

**UNJUK KERJA TERMAL DAN *PRESSURE DROP* KOLEKTOR HYBRID
PV/T MENGGUNAKAN CFD BERDASARKAN PERUBAHAN
PENAMPANG DAN PENGGUNAAN NANO FLUIDA**

(Skripsi)

Oleh

AMRIZAL DANUR SASONGKO



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRAK

UNJUK KERJA TERMAL DAN *PRESSURE DROP* KOLEKTOR *HYBRID* PV/T MENGGUNAKAN CFD BERDASARKAN PERUBAHAN PENAMPANG DAN PENGGUNAAN NANO FLUIDA

Oleh:
AMRIZAL DANUR SASONGKO

Panel surya merupakan alat yang mampu mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Ketika panel surya secara terus menerus terkena paparan matahari maka efisiensi elektriknya akan menurun sebesar 0.45% setiap penurunan 1°C, sehingga di upayakan untuk menstabilkan suhu kerja yang optimal dari panel surya dengan menggabungkan panel surya dan kolektor termal. Teknologi *hybrid* ini bernama *photovoltaic thermal hybrid* (PV/T). Penelitian ini dilakukan dengan cara *computing fluid dynamic* (CFD) pada perangkat lunak Ansys Fluent 18.1 untuk melihat kontur dari unjuk kerja termal dan *pressure drop* dari PV/T *hybrid* serta penggunaan nano fluida.

Proses simulasi dilakukan dengan tahapan iterasi hingga nilai yang konvergen. Penelitian dilakukan secara eksperimen yang digunakan sebagai validator hasil simulasi dengan CFD. Untuk intensitas radiasi sebesar 897.75 W/m² dan kecepatan alir *water-basefluid* 0.01 kg/s serta memiliki diameter hidraulik yang serupa 9.53mm. Pipa persegi memiliki suhu outlet lebih tinggi 0.62 °C dan penurunan suhu permukaan panel surya sebesar 1.78 °C dari penggunaan pipa bundar. Pengaruh *pressure drop* pada penggunaan pipa persegi meningkat sebesar 11.49% atau ±67.6Pa. Pada hasil simulasi PV/T *hybrid* dengan nano fluida (Al₂O) sebagai fluida alir untuk pipa persegi, untuk konsentrasi fraksi 0.6%, 1,2%, 1,8% mampu meningkatkan suhu outlet fluida dari *water-basefluid* sebanyak 3.549 °C, 3.290 °C, 3.114 °C dan menurunkan suhu permukaan panel surya sebesar 0.274 °C, 0.528 °C, 0.779 °C dengan kecepatan aliran massa 0.01 kg/s.

Kata Kunci : PV/T *hybrid*, CFD, Pipa Bundar, Pipa Persegi, Nano Fluida.

**UNJUK KERJA TERMAL DAN *PRESSURE DROP* KOLEKTOR HYBRID
PV/T MENGGUNAKAN CFD BERDASARKAN PERUBAHAN
PENAMPANG DAN PENGGUNAAN NANO FLUIDA**

Oleh

AMRIZAL DANUR SASONGKO

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

**Judul Skripsi : UNJUK KERJA TERMAL DAN *PRESSURE*
DROP KOLEKTOR *HYBRID* PV/T
MENGUNAKAN CFD BERDASARKAN
PERUBAHAN PENAMPANG DAN
PENGGUNAAN NANO FLUIDA**

Nama Mahasiswa : Amrizal Danur Sasongko

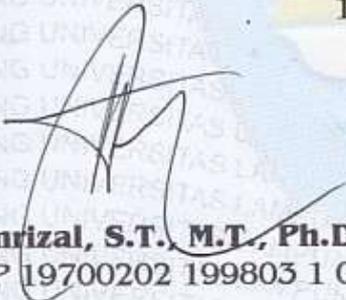
Nomor Pokok Mahasiswa : 1415021012

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

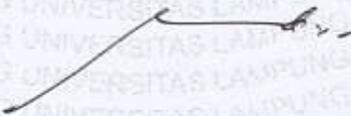
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


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


Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.
NIP 19711214 200012 1 001

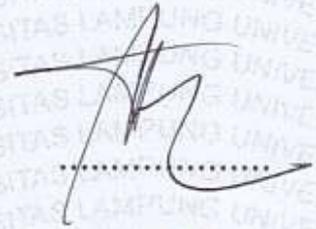
2. Ketua Jurusan Teknik Mesin


Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP 19740816 200012 1 001

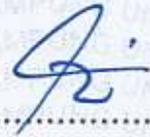
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

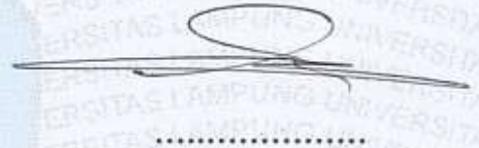
Ketua : Amrizal, S.T., M.T., Ph.D.



Anggota Penguji : Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.



Penguji Utama : Amrul, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 08 Agustus 2019

SEBALAT BUDU

PERNYATAAN PENULIS

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

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



AMRIZAL DANUR SASONGKO

1415021012

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kecamatan Mojosari, Kabupaten Sragen, Jawa Tengah pada 26 Februari 1997, sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak Danang Murdianto dan Ibu Dian Rosnurmila. Jenjang pendidikan pertama yang dijalani oleh penulis adalah Pendidikan Sekolah Dasar Islam Terpadu As-Salaamah pada tahun 2002 hingga tamat pada tahun 2008. Selanjutnya penulis melanjutkan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 11 Tangerang Selatan dari tahun 2008 hingga selesai pada tahun 2011. Selanjutnya pada tahun 2011 penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 6 Tangerang Selatan hingga lulus pada tahun 2014.

Pada tahun 2014, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung melalui tes tertulis seleksi SNMPTN 2014. Selama menjadi mahasiswa universitas lampung, penulis aktif berorganisasi di Himpunan Teknik Mesin (Himatem) sebagai Kepala Divisi Bidang Penelitian dan Staff Danus BEM Fakultas Teknik. Penulis melakukan kerja praktik di PT PERTAMINA EP Menara Standart Chartered Jakarta Selatan dengan subjek yang dikaji adalah bejana tekan jenis *separator* pada Stasiun Pengumpul Pasijadi, Subang, Jawa Barat. Pada bulan oktober 2018 penulis menjadi Sejak bulan Juli 2018 penulis mulai melakukan penelitian untuk merancang, membuat kemudian menguji dan mensimulasikan

panel surya temat *hybrid* pada *Ansys Simulation* dibawah bimbingan dari Bapak Amrizal, S.T., M.T., Ph.D selaku pembimbing pertama dan Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. sebagai pembimbing kedua.

QUOTE

“Niatkan karena Allah SWT”

(Amrizal Danur Sasongko)

“Untuk mendapatkan apa yang di inginkan, kau harus bersabar dengan apa yang kau benci.”

(Imam Ghazali)

“Yang tidak pernah meninggalkanmu selain Allah, adalah doa ibumu.”

(Amrizal Danur Sasongko)

“Barang siapa mengerjakan kebaikan seberat zaarah pun, niscaya dia akan melihat balasannya”

(QS. Az-Zalzalah : 7)

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

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

Skripsi ini tersusun berdasarkan studi pustaka, diskusi dengan dosen pembimbing serta eksperimen yang dilakukan di laboratorium termodinamika. Dalam skripsi ini, disajikan *resume* terkait panel surya termal *hybrid* serta nano fluida dan perubahan penampang pipa menggunakan CFD. Sumber yang digunakan pada skripsi ini berasal dari jurnal nasional, internasional serta literatur lain yang dapat menunjang keberhasilan skripsi ini.

Hasil dari pengujian maupun data hasil eksperimen panel surya termal *hybrid* disajikan secara terstruktur di dalam skripsi ini sehingga memudahkan para pembaca.

Pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah berkontribusi membantu penulis dari awal pembuatan hingga selesainya skripsi ini dibuat. Pihak tersebut diantaranya:

1. Allah SWT
2. Kedua orang tua saya, Bapak Danang, Ibu Dian, adek-ku Berliana serta keluarga besar yang selalu mendoakan dan mendukung penuh penulis menyelesaikan skripsi;
3. Bapak Ahmad Su'udi, S.T., M.T., sebagai Kajor Teknik Mesin Unila;
4. Bapak Amrizal, S.T., M.T., Ph.D selaku pembimbing I, yang telah banyak memberikan masukan dan meluangkan waktu berdiskusi untuk kelancaran skripsi ini;
5. Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. selaku pembimbing II, yang telah banyak memberikan masukan dan meluangkan waktu berdiskusi untuk kelancaran skripsi ini;
6. Bapak Amrul, S.T., M.T. selaku penguji, yang telah banyak memberikan masukan dan koreksi untuk kebaikan skripsi ini;
7. Bapak/ibu dosen yang telah memberikan ilmunya kepada penulis, sehingga penulis dapat mengaplikasikan ilmunya di dalam skripsi ini;
8. Teman teman Lab. Termodinamika UNILA yang telah memberikan dukungan selama penyelesaian skripsi.
9. Teman-teman teknik mesin 2014 yang memberikan semangat juang untuk menyelesaikan penelitian ini;
10. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung;

11. Serta pihak-pihak yang telah banyak membantu saya menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu

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

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Bandar Lampung, Agustus 2019

Penulis

Amrizal Danur Sasongko

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Sistematika Penulisan.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Matahari.....	7
2.2 Radiasi Matahari.....	8
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya	10
2.3.1 Panel surya	11
2.3.2 Kolektor Panas	16
2.4 Klasifikasi Kolektor Surya	16
2.4.1 Kolektor Plat Datar	16
2.4.2 Kolektor Parabola.....	18

2.4.3	Evacuated Tube Collector	19
2.5	Panel surya <i>Thermal Hybrid</i>	20
2.6	Jenis Aliran Panel surya <i>Thermal Hybrid</i> Plat Datar	21
2.6.1	Aliran Berkelok	21
2.6.2	Aliran Paralel.....	22
2.7	Nano Fluida Pada Panel Surya <i>Thermal Hybrid</i>	23
2.7.1	<i>Brownian Motion Effect</i> (Efek Gerak Brown)	26
2.7.2	Lapisan Antarmuka	27
2.8	Persamaan Dasar Nanofluid	28
2.8.1	Konduktivitas Termal Nanofluid.....	28
2.8.2	Panas Spesifik Nanofluid	29
2.8.3	Viskositas Nanofluida	29
2.8.4	Densitas Nanofluida	30
2.8.5	Fraksi Nano Fluida	31
2.9	Persamaan Dasar Panel Surya Plat Datar	31
2.10	Persamaan Dasar Panel surya <i>Thermal Hybrid</i> Plat Data.....	33
2.11	Persamaan Perpindahan Panas	34
2.11.1	Perpindahan Panas Konduksi	35
2.11.2	Perpindahan Panas Konveksi.....	36
2.11.3	Perpindahan Panas Radiasi.....	37
2.12	<i>Computing Fluid Dynamic (CFD)</i>	38
2.12.1	<i>Pre-Processing</i>	39
2.12.2	<i>Solver</i>	40
2.13	Standar Uji EN12975	42

III. METODOLOGI PENELITIAN	44
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	44
3.1.1 Tempat Penelitian.....	44
3.1.2 Waktu Penelitian	45
3.2 Proesedur Perancangan.....	45
3.2.1 Perancangan Desain (PV/T) Tipe Plat Datar.....	45
3.2.2 Pengujian <i>Hybrid</i> Panel surya <i>Thermal (PV/T)</i> Pada <i>Solar Simulator</i>	47
3.2.3 Simulasi Menggunakan CFD <i>Ansys Fluent</i>	49
3.3 Proses Validasi dan Pengembangan Simulasi	57
3.3.1 Validasi pada kontur eksperimen dan simulasi	58
3.3.1 Validasi Suhu fluida Masuk dan Keluar.....	58
3.3.2 Validasi Analisa terhadap penurunan tekanan (ΔP)	59
3.4 <i>Nanofluid-Al₂O₃</i> Material Properties Ansys Simulation.....	59
3.5 Diagram Alir Metodologi Penelitian	60
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	62
4.1 Data Hasil Eksperimen	62
4.2 Data Hasil Simulasi Pipa Bundar	65
4.3 Validasi Simulasi dengan Eksperimen	70
4.3.1 Validasi suhu masuk dan keluar dari <i>water-basefluid</i> pipa bundar	71
4.3.2 Validasi kontur temperatur permukaan dari panel surya (PV/T) <i>hybrid</i>	73
4.3.3 Validasi <i>Pressure drop</i> Pada Pipa Bundar	75
4.4 Pengembangan Penelitian Dengan Simulasi	76

4.4.1	Pengembangan Simulasi Dengan Pipa Persegi	76
4.4.2	Pengembangan Simulasi dengan Nanofluid Al_2O_3	84
4.4.3	Pengembangan Simulasi Fluida Alir Fengan <i>Nanofluid-Al_2O_3</i> Pada Fraksi 0.6, 1.2, 1.8%	87
4.5	Perbandingan Nilai <i>Pressure Drop Water-Basefluid</i> Pipa Bundar Dengan Teori Analitik, Eksperimen dan Simulasi <i>Ansys</i>	89
4.5.1	Analisis <i>Pressure Drop</i> Melalui Teori Analitik	90
4.5.2	Analisis <i>Pressure Drop</i> Melalui Eksperimen	91
4.5.3	Analisis <i>Pressure Drop</i> Melalui Simulasi	91
4.6	Perbandingan Simulasi <i>Pressure Drop</i> Pada Pipa Persegi dan Pipa Bundar	92
4.7	Perbandingan Simulasi Kontur Suhu Permukaan Panel Surya (PV/T) <i>hybrid</i> antara Pipa Persegi dan Pipa Bundar	94
V.	PENUTUP	97
5.1	Simpulan	97
5.2	Saran	98

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Orbit bumi terhadap matahari	9
Gambar 2.2 Struktur Penyusun Panel Surya.....	12
Gambar 2.3 Mekanisme foton menumbuk lapisan semikonduktor silikon tipe P-N	13
Gambar 2.4 P-N Junction material.....	14
Gambar 2.5 Ilustrasi pergerakan elektron pada sel surya	15
Gambar 2.6 Kolektor plat datar.....	17
Gambar 2.7 Kolektor Parabola.....	18
Gambar 2.8 Evacuated Tube Collector	19
Gambar 2.9 Aliran berkelok pada plat datar	22
Gambar 2.10 Aliran paralel pada plat datar	23
Gambar 2.11 Ilustrasi Brownian motion.....	26
Gambar 2.12 Lapisan Nano fluida	27
Gambar 2.13 Emisivitas Radiasi	37
Gambar 2.14 Meshing pada CFD	40
Gambar 2.15 Proses iterasi pada CFD	41
Gambar 2.16 Visualisasi kontur pada CFD.....	41
Gambar 3.1 Pipa Alir Berkelok dengan pipa bundar dan persegi.....	46
Gambar 3.2 Susunan Desain Hybrid Panel surya Thermal (PV/T)	47
Gambar 3.3 Skema Rangkaian Pengujian PV/T	48
Gambar 3.4 Desain PV/T Hybrid Pipa Bundar.....	50
Gambar 3.5 Hasil meshing PV/T Hybrid.....	50

Gambar 3.6 Setup unit simulasi PV/T Hybrid	51
Gambar 3.7 Setup Models PV/T Hybrid.....	52
Gambar 3.8 Setup Material Fluid PV/T Hybrid.....	52
Gambar 3.9 Setup Material Solid PV/T Hybrid.....	53
Gambar 3.10 Setup Cell Zone Conditions PV/T Hybrid	53
Gambar 3.11 Setup Boundary Conditions PV/T Hybrid.....	54
Gambar 3.12 Setup Boundary Conditions PV/T Hybrid.....	54
Gambar 3.13 Setup Mesh Interface PV/T Hybrid.....	55
Gambar 3.14 Setup Inialiatization PV/T Hybrid	55
Gambar 3.15 Setup Calculation PV/T Hybrid	56
Gambar 3.16 Kontur Fluida PV/T Hybrid	57
Gambar 3.17 Kontur Permukaan PV/T Hybrid	57
Gambar 3.18 Titik pemasangan termokopel PV/T Hybrid	58
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara efisiensi termal dan rugi kalor pada eksperimen pipa bundar dengan water-basefluid	65
Gambar 4.2 Kontur fluida pipa bundar inlet 27°C.....	66
Gambar 4.3 Kontur fluida pipa bundar inlet 32°C.....	66
Gambar 4.4 Kontur fluida pipa bundar inlet 37°C.....	67
Gambar 4.5 Kontur fluid pipa bundar inlet 42°C.....	67
Gambar 4.6 Kontur permukaan dari PV/T pipa bundar Inlet 27°C	68
Gambar 4.7 Kontur permukaan dari PV/T pipa bundar inlet 32°C	68
Gambar 4.8 Kontur permukaan PV/T pipa bundar inlet 37°C.....	69
Gambar 4.9 Kontur permukaan PV/T pipa bundar inlet 42°C.....	69
Gambar 4.10 Grafik hubungan antara efisiensi termal dan rugi kalor pada simulasi pipa bundar dengan water-basefluid	70
Gambar 4.11 Grafik perbandingan inlet dan outlet antara data hasil simulasi dan data eksperimen.....	72
Gambar 4.12 Grafik perbandingan T_{avg} pada kontur suhu permukaan panel surya (PV/T) hybrid	74
Gambar 4.13 Hasil pressure drop pada simulasi Ansys fluent.....	75

