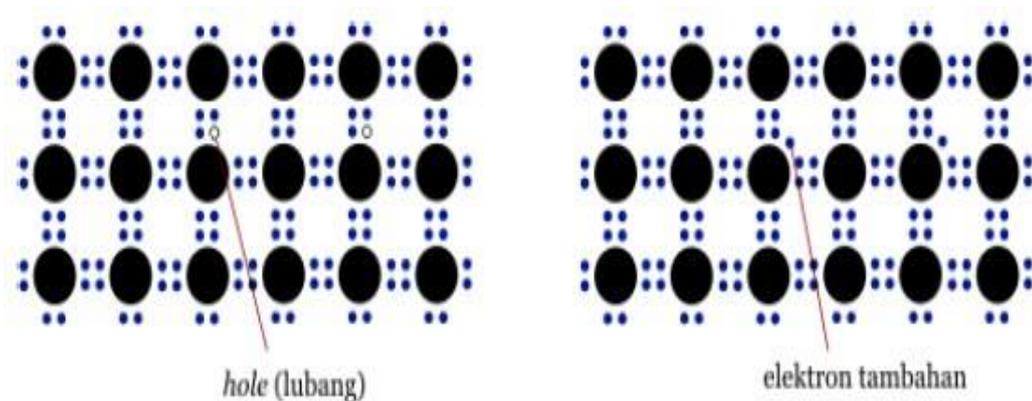
2.5. Prinsip Dasar Teknologi *Solar Cell* (*Photovoltaic*) dari Bahan Silikon

Solar cell merupakan suatu perangkat semikonduktor yang dapat menghasilkan listrik jika diberikan sejumlah energi cahaya. Proses penghasilan energi listrik terjadi jika pemutusan ikatan elektron pada atom-atom yang tersusun dalam

Kristal semikonduktor ketika diberikan sejumlah energi. Salah satu bahan semikonduktor yang biasa digunakan sebagai sel surya adalah Kristal silikon (Iswanto,2008).

2.5.1 Semikonduktor Tipe P dan Tipe N

Ketika suatu Kristal silikon ditambahkan dengan unsur golongan kelima, misalnya arsen, maka atom-atom arsen itu akan menempati ruang diantara atom-atom silikon yang mengakibatkan munculnya elektron bebas pada material campuran tersebut. Elektron bebas tersebut berasal dari kelebihan elektron yang dimiliki oleh arsen terhadap lingkungan sekitarnya, dalam hal ini adalah silikon. Semikonduktor jenis ini kemudian diberi nama semikonduktor tipe-n. Gambar 2.3 merupakan ilustrasi dari letak elektron semikonduktor tipe-P dan tipe-N.



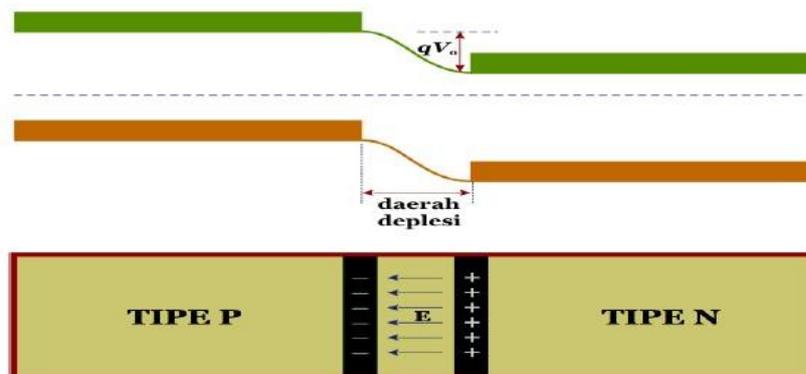
Gambar 2.3 Semikonduktor tipe-P (kiri) dan Semikonduktor tipe-N (kanan)

Hal yang sebaliknya terjadi jika kristal silikon ditambahkan oleh unsur golongan ketiga, misalnya boron, maka kurangnya elektron valensi boron dibandingkan dengan silikon mengakibatkan munculnya *hole* yang bermuatan positif pada semikonduktor tersebut. Semikonduktor ini dinamakan semikonduktor tipe-p. Adanya tambahan pembawa muatan tersebut mengakibatkan semikonduktor ini akan lebih banyak

menghasilkan pembawa muatan ketika diberikan sejumlah energi tertentu, baik pada semikonduktor tipe-n maupun tipe-p.

2.5.2 Sambungan P-N

Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n disambungkan maka akan terjadi difusi *hole* dari tipe-p menuju tipe-n dan difusi elektron dari tipe-n menuju tipe-p. Difusi tersebut akan meninggalkan daerah yang lebih positif pada batas tipe-n dan daerah lebih negatif pada batas tipe-p. Gambar 2.4 merupakan ilustrasi daerah deplesi akibat sambungan P-N.



Gambar 2.4 Diagram energi sambungan P-N dan daerah deplesi

Adanya perbedaan muatan pada sambungan p-n disebut dengan daerah deplesi akan mengakibatkan munculnya medan listrik yang mampu menghentikan laju difusi selanjutnya. Medan listrik tersebut mengakibatkan munculnya arus *drift*. Arus *drift* yaitu arus yang dihasilkan karena kemunculan medan listrik. Namun arus ini terimbangi oleh arus difusi sehingga secara keseluruhan tidak ada arus listrik yang mengalir pada semikonduktor sambungan p-n tersebut (Iswanto,2008).

Sebagaimana yang kita ketahui bersama, elektron adalah partikel bermuatan yang mampu dipengaruhi oleh medan listrik. Kehadiran medan listrik pada elektron dapat mengakibatkan elektron bergerak. Hal

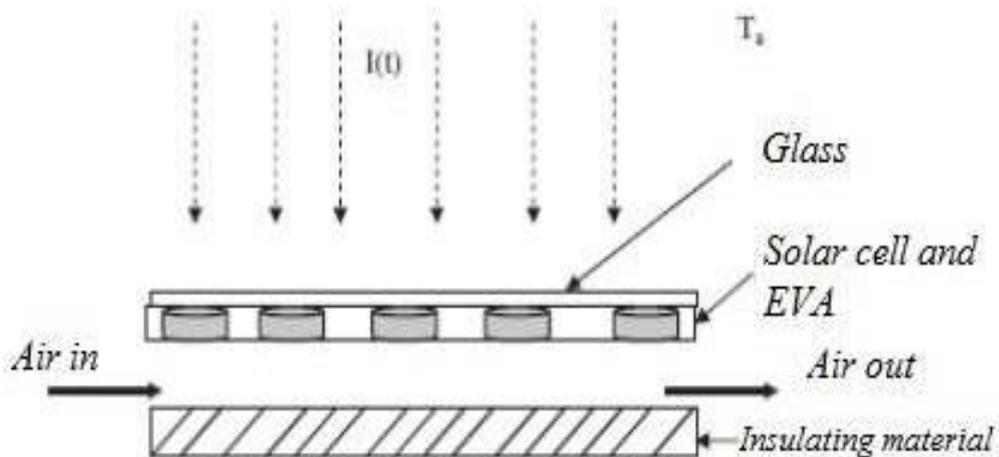
ini yang dilakukan pada solar cell sambungan p-n, yaitu dengan menghasilkan medan listrik pada sambungan p-n agar electron dapat mengalir akibat kehadiran medan listrik tersebut.

2.6. Jenis Aliran *Photovoltaic hybrid Air System*

Aliran pada *photovoltaic thermal air system* bertujuan untuk mentransfer energi kalor pada *absorber* menuju udara yang mengalir. Peningkatan kerja termal dapat dilakukan dengan cara memperluas kontak perpindahan panas salah satunya dengan variasi jenis aliran (Oathman Dkk,2007).