Gambar 4.14 Kontur fluida pipa persegi inlet 27°C	77
Gambar 4.15 Kontur fluida pipa persegi inlet 32°C	77
Gambar 4.16 Kontur fluida pipa persegi inlet 37°C	78
Gambar 4.17 Kontur fluida pipa persegi inlet 42°C	78
Gambar 4.18 Kontur permukaan PV/T pipa persegi inlet 27°C	79
Gambar 4.19 Kontur permukaan PV/T pipa persegi inlet 32°C	79
Gambar 4.20 Kontur permukaan PV/T pipa persegi inlet 37°C	80
Gambar 4.21 Kontur permukaan PV/T pipa persegi inlet 42°C	80
Gambar 4.22 Grafik perbandingan antara efisiensi dan rugi rugi kalor pada simulasi pipa persegi	81
Gambar 4.23 Grafik perbandingan inlet dan outlet pada simulasi pipa bundar dan pipa persegi.....	82
Gambar 4.24 Grafik perbandingan suhu permukaan dan suhu inlet pada pipa persegi dan pipa bundar	84
Gambar 4.25 Grafik perbandingan inlet dan outlet antara water-fluid dan nanofluid Al ₂ O ₃ 0.6%	85
Gambar 4.26 Perbandingan Inlet dan T _s antara water-basefluid dan nanofluid -Al ₂ O ₃	87
Gambar 4.27 Kontur nanofluid-0.6% pipa persegi inlet 27°C.....	88
Gambar 4.28 Kontur nanofluid-0.8% pipa persegi inlet 27°C.....	88
Gambar 4.29 Kontur nanofluid-1.2% pipa persegi inlet 27°C.....	88
Gambar 4.30 Perbandingan suhu outlet water-basefluid dan nanofluid	89
Gambar 4.31 Skema pipa alir jenis berkelok PV/T Hybrid	90
Gambar 4.32 Grafik perbandingan nilai pressure drop.....	92
Gambar 4.33 Kontur pressure dari pipa persegi.....	93
Gambar 4.34 Kontur pressure dari pipa bundar	93
Gambar 4.35 Kontur Permukaan PV/T Pada Pipa Bundar	94
Gambar 4.36 Kontur Permukaan PV/T Pada Pipa Persegi	95

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Kriteria Fluida Konvensional dan Nano Fluida	25
Tabel 2.2 Standar izin parameter pengukuran.....	42
Tabel 3.1 Jadwal Rencana Kegiatan Penelitian	45
Tabel 4.1 Data hasil eksperimen water-basefluid	63
Tabel 4.2 Data hasil input dan outlet saat eksperimen dan simulasi.....	71
Tabel 4.3 Data hasil T_{avg} saat eksperimen dan simulasi	73
Tabel 4.4 Perbandingan hasil simulasi penggunaan pipa bundar dan pipa persegi	82
Tabel 4.5 Perbandingan data hasil simulasi suhu permukaan (T_s) dari penggunaan pipa bundar dan pipa persegi	83
Tabel 4.6 Perbandingan fluida alir water-basefluid dan nano fluida Al_2O_3	85
Tabel 4.7 Perbandingan outlet dan T_s dari penggunaan water-basefluid dan nanofluid- Al_2O_3 (0.6%).....	86

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi surya atau energi matahari merupakan energi terbarukan bebas yang tidak akan ada habisnya serta ramah lingkungan dan bebas polusi. Dengan fase penyinaran sepanjang hari, matahari mampu memancarkan energinya hampir empat juta exajoule ($1 \text{ EJ} = 10^{18} \text{ J}$) namun energi yang sampai ke bumi hanya sekitar $5 \times 10^4 \text{ EJ}$. Pemanfaatan energi matahari yang baik dapat menjadi potensi utama menggantikan energi fosil serta dapat menjadi energi terbarukan. (Sandeep, 2017)

Salah satu negara yang memiliki paparan intensitas radiasi matahari yang baik ialah Negara Indonesia, dengan dilintasi oleh garis khatulistiwa radiasi yang diterima cenderung bergerak tegak lurus menuju daerah yang ada di wilayah Indonesia. Posisi matahari yang tepat menjadikan Negara Indonesia menjadi Negara yang memiliki potensi energi matahari yang baik. Hal ini dibuktikan dengan distribusi radiasi rata rata pada keseluruhan wilayah Indonesia yaitu sebesar $12,38 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{hari}^{-1}$. Dengan intensitas radiasi yang tinggi, Indonesia dianggap mampu memberikan kontribusi pemanfaatan panas matahari yang baik untuk penggunaan energi terbarukan. (Souissa, 2018)

Pemanfaatan yang tepat mengenai energi matahari ialah dengan menggunakan pembangkit listrik tenaga matahari (PLTS) yaitu panel surya. Panel surya merupakan sebuah alat yang dapat mengkonversikan emisivitas radiasi matahari menjadi energi listrik. Dengan memanfaatkan suatu *P-N Junction* silikon kristal, radiasi matahari yang mengenai *P-N Junction* akan mengubah radiasi matahari menjadi elektron bebas yang bergerak akibat beda potensial dan menghasilkan listrik. (Larry, 2010)

Irradiasi yang dipancarkan oleh matahari diterima panel surya dan mengenai susunan sel sel surya kemudian diserap oleh material silikon semi konduktor. Selama penyerapan, energi matahari yang dikonversikan menjadi energi listrik di panel surya mengalami kenaikan temperatur akibat terkena paparan sinar matahari sepanjang hari yang mengakibatkan penurunan efisiensi elektrik sebesar 5 %, artinya panel surya mengalami penurunan efisiensi elektrik sebesar 0,45 % setiap kenaikan temperatur kerja sebesar 1 °C (Chow, 2003).

Upaya untuk memaksimalkan efisiensi elektrik panel surya salah satunya ialah dengan panel surya *thermal* (PV/T) yaitu sebuah teknologi *hybrid* dengan menggabungkan modul panel surya (PV) dengan sebuah *thermal collector* (pengumpul termal). Dengan kehadiran *thermal collector* (pengumpul termal), panas yang berada di panel surya (PV) dapat diambil dan temperaturnya menjadi lebih dingin. Sehingga menghasilkan temperatur kerja yang optimal guna memberikan output tegangan – arus listrik yang maksimal. (NREL, 2015)

Berdasarkan model dasar yang digunakan kolektor plat datar, penggunaan termal kolektor fluida air merupakan fluida dasar konvensional, fluida tersebut dianggap kurang efisien dalam proses perpindahan panas. Dewasa ini dapat digunakan teknologi baru yaitu nano fluida yang dapat meningkatkan efisiensi perpindahan panas. Nano fluida merupakan teknologi nano partikel yang bersifat homogen dengan ukuran 1-100nm, nano fluida yang terdispersi pada fluida dasar mampu meningkatkan konveksi pada fluida dasar sehingga dapat meningkatkan tingkat perpindahan panas pada kolektor plat datar. (Jidhesh, 2016)

Setelah upaya meningkatkan konveksivitas perpindahan panas akibat perlakuan fluida dasar, terdapat juga beberapa metode untuk meningkatkan perpindahan panas, salah satunya dengan meningkatkan luas area perpindahan panas. Jenis aliran dapat berbeda sehingga mampu memberikan perbedaan efek turbulensi pada setiap geometri pipa penyerap panas serta terdapat perbedaan luas perpindahan panas. (Vinoth, 2014)