2.6.1 Aliran *Single Pass*

Pada aliran jenis ini, pelat *absorber* diletakan dibawah *photovoltaic* kemudian udara mengalir melalui saluran udara dibawah *absorber* seperti diilustrasikan pada Gambar 2.5

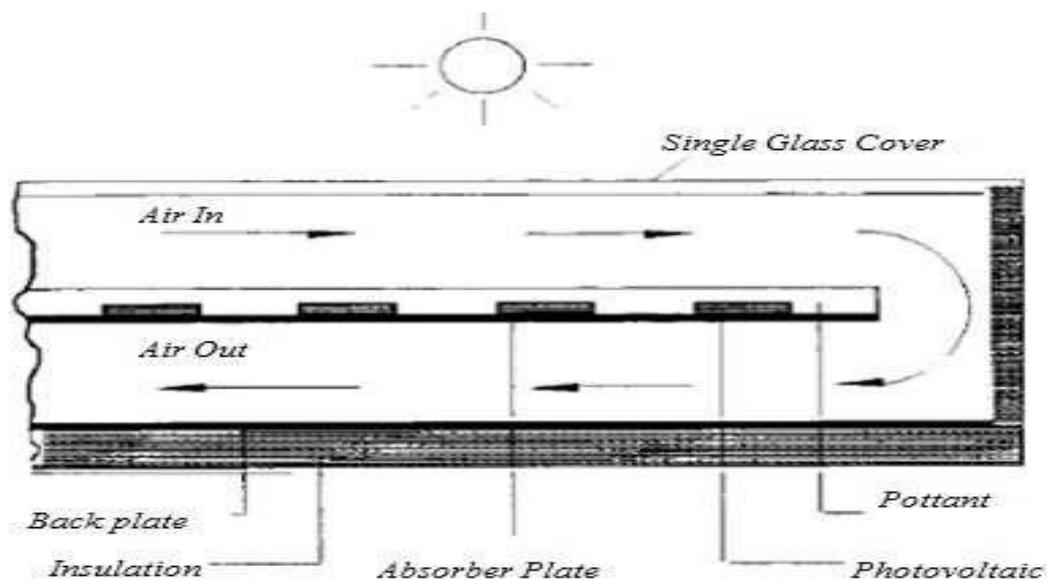


Gambar 2.5 Aliran *single pass*

Energi radiasi matahari yang mengakibatkan temperatur permukaan panel meningkat diserap oleh pelat *absorber* kemudian ditransfer ke air yang mengalir dibawah permukaan pelat *absorber* secara konveksi sehingga temperatur permukaan panel menurun dan efisiensi elektrik *photovoltaic* meningkat.

2.6.2 Aliran *Double Pass*

Penambahan laluan aliran bertujuan untuk meningkatkan luas kontak perpindahan panas yang terdapat pada *photovoltaic thermal air system*. Gambar 2.5 mengilustrasikan aliran *double pass* pada *photovoltaic thermal air system*. Radiasi matahari yang datang melewati kaca transparan yang berfungsi sebagai penerus dan pengisolasi aliran udara agar tidak keluar kelingkungan. Udara masuk melewati atas permukaan panel kemudian diarahkan menuju bawah permukaan panel yang terpasang pelat *absorber* dan udara keluar dari bawah permukaan panel. Gambar 2.5 merupakan ilustrasi aliran *double pass*.

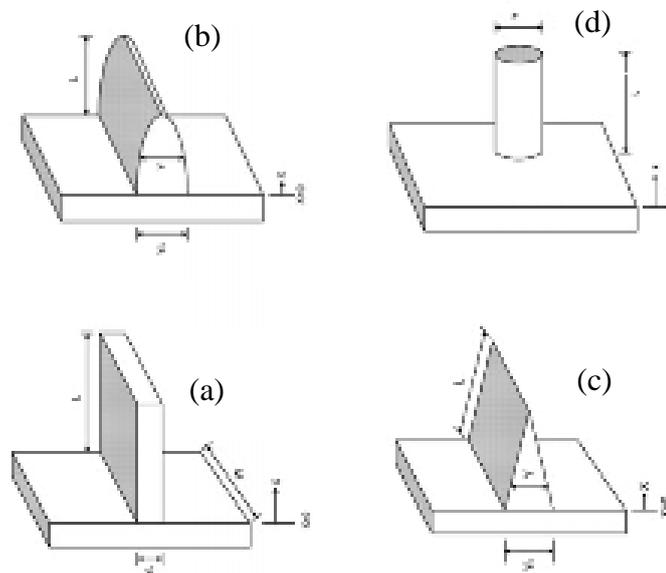


Gambar 2.5 Aliran *double pass*

2.7. Sirip Pada PV/T Air System

Peningkatan luas area kontak perpindahan panas dan turbulensi aliran fluida dapat meningkatkan efektifitas kolektor termal, penambahan sirip (*fin*) pada

sistem PV/T merupakan salah satunya. Penambahan sirip pada desain PVT akan mengacaukan aliran udara yang melewati sehingga aliran udara menjadi turbulen dan meningkatkan koefisien perpindahan panas. Penambahan luas permukaan ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas yang terjadi akibat penambahan luas area yang berkontak dengan fluida pendingin. Gambar 2.6 mengilustrasikan geometri *fin* yang sering digunakan pada PV/T *air system*.



Gambar 2.6 (a) *Rectangle Fin* (b) *Parabolic Fin* (c) *Triangular Fin*
(d) *Pin Fin*

Elsafi (2015) melakukan simulasi dengan konfigurasi geometri *fin* terhadap performa PVT 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 efektifitas permukaan. Secara matematis efektifitas sirip (ϵ_f) ditulis dalam Persamaan (2.4) berikut.

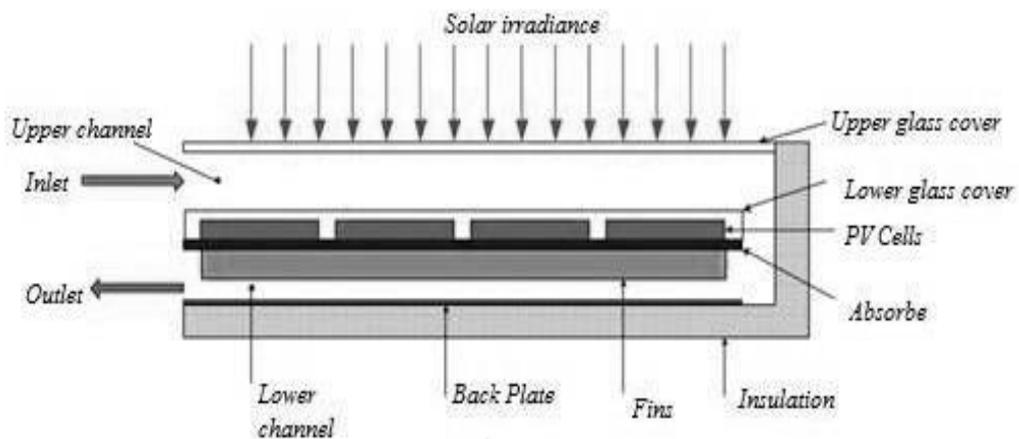
$$\epsilon_f = \frac{q_f}{hA_{c,t}\theta_b} \dots\dots\dots (2.4)$$

Persamaan lain untuk menghitung performa sirip adalah efisiensi yang ditulis dalam persamaan (2.5)

$$\eta_f = \frac{q_f}{q_{max}} = \frac{q_f}{hA_f\theta_b} \dots\dots\dots (2.5)$$

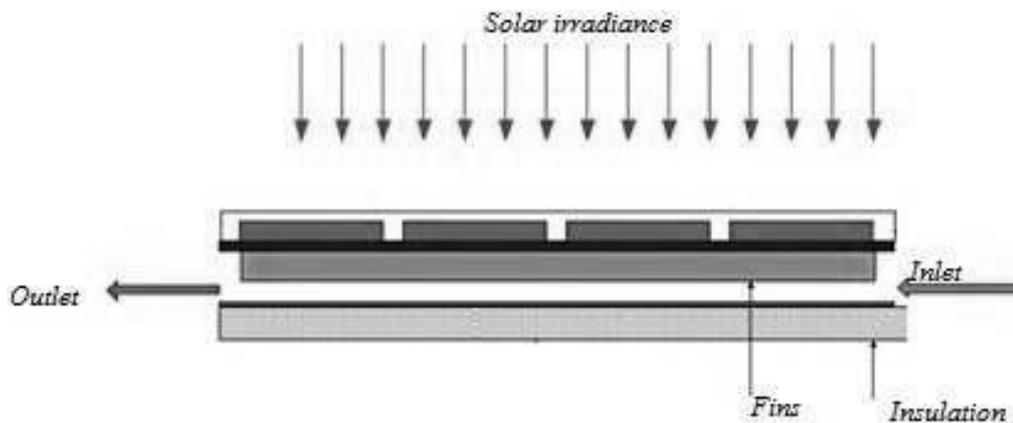
2.8 Persamaan Dasar *Photovoltaic Thermal Air System*

Kesetimbangan energi sebuah PV/T *Air system* aliran *double pass* di ilustrasikan pada Gambar 2.7 berikut



Gambar 2.7 Ilustrasi PV/T *Air System Aliran Double Pass*

Energi radiasi matahari yang datang menembus kaca dan diterima oleh permukaan panel diserap oleh pelat *absorber* dan sirip sebagai pertambahan luas permukaan kemudian di transfer ke fluida kerja yang mengalir berupa udara yang masuk melalui atas permukaan panel dan keluar dari bawah permukaan panel. *Energy balance* sebuah PV/T *air system* aliran *single pass* di ilustrasikan pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Ilustrasi PV/T Air System Aliran Single Pass

Keseimbangan energi pada aliran *single pass* dapat dihitung dengan Persamaan (2.6) dengan kondisi batas pada $x=0$ $T_{f2} = T_{in}$ dan efisiensi termal sesaat dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.7) serta efisiensi elektrik dari *photovoltaic* digunakan Persamaan (2.8) (Elsafi, 2015).

2.9 Pressure drop

Kerugian yang terdapat di dalam aliran fluida terdiri dari kerugian tekanan (*pressure drop*). *Pressure drop* merupakan penurunan tekanan dari satu titik ke titik yang lain didalam suatu sistem yang mempunyai tekanan lebih rendah. Faktor yang mempengaruhi kerugian di dalam aliran fluida antara lain kecepatan aliran, luas penampang sirip, faktor friksi, viskositas, densitas fluida. Penurunan tekanan (*pressure drop*) merupakan peristiwa hilangnya tekanan pada suatu fluida yang mengalir pada sebuah pipa atau *chanel*. Faktor tersebut antara lain hambatan aliran, kekasaran permukaan dalam *chanel*, gesekan fluida dengan pipa/*chanel*, panjang pipa, diameter hidraulik dari *chanel*, dan juga kecepatan aliran. Pengukuran *pressure drop* dikonversi ke faktor gesekan (*friction factor*) (Saputro, 2016).

2.10 *Computational Fluid Dynamic (CFD)*

Computational Fluid Dynamic (CFD) adalah suatu aplikasi dinamika fluida komputasi yang digunakan untuk melakukan simulasi sifat-sifat aliran fluida serta perpindahan panas. CFD adalah suatu aplikasi cabang dinamika fluida yang menggunakan pengembangan metode numerik, teknik komputasi dan studi kasus dalam aplikasi termodinamika dan mekanika fluida. Dalam implementasi CFD, menggunakan metode 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 fluida, perpindahan panas yang terjadi serta reaksi kimia menggunakan 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)

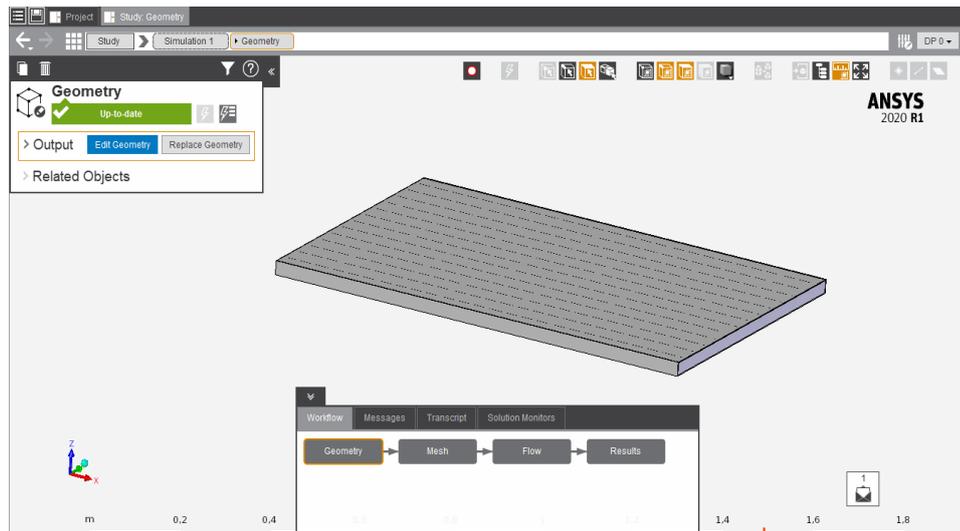
CFD dapat membentuk *virtual prototype* dari suatu sistem dari wujud asli dengan memaparkan data serta memprediksi unjuk kerja dari desain yang dibuat. Metode yang diterapkan pada umumnya adalah *internal combustion engine*, ruang pembakaran turbin gas dan tungku serta terdapat aliran fluida dan perpindahan panas pada alat alat pemindah panas. Terdapat tiga tahapan dalam melakukan simulasi dengan CFD diantaranya sebagai berikut (Desmala dkk, 2013):

2.10.1 *Pre-processing*

Pre-processing merupakan awal yang perlu dilakukan sebelum melakukan simulasi seperti membuat geometri, melakukan *meshing*, mendefinisikan bidang batas pada geometri.

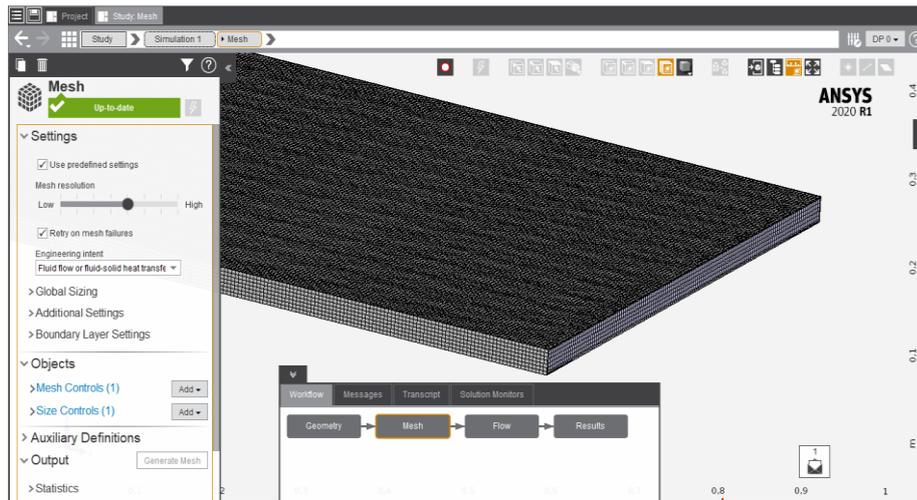
- a. Membuat geometri

Geometri pada penelitian ini terbagi atas empat bagian yaitu: *Silicon* (panel surya), *Absorber* (pelat), *fin* (sirip) dan *fluid*. Spesifikasi geometri yang digunakan sama halnya dengan yang telah dijelaskan pada batasan masalah



Gambar 2.9 Geometri kolektor surya sirip linier

Gambar 2.9 merupakan proses input gambar yang geometrinya sudah ditentukan sebelumnya, serta memberi nama setiap *domain parts* seperti fluida, sirip, plat dan PV (panel surya). Langkah selanjutnya pada tahap *pre-processing* ialah dengan membuka *setup mesh* seperti pada gambar 2.10.



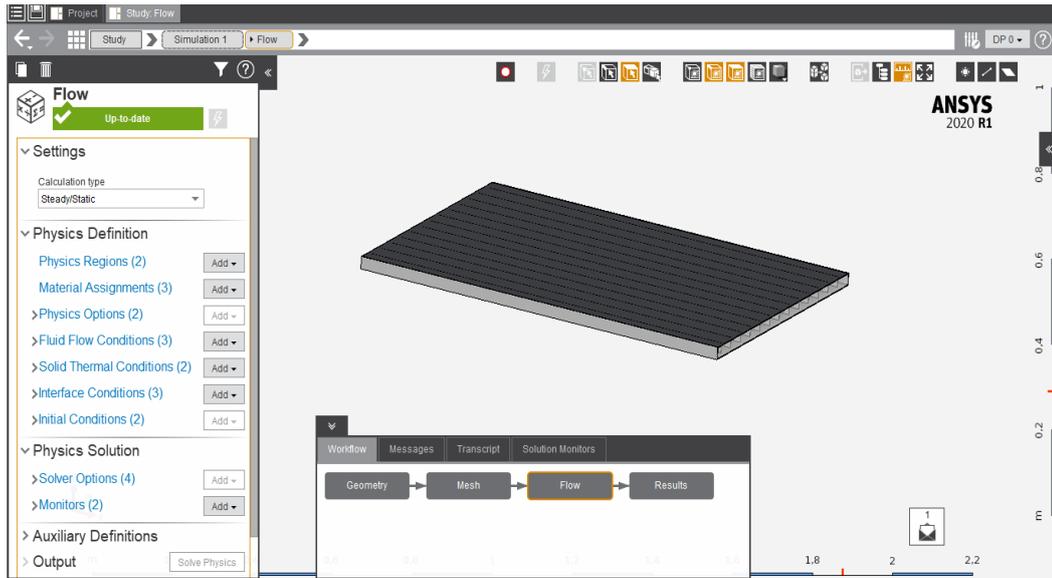
Gambar 2.10 Hasil *meshing* kolektor surya sirip linier