Pada penelitian ini ingin dilakukan pengembangan pada panel surya *thermal* (PV/T) guna mengetahui efisiensi kerja dengan perangkat lunak *Computing Fluid Dynamic* (CFD). *Computing Fluid Dynamic* (CFD) merupakan salah satu cabang ilmu yang berkonstrasi pada bidang aerodinamika dengan sistem kalkulasi komputasi sehingga dapat diketahui karakteristik aliran dan interaksi kontur dengan biaya yang sedikit. Oleh karena itu perlu dilakukan optimalisasi panel surya *thermal* (PV/T) dengan kolektor plat datar aliran berkelok

berdasarkan pemilihan geometri yang tepat dan pengaruh nano fluida Al_2O_3 terhadap fluida dasar. Maka dari itu perlu dilakukan eksperimen dan simulasi menggunakan perangkat lunak *CFD Ansys 18.1* menggunakan standar uji EN12975 dan pada kondisi *steady state*.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Mensimulasikan unjuk kerja panel surya *thermal* (PV/T) kolektor plat datar aliran berkelok menggunakan nano fluida Al_2O_3 pada pipa persegi dan pipa bundar pada perangkat lunak *Ansys Fluent 18.1*
2. Memvalidasi unjuk kerja *thermal* pada panel surya *thermal* (PV/T) kolektor plat datar aliran berkelok menggunakan nano fluida Al_2O_3 dengan fluida dasar air menggunakan perangkat lunak *Ansys Fluent 18.1*

1.3 Batasan Masalah

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

1. Menggunakan panel surya *thermal* (PV/T) jenis kolektor plat datar.
2. Simulasi yang digunakan menggunakan perangkat lunak *Ansys 18.1*.
3. Simulasi dilakukan dengan kondisi kesetimbangan dan tidak berubah seiring waktu atau kondisi *steady state*.
4. Simulasi dilakukan untuk memperoleh efisiensi *thermal* dari panel surya (PV/T) jenis kolektor plat datar.

5. Menggunakan standar uji EN12975
6. Mengasumsikan larutan *nanofluida*- Al_2O_3 untuk simulasi *Ansys* bersifat homogen.

1.4 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, iradiasi matahari, mekanisme dan cara kerja dari panel surya (PV) dan panel surya *thermal* (PV/T), serta perangkat lunak *CFD Ansys 18.1* dan standar uji EN12975

III. METODOLOGI PENELITIAN

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

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang data pengamatan hasil uji dan eksperimen hasil simulasi perangkat lunak *CFD Ansys 18.1* 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 Matahari

Matahari merupakan pusat tata surya, yang memiliki bentuk hampir bundar dan tersusun atas plasma panas bercampur elektromagnetik. Matahari merupakan salah satu bintang yang energinya diciptakan berdasarkan reaksi fusi nuklir nukleus hidrogen ke helium. Inti atau *core* matahari yang terdapat pada kisaran 20% dari radius matahari melakukan difusi hidrogen ke helium sebanyak 620 juta ton metrik persatuan detik waktu dan menghasilkan suhu yang sangat tinggi yaitu $15,7 \times 10^6$ kelvin, sedangkan temperatur pada permukaan matahari mencapai 5778 kelvin. (Petal, 2010)

Diketahui bahwa unsur penyusun utama matahari yaitu hidrogen sebanyak 76,40% dan Helium sebanyak 21,80%, dengan ini matahari dapat disebut dengan sebuah bola gas yang sangat besar dengan massa sebesar $1,98 \times 10^{30}$ kilogram. Matahari yang memiliki diameter kurang lebih $1,4 \times 10^6$ km mampu bergerak mengelilingi tata surya dengan jarak 24000 – 26000 tahun cahaya dari pusat galaksi bima sakti pada kecepatan relatif matahari yaitu 550 km/detik. Jarak matahari ke bumi ialah berkisar pada 149,6 juta kilometer, sehingga pada

jarak tersebut cahaya yang dihasilkan oleh radiasi matahari mampu menyentuh bumi pada kurun waktu 8 menit 19 detik.

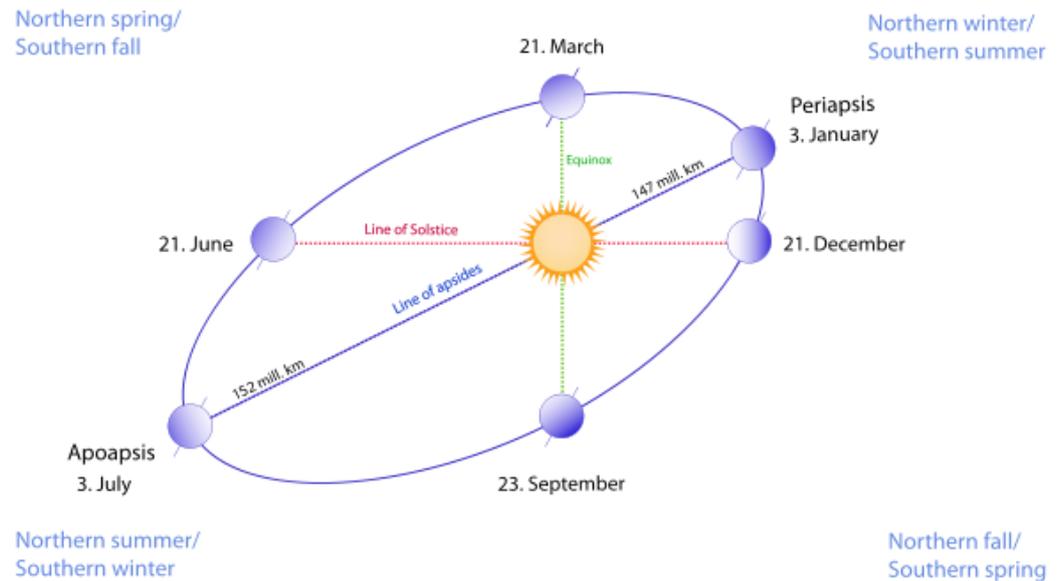
2.2 Radiasi Matahari

Radiasi matahari merupakan energi yang dipancarkan oleh permukaan matahari ke permukaan bumi dalam bentuk gelombang elektromagnetik yang berupa cahaya dan panas. Pancaran gelombang elektromagnetik diakibatkan oleh suhu pada permukaan matahari yang tinggi sehingga pada perpindahan panasnya mampu merambat pada aliran partikel yang disebut foton.

Radiasi matahari dalam pancarannya memiliki intensitas radiasi atau sejumlah energi yang di emisikan matahari per satuan luas dan per satuan waktu. Sebuah lembaga institute bernama *World Radiation Center (WRC)* merekomendasikan intensitas radiasi matahari G_{sc} atau konstanta solar yang diterima permukaan bumi sebesar 1367 w/m^2 dengan derajat ketidak pastian sebesar 1% sebagai acuan. (Vries, 2011).

Perolehan intensitas radiasi matahari yang diterima oleh bumi sangat bergantung pada jarak matahari hal ini disebut juga dengan faktor eksentrisitas lintasan bumi. Diketahui bahwa jarak terdekat dan jauh bumi dan matahari terdapat pada awal bulan januari dan bulan juli yaitu posisi terdekat terdapat pada tanggal 3 januari dan posisi terjauh berada pada tanggal 3 juli seperti yang

di ilustrasikan pada gambar 2.1. hal ini mengakibatkan nilai konstanta solar (G_{sc}) mengalami fluktuasi nilai yang mencapai $\pm 3.3\%$



Gambar 2.1 Orbit bumi terhadap matahari

Dari gambar 2.1 menyatakan posisi bumi terjauh dari matahari yaitu $1,52 \times 10^{11}$ m dan posisi terdekat dengan matahari ialah $1,47 \times 10^{11}$ m. Hal ini menyebabkan intensitas radiasi yang diterima bumi selama satu tahun penuh dapat bervariasi setiap bulannya. Intensitas matahari sangat bergantung dengan waktu sehingga sangat dipengaruhi dengan lama penyinaran selama satu hari penuh. (Lemos, 2014)

Penurunan intensitas matahari dapat terjadi pada proses penyinaran atau *daylight* yang disebabkan oleh posisi lintang lokasi, ketebalan awan, topografi dan musin. Dari faktor tersebut, ketebalan awan yang sangat berpengaruh terhadap intensitas matahari yang terpapar ke permukaan bumi yaitu 40%

untuk daerah basah dengan banyak awan dan 80% untuk daerah kering yaitu gurun.

Di negara Indonesia terdapat garis khatulistiwa, untuk daerah yang dilalui garis tersebut memiliki tingkat intensitas radiasi yang cukup tinggi yaitu berkisar 7,93 – 17,73 MJ/m²/hari. Tingkat intensitas radiasi tertinggi terdapat pada wilayah daerah Pontianak dan tingkat intensitas radiasi terendah terdapat pada kota medan. Namun seiring dengan tingginya peningkatan intensitas radiasi terdapat penurunan lama penyinaran matahari (LPM), hal ini diakibatkan proses konveksi yang terdapat pada sekitar air laut dengan fluida yang mengalir yaitu itu udara/angina sehingga air laut mengalami evaporasi serta membentuk awan, hal ini yang membuat intensitas lama penyinaran (LPM) mengalami penurunan karena terhambat dengan adanya awan yang menghalangi penyinaran sinar matahari ke permukaan bumi.

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya diciptakan untuk mengatasi krisis energi akibat menipisnya sumber minyak dan gas bumi di dunia. Penggunaannya sebagai energi terbarukan yang ketersediaannya tidak akan pernah habis dan dalam pemanfaatannya tidak menghasilkan polusi. Sumber energi matahari di Indonesia memiliki potensi yang besar yaitu mencapai 4.8 KWh/m² atau setara dengan 112000 GWp. Saat ini pengembangan pembangkit listrik tenaga surya sudah memiliki basis yang cukup kuat dari aspek kebijakan. Namun, dalam

pemanfaatannya sumber energi yang tersedia belum dimanfaatkan secara optimal.

2.3.1 Panel surya

Panel surya atau sel surya merupakan salah satu alat yang berguna untuk implementasi pembangkit listrik tenaga matahari. Panel surya atau sel surya adalah sebuah alat pemindah panas yang dapat mengkonversikan panas radiasi matahari menjadi energi listrik. Modul yang tersusun dari berbagai sel surya baik di susun secara seri atau paralel biasa disebut dengan panel surya. (Reccab, 2010)

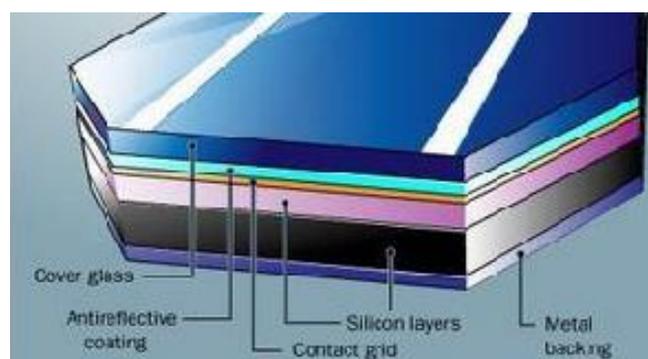
Panel surya atau sel surya dapat disebut juga dengan alat dengan dua terminal atau dua sambungan, saat sedang disinari oleh matahari maka dapat menghasilkan tegangan dc atau tegangan dengan aliran arus searah dan apabila dalam kondisi gelap atau malam hari berfungsi sebagai dioda. Satu modul sel surya umumnya mampu menghasilkan 0.5-1 volt oleh karena itu modul surya dapat disusun secara seri maupun parallel sebanyak 28 – 36 sel surya untuk mencapai tegangan 12 volt.

Arus dan tegangan yang dihasilkan pada sel surya dapat terjadi akibat energi foton yang dibawa matahari melepaskan elektron elektron yang terdapat pada sambungan atau *junction* antara semikonduktor silikon tipe P dan semikonduktor silikon tipe N. Panel surya dengan jenis Kolektor plat datar yang banyak digunakan sebagai suplai listrik lampu penerangan jalan mampu memberikan efisiensi sekitar 10-15%

2.3.1.1 Struktur Penyusun Panel surya

Panel surya harus di desain sedemikian rupa untuk menghasilkan efisien tertinggi, sehingga diperlukan fabrikasi yang optimal untuk menangkap dan menghasilkan listrik. Pada lapisan paling atas terdapat lapisan kaca yang berguna untuk mencegah kotoran masuk dan meneruskan cahaya yang masuk kedalam kaca.

Untuk mendapatkan cahaya yang optimal, panel surya dilengkapi dengan *antireflective* guna menangkal cahaya yang keluar dari panel surya. Pada lapisan selanjutnya terdapat lapisan silikon, lapisan ini terdiri dua lapisan yaitu lapisan silikon bermuatan negative (Tipe-N) dan lapisan silikon bermuatan positif (Tipe-P).



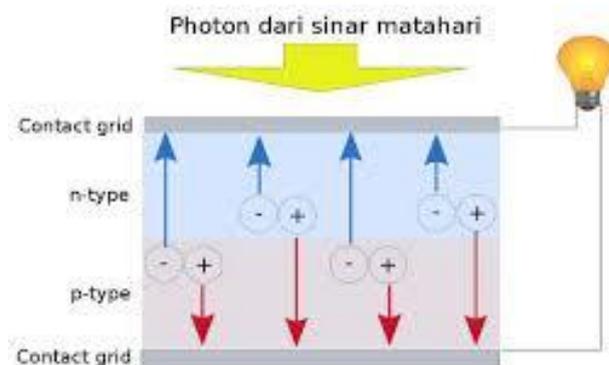
Gambar 2.2 Struktur Penyusun Panel Surya

Lapisan yang paling bawah yaitu *metal backing* sebagai material substrat penopang seluruh komponen panel surya dan

juga sebagai kontak terminal positif sehingga harus mempunyai konduktivitas listrik yang baik seperti material logam.

2.3.1.2 Prinsip Kerja Panel surya

Cahaya yang dihasilkan matahari merupakan gelombang elektromagnetik, dimana dalam penyinarannya terdapat partikel yang berukuran sangat kecil bernama foton. Ketika sinar matahari mengenai permukaan panel surya, foton akan menumbuk semikonduktor silikon sel surya dan menghasilkan energi untuk memisahkan elektron dari struktur atomnya.

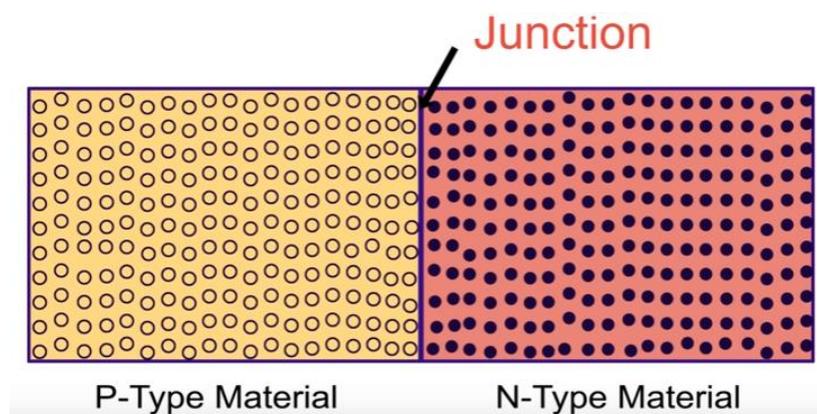


Gambar 2.3 Mekanisme foton menumbuk lapisan semikonduktor silikon tipe P-N

Pada sel surya terdapat sebuah lapisan bernama semikonduktor silikon tipe p dan tipe n yang berguna untuk proses konversi cahaya

menjadi listrik. Semikonduktor tipe N merupakan lapisan yang struktur atomnya memiliki elektron berlebih yang fungsinya sebagai pendonor elektron ke semikonduktor tipe P yang struktur atomnya terdapat kekurangan elektron atau bertindak sebagai penerima (*acceptor*) dari elektron tipe N. (Hubbard, 2017)

Kondisi dimana kelebihan elektron dan *hole* dapat terjadi dengan mendoping material dengan unsur tambahan, untuk semikonduktor silikon tipe N biasanya ditambahkan unsur fosor (P), arsen (As) atau nitrogen (N) guna mendapat tambahan elektron dan untuk semikonduktor tipe P ditambahkan unsur indium (In), boron (B), gallium (Ga) atau alumunium (Al) untuk menambah jumlah *hole*.