2.10.2. Tahap *solver*

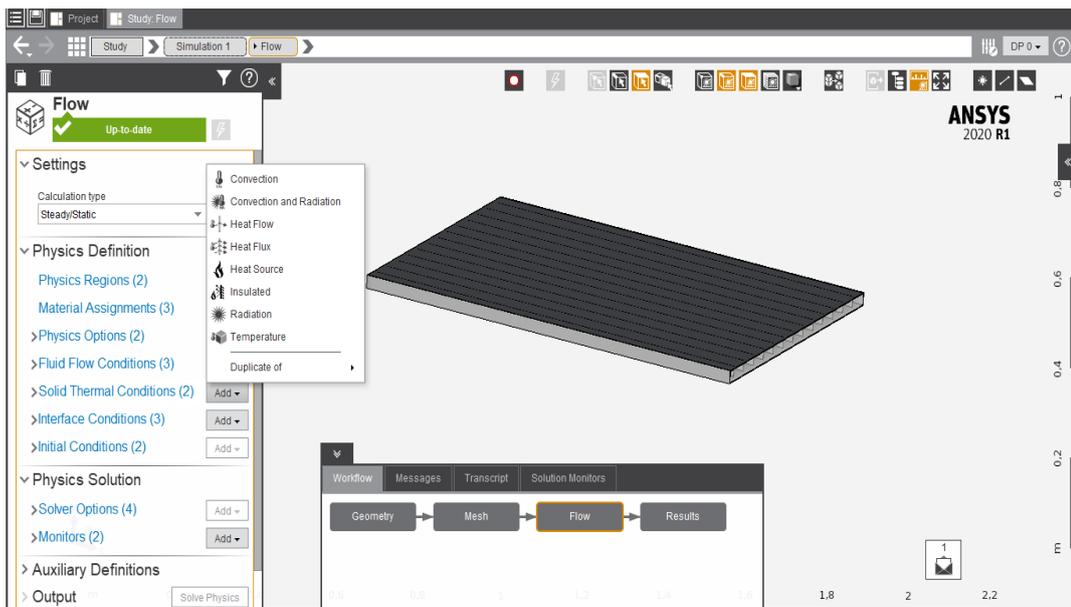
Pada tahap *solution* ada banyak hal yang harus dilakukan kaitannya dengan penentuan kondisi batas dalam sebuah simulasi CFD. Proses ini sangat penting karena hampir semua parameter diproses pada tahapan ini. Adapun tahapan pada *solution* adalah *boundary conditions* yang mencakup penentuan *fluid physics region* (*inlet* dan *outlet*), *solid physics regions* (*heat flux* dan *insulated*) dan *iterations* (*solver solution*).

a. *General*

Dalam kasus ini aliran fluida di dalam ruang antar sirip bersifat *steady-state*. Untuk fluida alir yang digunakan yaitu fluida udara. Pada tahap ini menentukan *inlet* dan *outlet* pada kolektor bersirip tipe linier. Kemudian menentukan nilai temperature masukan fluida udara



(a) *Toolbar menu fluid physics regions*



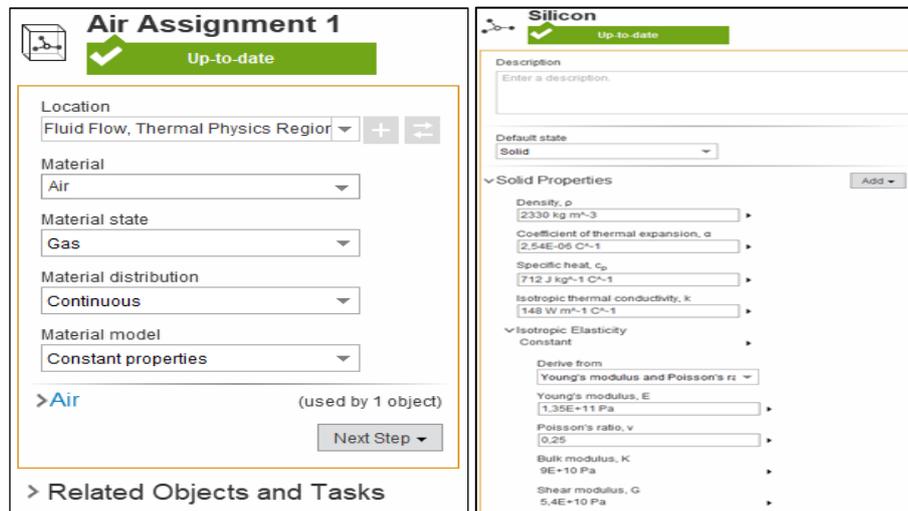
(b) *Toolbar menu solid physics regions*

Gambar 2.11 *Toolbar Menu General*

b. *Materials*

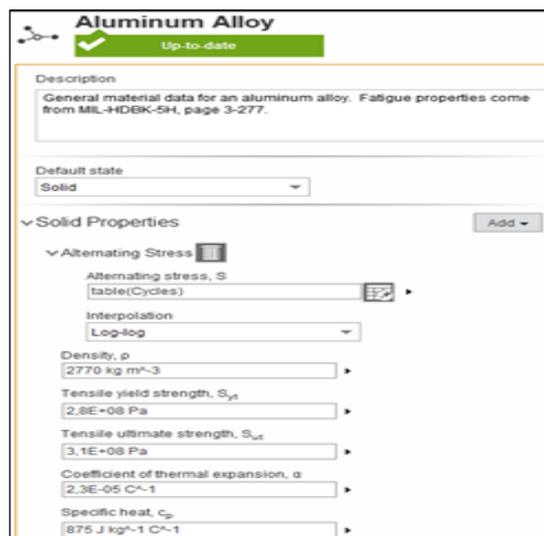
Material yang digunakan pada simulasi ini terbagi kedalam dua jenis, yaitu *solid* dan *fluid*. Material *solid* dalam simulasi ini adalah pipa dan pelat menggunakan material aluminium dan

panel surya menggunakan material *silicon* sedangkan fluidanya menggunakan udara (*air*).



(a)

(b)



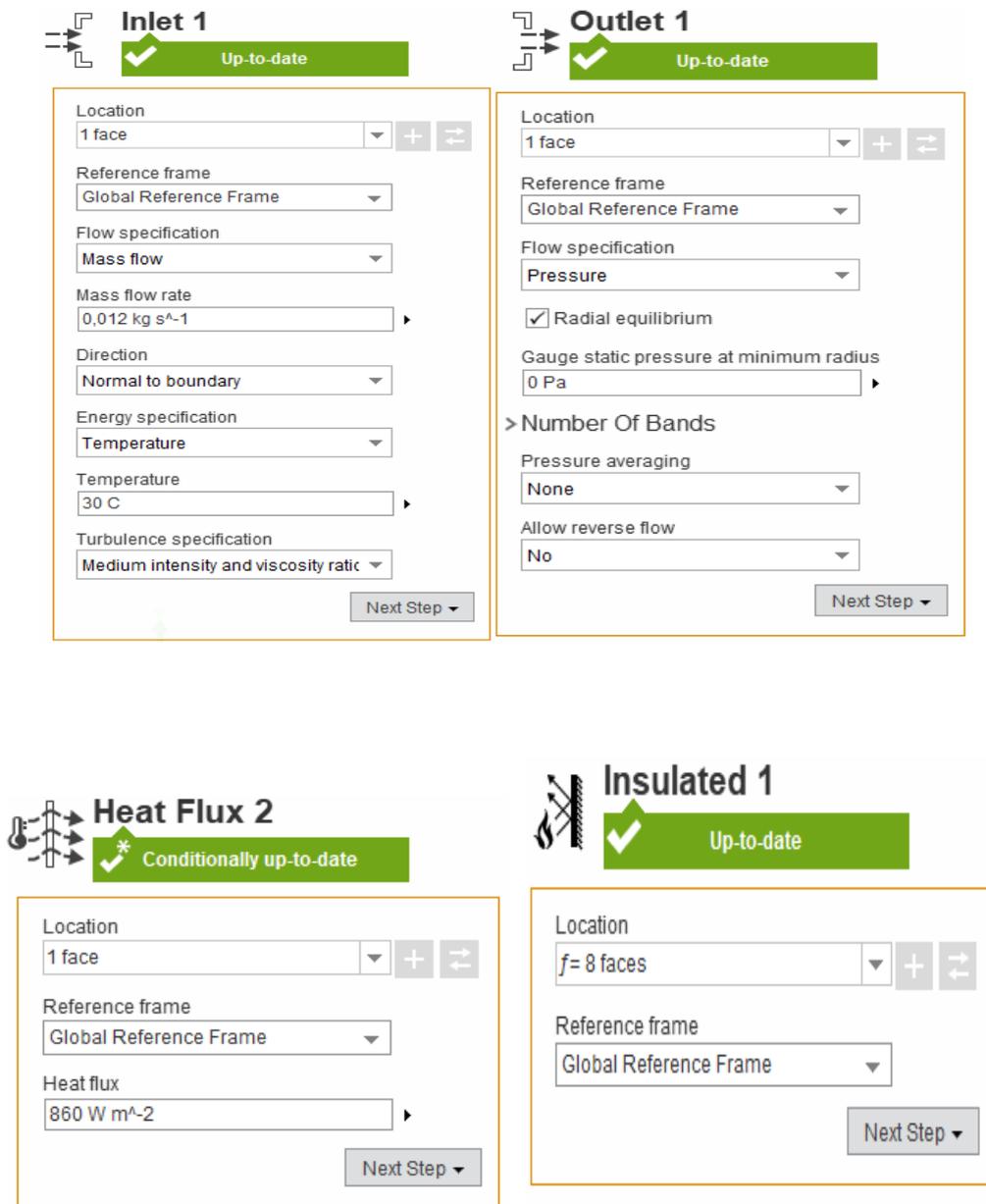
(c)