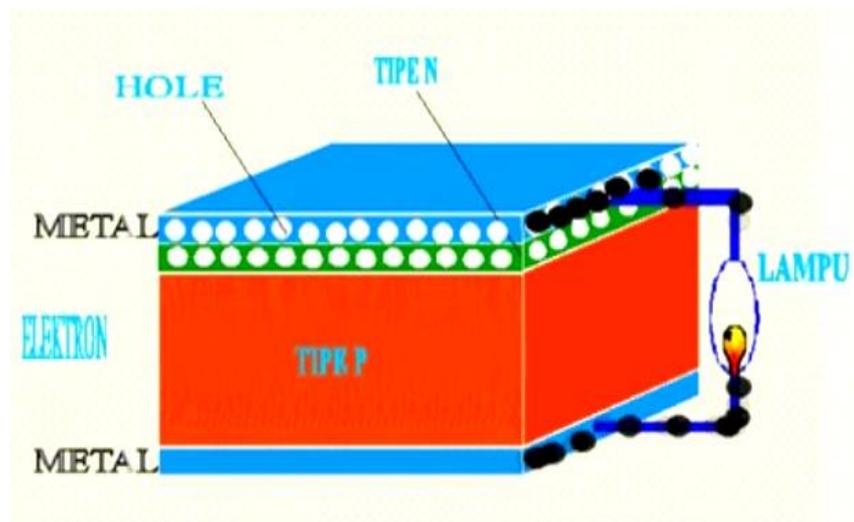


Gambar 2.4 P-N Junction material

Peran dari penggunaan lapisan semikonduktor silikon *P-N Junction* untuk menghasilkan medan listrik. Ketika kedua jenis silikon semikonduktor tersebut disatukan maka semikonduktor tipe N yang memiliki elektron berlebih akan berpindah menuju

semikonduktor tipe P dan membentuk kutub negatif pada semikonduktor tipe P begitu juga sebaliknya membentuk kutub positif di semikonduktor tipe N.

Akibat dari perpindahan elektron dan *hole* ini, maka dapat membentuk medan listrik di area simpangan atau *junction* pada tipe P-N. Bila medan listrik ini terkena sinar matahari yang membawa partikel foton, maka elektron yang terdapat simpangan atau *junction* melepaskan diri dan bergerak menuju kutub negatif yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai arus listrik dan *hole* bergerak menuju kutub positif menunggu elektron datang.



Gambar 2.5 Ilustrasi pergerakan elektron pada sel surya

2.3.2 Kolektor Panas

Kolektor energi matahari atau kolektor surya merupakan alat penukar panas khusus yang mampu mengubah energi radiasi matahari. Kolektor surya memiliki komponen utama yang berguna menyerap radiasi matahari yang masuk serta mengubah menjadi panas dan memindahkan panas ini ke fluida mengalir seperti air, oli atau minyak yang mengalir pada bagian bawah kolektor. Dengan mekanisme tersebut, energi matahari yang bersifat panas dikumpulkan dan dibawa oleh fluida yang bersirkulasi secara langsung atau menuju tangki penyimpanan dan dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan.

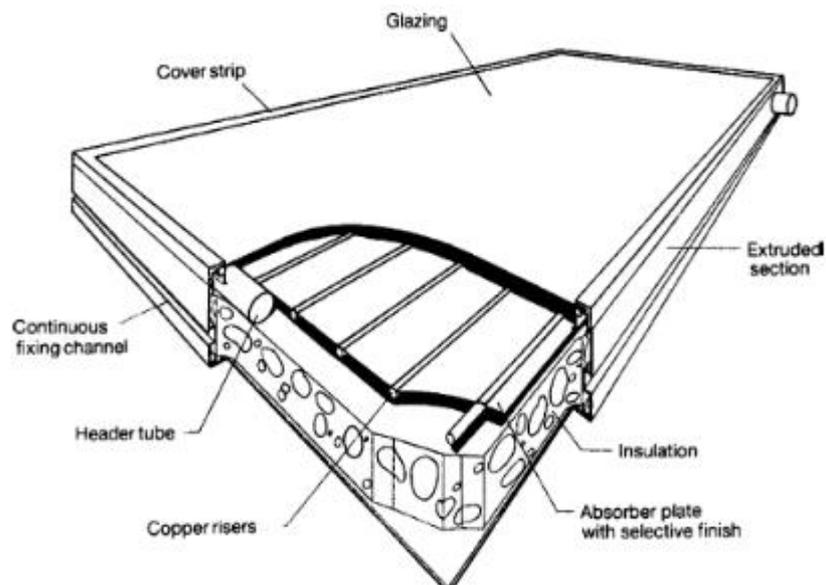
2.4 Klasifikasi Kolektor Surya

Kolektor surya dapat diklasifikasikan berdasarkan dimensi dan geometri penyerap, di antara lain:

2.4.1 Kolektor Plat Datar

Kolektor surya dengan dimensi plat datar merupakan kolektor surya yang paling umum digunakan. Ketika radiasi matahari menembus kaca transparan pada kolektor surya plat datar, panas yang dihasilkan radiasi matahari diserap oleh plat *absorber* berwarna hitam yang memiliki absorptivitas tertinggi kemudian panas di pindahkan menuju pipa pada sisi bawah kolektor surya yang di dalamnya terdapat fluida mengalir seperti air, oli atau minyak untuk digunakan langsung atau disimpan pada tangki penyimpanan. (Soteris, 2004)

Pipa yang terdapat pada sisi bawah kolektor surya dapat dipasang langsung dengan mengelas atau dapat menggunakan perekat sehingga pipa dapat berkontak langsung dengan plat *absorber*. Kaca transparan yang digunakan selain untuk meneruskan cahaya yang masuk agar tidak keluar kembali akibat pantulan, kaca transparan tersebut dapat mengurangi kerugian akibat konveksi dari plat *absorber* ke udara bebas. Sekaligus kaca tersebut dapat mengurangi kerugian radiasi yang dilepaskan kolektor atau yang biasa disebut dengan efek rumah kaca.



Gambar 2.6 Kolektor plat datar

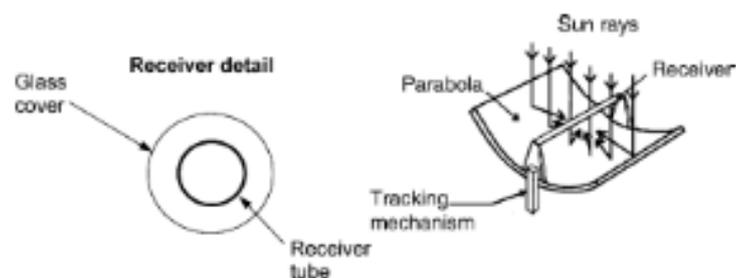
Pada bagian bawah terdapat isolator atau *insulation* yang bertindak sebagai penyekat panas agar panas tidak menyebar keluar dari kolektor surya dan dapat diserap baik oleh pipa yang berisi fluida alir.

2.4.2 Kolektor Parabola

Untuk mendapatkan efisiensi termal terbaik serta mendapatkan temperatur yang tinggi dapat menggunakan kolektor jenis parabola. Dengan estimasi biaya yang rendah dan berat alat yang ringan, proses pemanasan dapat mencapai temperatur tertinggi yaitu 300 derajat celcius. Temperatur yang tinggi dapat timbul akibat proses pemusatan sinar matahari ke satu tabung yang berada di tengah parabola.

Kolektor parabola dibuat dengan membengkokkan material reflektif yang dapat memantulkan sinar matahari. Tabung penerima sinar matahari umumnya berwarna hitam, hal ini dimaksud untuk memaksimalkan absorptivitas panas matahari dan dilindungi oleh kaca untuk mengurangi kerugian panas akibat konveksi dari udara sekitar.

Jenis kolektor parabola memiliki satu derajat kebebasan sehingga dalam implementasinya mampu mengikuti arah pergerakan matahari. Kolektor parabola mampu bergerak mengikuti dari arah barat ke timur atau utara ke selatan sesuai arah datangnya matahari terbit dan terbenam.

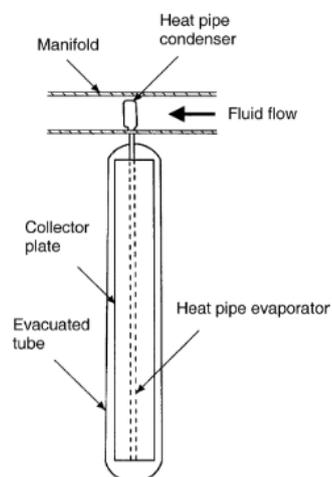


Gambar 2.7 Kolektor Parabola

2.4.3 Evacuated Tube Collector

Kolektor pipa evakuasi merupakan jenis kolektor yang unik, dalam pengaplikasiannya menggunakan pipa panas atau *heat pipe* yang terkurung pada sebuah tabung dalam keadaan vakum. Pada daerah sekitar pipa panas terdapat fin berwarna hitam supaya dapat menyerap panas lebih baik dan bahan pipa panas biasanya terbuat dari tembaga untuk mentransmisikan panas dengan baik. (Soteris, 2004)

Di dalam pipa panas atau *heat pipe* terdapat *liquid phase change material* yang wujudnya berubah mengikuti kondisi suhu cairan. Ketika suhu cairan rendah menjadi fase kondensat kemudian ketika suhu cairan menjadi tinggi cairan akan berubah menjadi *vapor* atau uap. Keadaan vakum di dalam tabung menyebabkan kerugian panas hilang akibat konveksi hampir tidak ada atau sangat sedikit. Sehingga panas matahari mampu diserap dan ditransmisikan ke cairan di dalam pipa panas atau *heat pipe*.



Gambar 2.8 *Evacuated Tube Collector*

Pada ujung *evacuated tube collector* terkoneksi dengan pipa yang didalamnya terdapat fluida mengalir, sehingga komponen *heat pipe condenser* yang berada pada ujung *evacuated tube collector* berfungsi sebagai pemanas fluida yang mengalir dalam pipa.

2.5 Panel surya *Thermal Hybrid*

Sistem energi *hybrid* merupakan sebuah sistem yang menggunakan dua atau lebih sumber energi untuk memaksimalkan output daya dan efisiensi elektrik. Sistem hibrida yang digunakan dalam membantu pemasok listrik saat ini ialah panel surya *thermal hybrid*. Sebuah sistem panel surya atau sel surya konvensional yang memanfaatkan partikel foton dari cahaya matahari dan panas dari radiasi matahari mengakibatkan suhu pada modul sel surya meningkat yang berakibat turunnya efisiensi.

Sebagian besar radiasi matahari yang diserap sel surya tidak diubah menjadi listrik. Total energi keluaran yang dihasilkan yaitu elektrik dan termal pada sistem panel surya *thermal hybrid* sangat bergantung pada *input* energi surya, temperatur ambien, kecepatan angin serta temperatur kerja pada bagian sistem dan ekstraksi perpindahan panas. (Yianoulis, 2000)

Pada sistem panel surya *thermal hybrid* sistem tidak hanya memanfaatkan cahaya matahari sebagai daya keluaran, tetapi juga menghasilkan panas. Panas pada modul surya dapat di ekstraksi dengan memanfaatkan perpindahan panas ke fluida yang mengalir pada sisi bawah panel surya

dengan jenis plat datar dengan memasang pipa alir untuk mengambil panas dan mendinginkan panel surya.

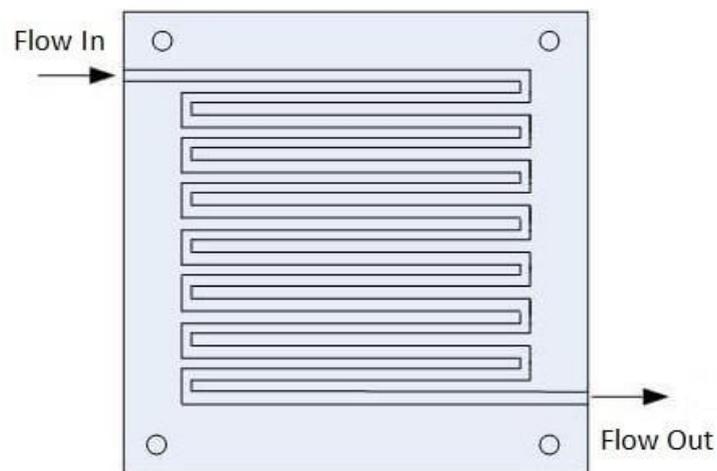
Untuk efisiensi termal yang di perhitungkan pada cairan pendingin sistem panel surya *thermal hybrid* pada kisaran 45 – 65%, bila nilai efisien termal cairan pendingin melebihi nilai tersebut maka sistem akan kehilangan termal kerja yang optimal. Untuk menghindari permasalahan pada konduktivitas listrik dari penggunaan sirkulasi air, perpindahan panas dapat menggunakan permukaan termal bagian belakang dari panel surya dengan jenis panel surya plat datar. (Haloui, 2015)

2.6 Jenis Aliran Panel surya *Thermal Hybrid* Plat Datar

Kualitas kinerja dari kolektor sistem panel surya *thermal hybrid* di jelaskan dari berbagai kombinasi efisiensi. Itu terbagi menjadi efisiensi termal dan efisiensi elektrik, rasio tersebut yang berguna sebagai parameter termal dan elektrik ke sistem berdasarkan radiasi matahari pada kolektor untuk beberapa periode. Kinerja termal dari panel surya *thermal hybrid* sangat dipengaruhi oleh bermacam sistem desain parameter dan kondisi operasi.

2.6.1 Aliran Berkelok

Kolektor surya plat datar yang menggunakan jenis aliran berkelok memiliki alur pipa yang berkelok seperti huruf S, jenis aliran ini memiliki saluran pipa yang panjang yang berkelok pada sisi bawah permukaan kontak termal kolektor.

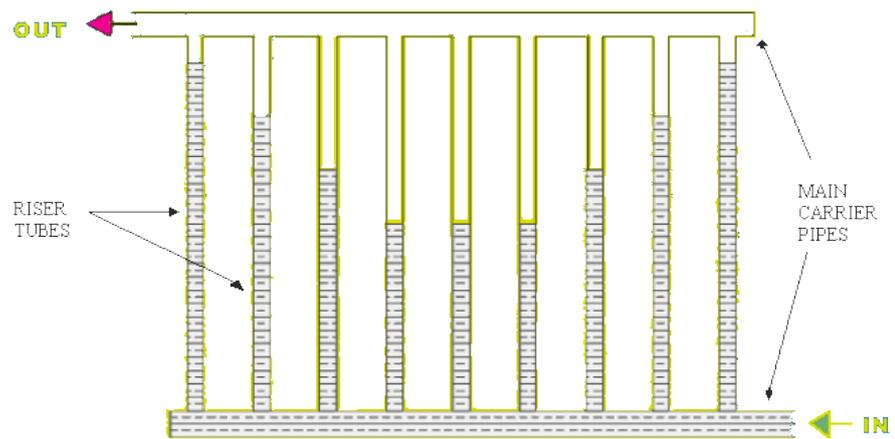


Gambar 2.9 Aliran berkelok pada plat datar

Pada gambar diatas menunjukan bahwa aliran pipa berkelok memiliki distribusi saluran pipa yang merata pada plat datar. Unsur yang perlu diperhatikan untuk saluran pipa jenis berkelok ialah proses instalasi pipa ke plat dan proses fabrikasi agar tidak rapuh akibat proses pembengkokan. (James, 2015)

2.6.2 Aliran Paralel

Kolektor surya plat datar jenis ini memiliki susunan pipa yang tersusun secara paralel, pipa jenis mengalirkan aliran air dari sisi atas menuju sisi bawah dengan diameter yang berbeda. Terdapat dua ukuran diameter pada susunan pipa paralel. (Mustofa, 2014)



Gambar 2. 10 Aliran paralel pada plat datar

Pada gambar diatas terlihat bahwa pipa horisontal memiliki diameter yang lebih besar dibanding pipa vertical untuk memudahkan pergerakan fluida. Kerugian menggunakan pipa jenis paralel ialah fluida yang mengalir tidak terdistribusi dengan baik, pada bagian tengah dari susunan pipa paralel terlihat mengalami perlambatan kecepatan sehingga terjadi ketidakseragaman kecepatan alir.

2.7 Nano Fluida Pada Panel Surya *Thermal Hybrid*

Panel surya merupakan salah satu alat penukar kalor atau alat pemindah panas yang pada dasarnya tidak memiliki alat pendingin paksa, hanya terdapat pendinginan bebas dengan cara konveksi. Namun, suhu pada permukaan panel surya tidak akan pernah mendapatkan suhu yang optimal akibat terus dikenai paparan radiasi matahari dan suhu panel akan terus meningkat.

Kemajuan teknologi yang ada saat ini dengan melakukan *hybrid* atau penggabungan dengan *solar collector* dengan memanfaatkan fluida alir pada pipa yang menempel pada sisi bawah panel surya, panas dapat dipindahkan menuju fluida alir dan dapat dimanfaatkan untuk keperluan lainnya.