Gambar 2.12 *Toolbar Menu Materials (a. air, b. silicon, c. aluminium)*

c. *Boundary conditions*

Proses untuk memberikan kondisi batas berupa data yang dibutuhkan pada simulasi. Ada empat jenis kondisi batas yang

diterapkan dalam simulasi ini, yaitu kondisi batas *inlet*, *heat flux*, dan dinding pipa-pelat (*insulated*).

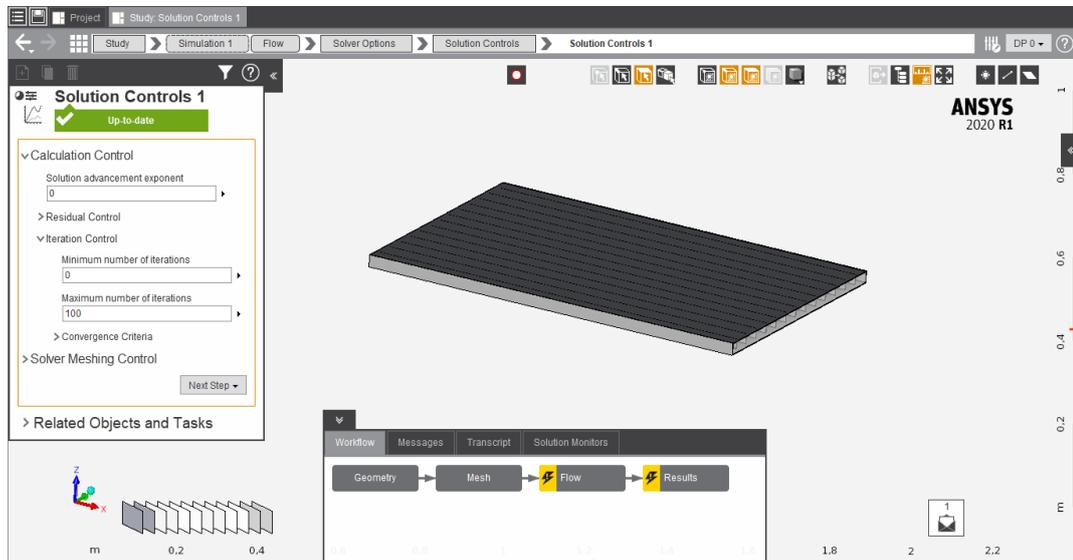


Gambar 2.13 *Toolbar Boundary Conditions*

d. *Solution Controls*

Kondisi batas serta proses *meshing* akan dilakukan pengecekan kembali untuk memastikan tidak terdapat *error* pada saat proses

komputasi, serta pengaturan iterasi yang diinginkan sehingga selama proses simulasi dapat dilakukan dengan baik.



Gambar 2.14 *Toolbar Solution Initialization*

2.10.3 *Post-Processing*

Post-Processing adalah tahap akhir dari simulasi, yaitu tahap yang menyajikan hasil akhir dari proses simulasi. Dengan menampilkan kontur warna serta animasi maka hasil tersebut nantinya dapat di analisis serta dikembangkan melalui pengamatan data hasil simulasi secara langsung dan dengan menganalisa pola sebaran warna yang terjadi pada simulasi unjuk kerja PV/T bersirip linier (Sukamta dkk, 2018).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan pada tempat dan waktu penelitian sebagai berikut:

3.1.1 Tempat Penelitian

Tempat pelaksanaan penelitian ini adalah Laboratorium Termodinamika Teknik Mesin Universitas Lampung.

3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan Februari 2021 sampai dengan Juli 2021 dengan rincian kegiatan sebagai berikut.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt
1.	Studi literatur terkait dengan topik penelitian.	■	■							
2.	Merancang geometri pendingin sirip linier kolektor <i>photovoltaic</i> / <i>thermal</i>		■	■						
3.	Melakukan validasi data data simulasi CFD dengan data eksperimen penelitian sebelumnya sebagai acuan			■	■					
4.	Melakukan simulasi ujuk kerja kolektor <i>photovoltaic</i> / <i>thermal</i> dengan variasi yang ditentukan				■	■				
5.	Pembuatan laporan akhir						■	■	■	■

3.2 Prosedur Penelitian

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

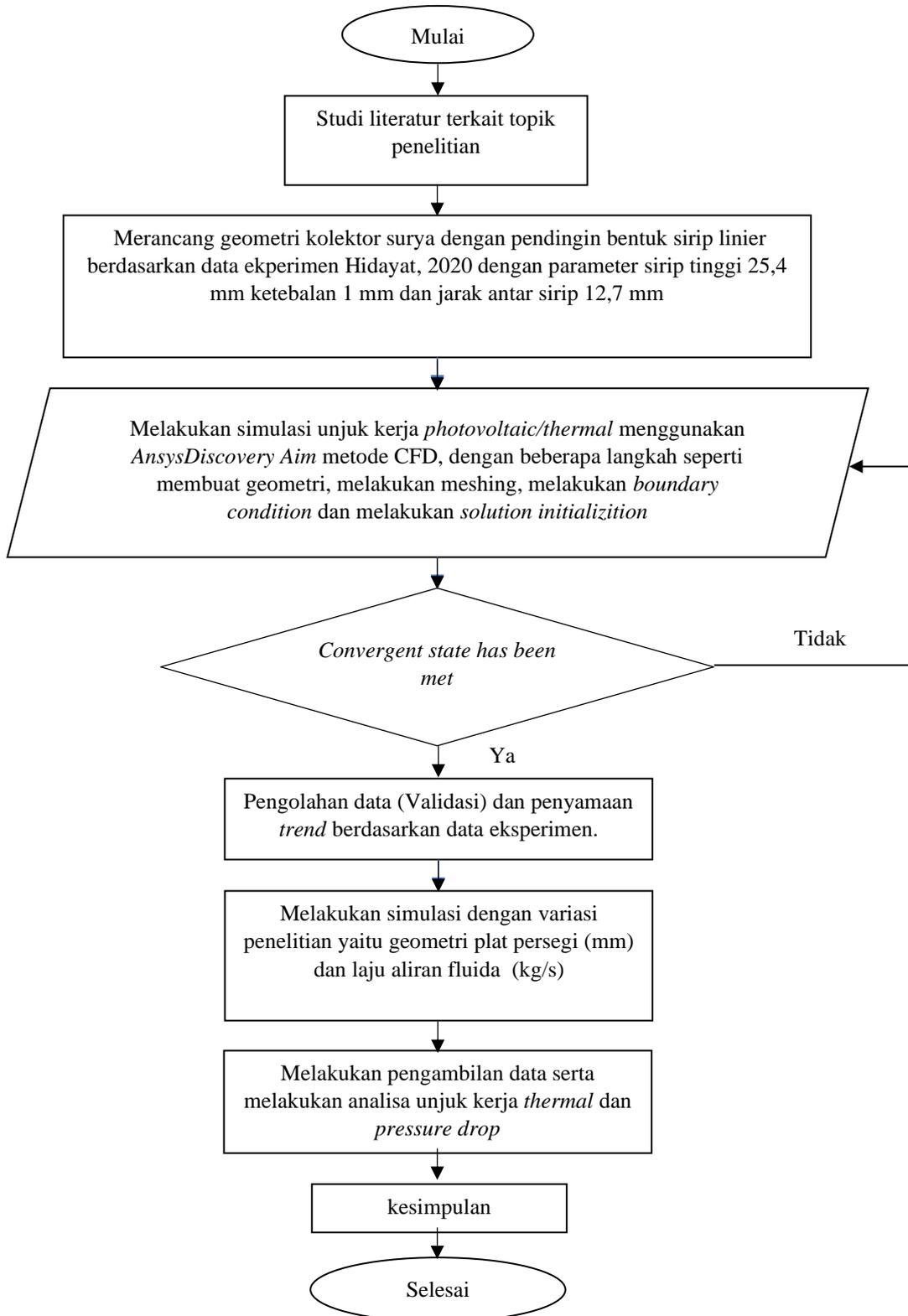
3.2.1 Data Pendukung

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.

3.2.2 Simulasi Karakteristik Unjuk Kerja

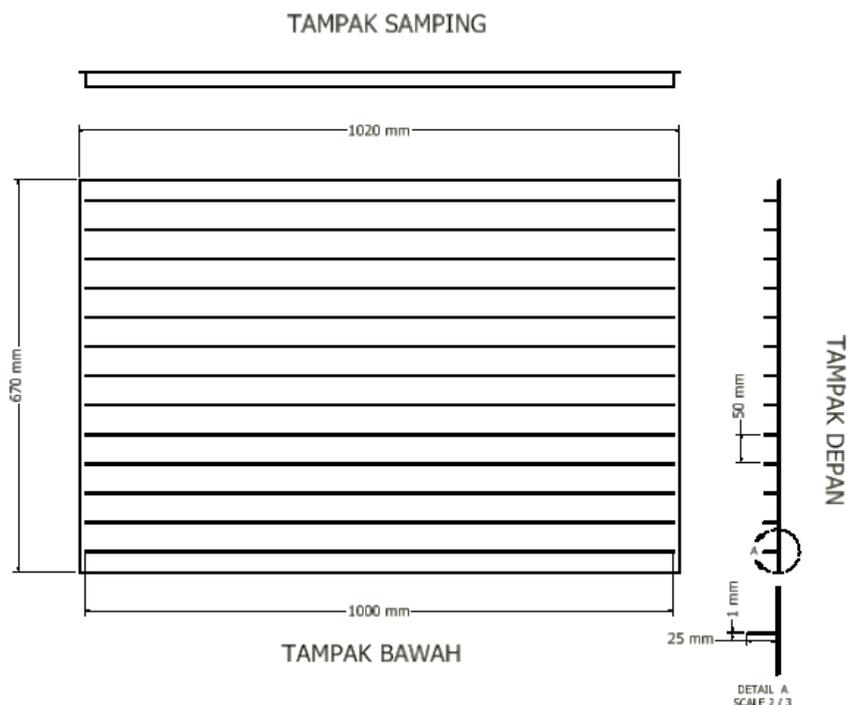
Simulasi karakteristik unjuk kerja yang mejadi fokus adalah unjuk kerja termal dan *pressure drop* dilakukan pada kolektor *photovoltaic thermal* (PV/T) dengan perangkat pendingin geometri sirip linier ini memiliki panjang 1000 mm serta menggunakan beberapa variasi, yaitu variasi jarak antar sirip menjadi 50 mm, 75 mm, dan 100 mm serta tinggi sirip menjadi 25 mm, 37,5 mm, dan 50 mm. Proses simulasi yang dilakukan menggunakan aplikasi CFD yaitu *Ansys Discovery Aim* dan perancangan desain geometri menggunakan aplikasi *Autodesk Inventor 2020*.

3.3 Diagram Alir Metode Penelitian

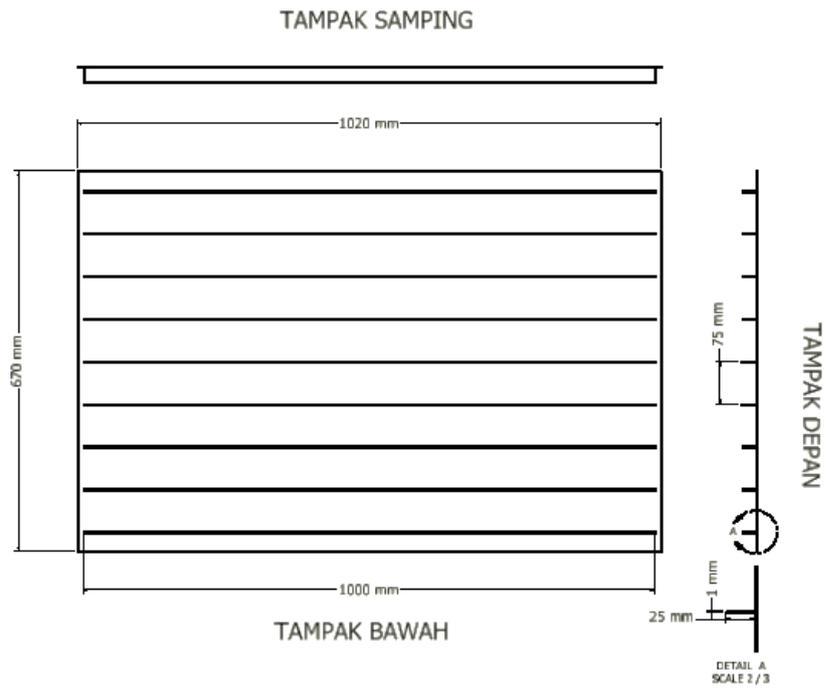


3.4 Perancangan Geometri Sirip

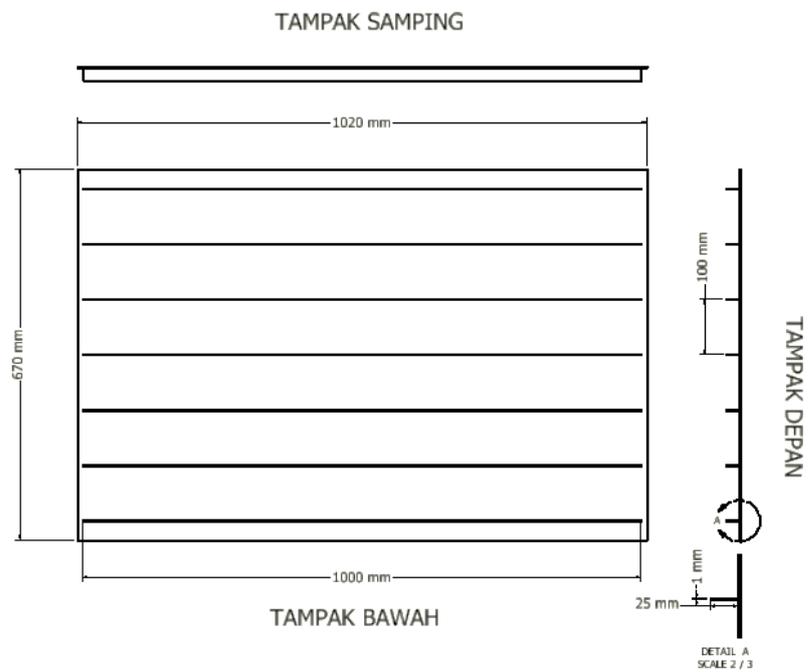
Penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan beberapa tahap, prosedur perancangan geometri sirip dari panel surya tipe kolektor plat datar menggunakan perangkat lunak *Ansys Discovery Aim*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui bentuk geometri sirip udara yang paling optimal dalam proses penyerapan panas dari kolektor surya selama proses pengoperasian dilihat dari kemampuan menurunkan temperatur permukaan PV terendah. Pada dasarnya bentuk geometri yang umum pada desain ini diantaranya tinggi sirip sebesar 25 mm, panjang sirip 1000 mm, dan tebal sirip 1 mm serta memiliki penampang PV sebesar 1020 mm x 670 mm. masing masing geometri tersebut divariasikan berdasarkan jarak anatar sirip yaitu sebesar 50 mm, 75 mm, 100 mm yang dapat dilihat pada gambar 3.1 sampai 3.3 berikut:



Gambar 3.1 Bentuk geometri sirip dengan jarak 50 mm

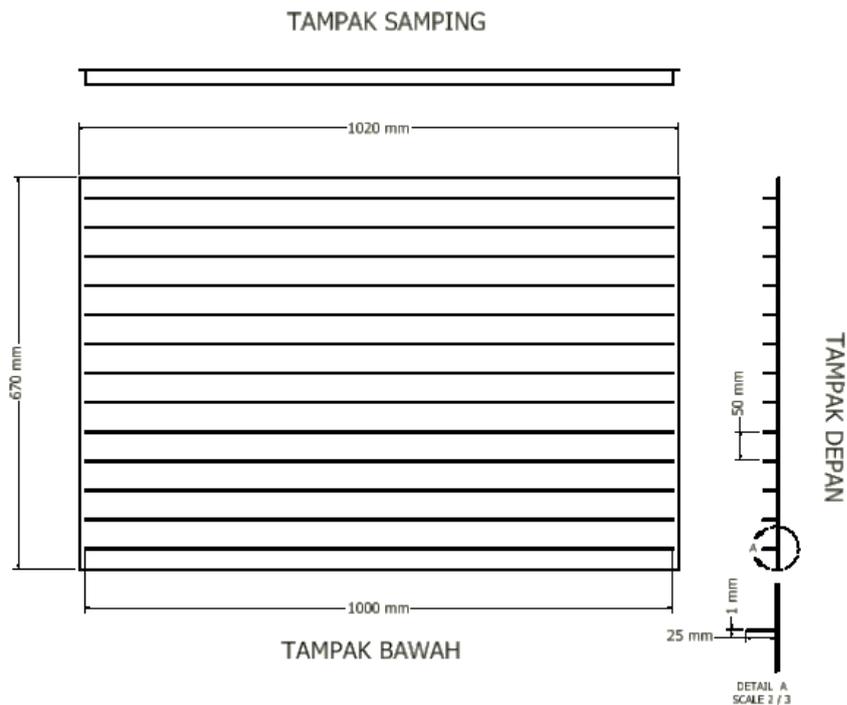


Gambar 3.2 Bentuk geometri sirip dengan jarak antar sirip 75 mm

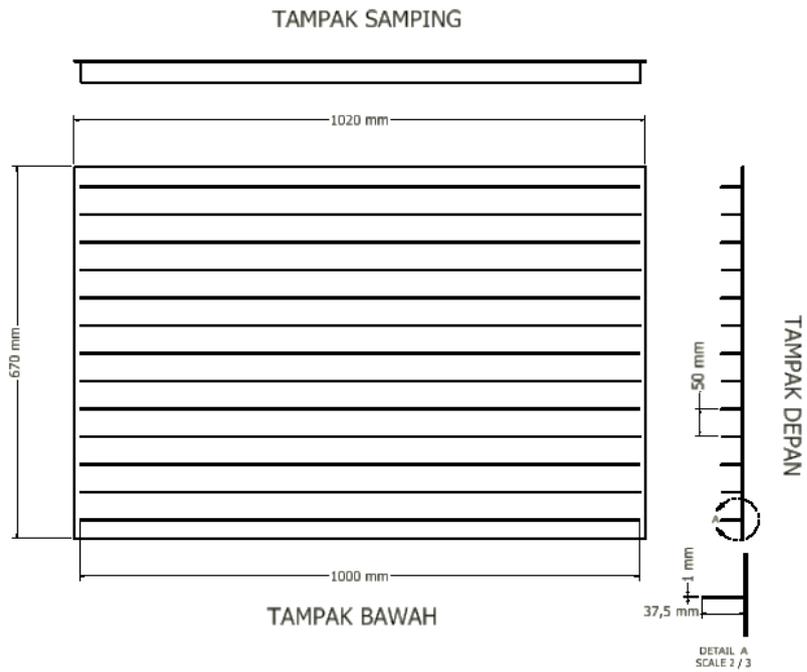


Gambar 3.3. Bentuk geometri sirip dengan jarak antar sirip 100 mm

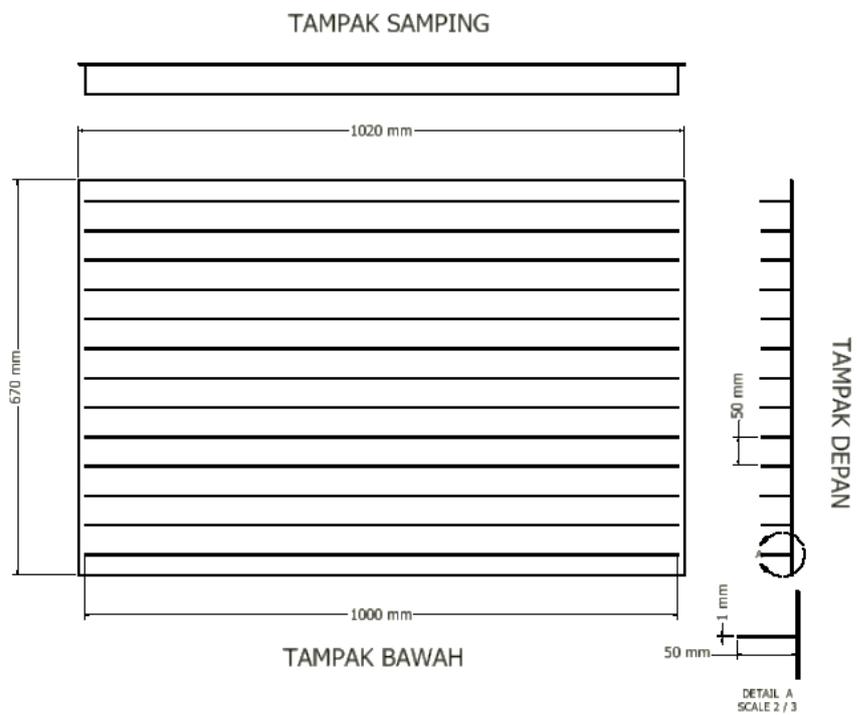
Kemudian hasil terbaik dari ketiga desain geometri diatas akan divariasikan lagi ketinggian siripnya menjadi 25 mm, 37,5 mm, dan 50 mm. Setelah merancang bentuk sirip yang di letakan pada *absorber* dilanjutkan dengan perakitan komponen, mulai dari panel surya dengan bahan silikon semikonduktor kemudian dipasang rangka dengan material besi kemudian direkatkan dengan plat alumunium dan pada bagian bawah dipasang sirip udara. Sehingga terbentuklah keseluruhan dari *hybrid* panel surya termal (PV/T). Variasi kedua yaitu variasi tinggi sirip merupakan variasi lanjutan yang dilakukan dengan memvariasikan tinggi sirip pada variasi jarak antar sirip 50 mm. variasi ini dipilih karena setelah melakukan analisis didapatkan nilai efisiensi termal terbaik pada variasi jarak antar sirip 50 mm. adapun rancangan variasi tinggi sirip dapat diamati pada Gambar 3.4 sampai Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.4 Bentuk geometri sirip dengan jarak sirip 50 mm dan tinggi 25 mm



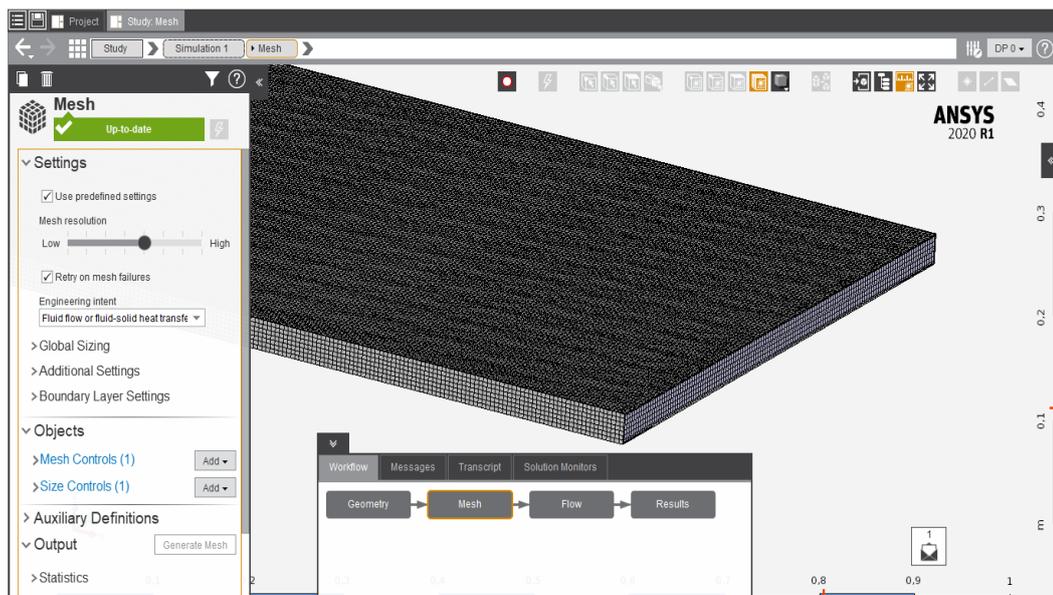
Gambar 3.5 Bentuk geometri sirip dengan jarak sirip 50 mm dan tinggi 37,5 mm



Gambar 3.5 Bentuk geometri sirip dengan jarak sirip 50 mm dan tinggi 50 mm

3.5 Metode *Computational Fluid Dynamic*

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan dengan cara simulasi dengan bantuan perangkat lunak *ANSYS Discovery Aim*, pada langkah awal setelah melakukan perancangan geometri sirip linier adalah proses *meshing*. Pada tahap ini diawali dengan pemberian nama tiap *part* dan *Boundary* dari masing-masing bagian *part* dalam desain geometri. Lalu dilanjutkan dengan proses *meshing*, jenis *meshing* yang digunakan berbentuk *quad map* dengan penerapan jenis *meshing* ini memiliki ketelitian yang lebih baik jika dibandingkan dengan jenis *meshing* yang lain untuk bentuk geometri rancangan yang digunakan. Bentuk hasil dari *meshing* yang akan digunakan dalam penelitian seperti pada gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Proses *meshing*

Kemudian dilanjutkan dengan tahap *setup* kondisi batas dalam pengujian berupa pengaturan sebagai berikut;

1. *Set up* material yang digunakan pada sirip dan *absorber* yaitu aluminium dan pengaturan pada panel surya yang menggunakan silikon.
2. Menentukan jenis fluida kerja yang berupa udara dan mengatur laju

aliran serta temperatur masuk.

3. Menentukan besaran intensitas *heat flux* di permukaan kolektor surya sebesar 860 W/m^2 .
4. Mengatur variasi laju aliran udara yang digunakan sebesar 12 g/s , 24 g/s , 36 g/s , dan 48 g/s .

3.6 Data Hasil Pengujian

Pengambilan data hasil pengujian dan analisis secara numerik menggunakan bantuan perangkat lunak *Ansys Discovery Aim* dengan memberikan variasi laju aliran masa udara masuk senilai 12 g/s , 24 g/s , 36 g/s dan 48 g/s . Pengambilan data hasil pengujian berupa data temperature dan *pressure drop*. Data yang diambil antara lain temperatur masuk, temperatur keluar, besar radiasi atau *heat fluks*, *pressure drop* atau penurunan tekanan dan temperatur rata-rata permukaan panel surya.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan pengembangan penelitian pendinginan PV/T menggunakan sirip linier dengan variasi jarak antar sirip dan tinggi sirip metode CFD adalah sebagai berikut:

1. Pada variasi jarak antar sirip dapat diketahui bahwa jarak antar sirip yang bertambah 50% dari jarak awal maka akan terjadi kenaikan temperatur permukaan PV/T sebesar 4,3% (3°C) dan terjadi penurunan nilai *pressure drop* yang 13,03% pada kondisi yang sama. Kemudian ketika jarak antar sirip ditingkatkan sebesar 100% terjadi kenaikan temperatur permukaan PV/T sebesar 6,5% (5°C) dan terjadi penurunan nilai *pressure drop* sebesar 16,5% pada kondisi yang sama. Nilai laju perpindahan panas tertinggi yang terjadi adalah sebesar 405,504 W yaitu pada variasi jarak antar sirip 50 mm dan laju aliran massa 48 g/s. Sedangkan nilai efisiensi termal tertinggi adalah sebesar 43,85% yang terjadi pada variasi jarak antar sirip 100 mm dan laju aliran massa 48 g/s.
2. Kenaikan tinggi sirip sebesar 50% dari tinggi awal menyebabkan terjadinya penurunan temperatur permukaan PV/T sebesar 6,93% (6°C) dan terjadi kenaikan *pressure drop* sebesar 19,66% pada kondisi yang sama. Ketika tinggi sirip ditingkatkan 100% dari tinggi awal maka akan terjadi kenaikan temperatur permukaan PV/T sebesar 14,43% (13°C) dan terjadi kenaikan nilai *pressure drop* sebesar 27,99% pada kondisi yang sama. Nilai laju perpindahan panas tertinggi yang terjadi adalah sebesar 422,48 W yaitu

pada variasi tinggi sirip 50 mm dan laju aliran massa 48 g/s. Sedangkan nilai efisiensi termal tertinggi adalah sebesar 35,45% yang terjadi pada variasi tinggi sirip 20 mm dan laju aliran massa 48 g/s.

3. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dengan variasi jarak antar sirip dan tinggi sirip diperoleh bahwa geometri terbaik yang dapat melakukan pendinginan terhadap sistem PV/T dilihat dari temperatur permukaan PV/T terendah adalah pada geometri dengan jarak antar sirip 50 mm dan tinggi sirip 25 mm yang menghasilkan nilai temperatur permukaan PV/T terendah sebesar 53,075 °C yang terjadi pada laju aliran massa 48 g/s serta nilai *pressure drop* terendah pada geometri ini adalah sebesar 0,4794 Pa pada laju aliran massa 12 g/s.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan guna pengembangan penelitian lebih lanjut adalah dengan melakukan penelitian dengan metode eksperimen menggunakan kondisi batas yang sama dengan yang digunakan pada penelitian ini. Kemudian menggunakan data hasil penelitian simulasi sebagai acuan keabsahan penelitian dengan metode eksperimen.

DAFTAR PUSTAKA

Cengel, YA. 2011. *Heat Transfer : A Practical Approach 2nd Edition*. Mcgraw Hill. London.

Chow TT, Hand JW, Strachan PA. 2003. *Building-integrated PV and thermal applications in a subtropical building*.

Dewan Energi Nasional, 2019, Laporan Kajian Penelaahan Neraca Energi Nasional tahun 2019.

Desmala, Anand B., Anjali D., Vinayak V., Bharath K. G., Ashok K. D., Tapas K. M. 2013. *Simulation of Flow Pattern Transition Boundaries during Moderately Viscous Oil-Water Two-Phase Flow Through Horizontal Pipeline. Journal of World Academy of Science, Engineering and Technology*, pp. 1150-1155.

Elsafi A, Gandhidasan P. 2015. *Performance of a Photovoltaic or Thermal Double Pass Solar Air Heater with Different Fin Configuration. Journal of Clean Energy Technologie*Hidayat, Yandi Permana, 2020, Unjuk Kerja Elektrik

Dan Termal Kolektor *Photovoltaic Thermal* (PV/T) Bersirip Dengan Aliran Udara *Single Pass* Dan *Double Pass*.

Iswanto, Ady. 2008. Prinsip Kerja Panel Surya P-N. Bandung. Staf Divisi Riset 102FM Institut Teknologi Bandung.

Kotwal, Hetal. 2013. *CFD Analysis of Shell and Tube Heat Exchanger. International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*.

Othman, MY. Yatim, B. Dkk. 2007. *Performance Studies on a Finned Double Pass Photovoltaic-Thermal (PV/T) Solar Collector*. Universiti Kebangsaan Malaysia. Malaysia.

M.A. Mahdi dan A. Smaili . 2017. *Numerical Investigation of the Thermal Behavior of a HAWT Nacelle using ANSYS FLUENT. Journal of Energy Procedia*.

Mc Cabe, W., Smith, J.C. and Harriot, P. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering. Mc Graw Hill Book, Co. United States of America*.

Muttaqin, Idzani, Gusti Irhamni, Wahyu Agani. 2016. Analisa Rancangan Sel Surya Dengan Kapasitas 50 Watt Untuk Penerangan Parkiran Uniska. Banjarmasin. Jurnal Teknik Mesin UNISKA.

Sukamta, Thoharudin, Dedy Meilanto Nugroho. 2018. Simulasi CFD Aliran *Stratified Air*-Udara Pada Pipa Horizontal. Yogyakarta. Semesta Teknik.

Widayana, Gede. 2012. Pemanfaatan Energi Surya. Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan (JPTK) Fakultas Teknik dan Kejuruan Universitas Pendidikan Ganesha.

Wiranugraha, I Kadek Danu, Hendra Wijaksana, Ketut Astawa. 2016. Analisa Performansi Kolektor Surya Pelat Datar Bergelombang Dengan Variasi Kecepatan Udara. Bali. Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika.

Yandri, Valdi Rizki. 2012. Prospek Pengembangan Energi Surya Untuk Kebutuhan Listrik Di Indonesia. Padang. Politeknik Universitas Andalas.