Fluida konvensional yaitu air, dianggap masih kurang efisien dalam pengambilan panas. Oleh karena itu, rekayasa untuk meningkatkan efisiensi dalam pengambilan panas terdapat sebuah partikel berukuran nano yang bilamana dilarutkan pada fluida menjadi sebuah nano fluida. Nano fluida merupakan nano partikel yang tersuspensi pada fluida cair yang memiliki ukuran kurang dari 100 nano meter. (Aiman, 2014)

Nano fluida saat ini dapat berupa aluminium oksida (Al_2O_3), tembaga (Cu), tembaga oksida (CuO), emas (Au), silver atau perak (Ag) dan nano partikel silica. Nano fluida saat ini sedang ramai diteliti akibat kemampuannya dalam melakukan perpindahan panas yang bagus, dengan penambahan perpindahan panas sekitar 15 – 40% dapat dicapai dengan berbagai jenis dari nano fluida.

Kemampuan pemindah panas yang baik pada nano fluida timbul akibat adanya konduktivitas termal yang tersuspensi pada fluida dasar. Perlakuan fluida dasar dengan menambahkan sedikit konsentrasi nano fluida, dapat meningkatkan konduktivitas termal yang cukup tinggi pada fluida dasar. Percobaan dengan menambahkan sekitar 5% fraksi dari nano fluida dengan jenis Al_2O_3 atau aluminium oksida dengan ukuran 33 nm pada air,

konduktivitas termalnya meningkat sebanyak 29%. Untuk diameter yang lebih besar yaitu 80 nm dengan jenis nano fluida yang sama Al_2O_3 setelah di observasi terjadi peningkatan konduktivitas termal sebanyak 24% dengan fraksi nano fluida sebesar 5%. (Aiman, 2014)

Dengan membandingkan data tersebut, konduktivitas termal bergantung dari ukuran partikel yang dilarutkan. Semakin kecil partikel nano yang terlarut pada fluida dasar maka konduktivitas termal yang dimiliki akan semakin baik. Nilai koefisien perpindahan konveksi berbanding lurus dengan peningkatan laju aliran, bilangan *Reynolds*, dan konsentrasi fraksi nano fluida pada fluida dasar. Untuk lebih jelas mengenai nano fluida dan fluida konvensional dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 1 Kriteria Fluida Konvensional dan Nano Fluida

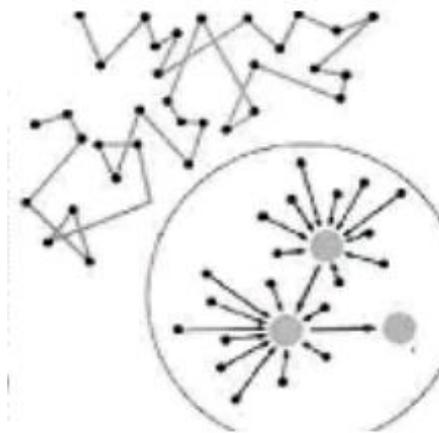
Kriteria	Fluida Konvensional	Nano Fluida
Pengendapan	Tinggi	Rendah
<i>Surface Area</i>	Rendah	Tinggi
Konduktivitas Termal	Rendah	Tinggi

Dari tabel diatas merupakan perbandingan antara nano fluida dengan fluida konvensional, dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan konduktivitas termal tidak dibutuhkan daya pompa yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan fluida konvensional.

Pada dasarnya fluida sering digunakan untuk proses implementasi perpindahan panas yang memiliki konduktivitas termal rendah. Terdapat beberapa karakteristik dan perilaku dari nano fluida yang dapat memberikan konduktivitas termal yang baik seperti berikut.

2.7.1 *Brownian Motion Effect* (Efek Gerak Brown)

Karakteristik yang dimiliki nano fluida yang pertama ialah gerak acak, akibat penggambungan partikel nano yang terdispersi atau dilarutkan pada fluida dasar yaitu air menghasilkan efek gerak acak pada fluida nano.



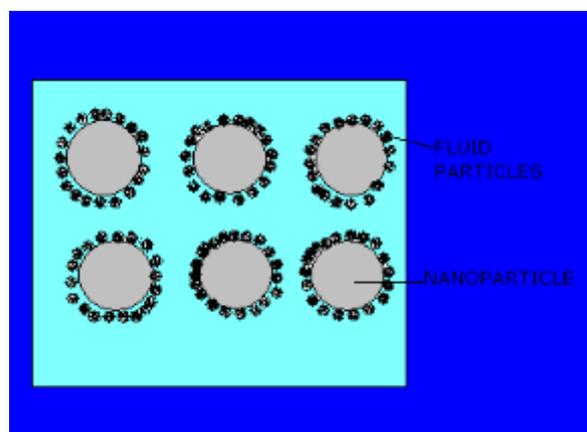
Gambar 2. 11 Ilustrasi Brownian motion

Pada gambar diatas merupakan ilustrasi dari pergerakan acak atau *Brownian motion*, telah ditemukan bahwa gerak acak dari partikel nano pada tingkat molekul dan nano adalah mekanisme utama yang mengatur perilaku suspensi termal dari nano fluida. Peningkatan dalam konduktivitas termal pada nano fluida disebabkan konveksi

lokal oleh gerakan acak pada nano partikel. *Brownian motion* atau gerak acak dipengaruhi oleh peningkatan temperatur per partikel kinetik.

2.7.2 Lapisan Antarmuka

Diketahui bahwa cairan molekul mendekati permukaan padat (biasanya pipa) diketahui membentuk struktur lapisan. Hal ini disebut dengan hubungan antara lapisan nanofluida dan sifat termal dari suspensi cair, dengan karakteristik ini benda padat seperti lapisan nano bertindak sebagai jembatan termal antara partikel nano dan fluida yang meningkatkan konduktivitas termal.



Gambar 2. 12 Lapisan Nano fluida

Pada gambar 2.12 terlihat bahwa partikel fluida dasar dikelilingi oleh partikel nano, dengan alasan ini nano partikel dapat menjadi jembatan atau penghubung antara permukaan benda padat dapat langsung

memindahkan panasnya ke fluida nano sehingga dapat meningkatkan konduktivitas termal.

2.8 Persamaan Dasar Nanofluid

Nanofluid merupakan fluida dasar yang didalamnya tersuspensi partikel padat berukuran nanometer. Sehingga, larutan yang sudah tercampur tersebut menjadi sebuah nano fluida. Prinsip kerja dari nano fluida adalah dengan dilarutkannya partikel nano, harapannya ialah mampu meningkatkan konduktivitas termal dari fluida dasar. Namun perlu di perhatikan untuk membuat kandungan atau fraksi dari sebuah nanofluida harus memperhatikan faktor aglomerasi atau faktor endapan. Sehingga dapat dilihat persamaan untuk menentukan fraksi dari nanofluida sebagai berikut:

2.8.1 Konduktivitas Termal Nanofluid

Suatu fluida yang tersuspensi pada partikel ukuran nano maka nilai konduktivitas termal dari fluida tersebut akan meningkat. Jumlah peningkatan nilai tersebut berpengaruh terhadap ukuran partikel nano dan fraksi yang di larutkan. Sehingga persamaannya menjadi seperti berikut:

$$K_{nf} = \frac{K_p + K_{bf} + 2(K_p - K_{bf})\phi}{K_p + 2K_{bf} - (K_p - K_{bf})\phi} K_{bf}$$

Keterangan :

K_{nf} = Konduktivitas termal nano fluida (W/mK)

K_p = Konduktivitas termal nano partikel (W/mK)

K_{bf} = Konduktivitas termal fluida dasar (W/mK)

\emptyset = Fraksi Larutan (%)

2.8.2 Panas Spesifik Nanofluid

Panas Spesifik dari nanofluid sangat bergantung pada fraksi volume larutan pada nanopartikel. Untuk mengetahui persamaan panas spesifik dari nanofluid digunakan sebagai berikut:

$$Cp_{nf} = \frac{(1 - \emptyset)(\rho Cp)_{bf} + \emptyset (\rho Cp)_p}{(1 - \emptyset)\rho_{bf} + \emptyset\rho_p}$$

Keterangan:

Cp_{nf} = Panas spesifik nano fluida (J/KgC)

Cp_{bf} = Panas spesifik fluida dasar (J/KgC)

ρ_{bf} = Densitas fluida dasar (Kg/m³)

ρ_p = Densitas partikel nano (Kg/m³)

\emptyset = Fraksi Larutan (%)

2.8.3 Viskositas Nanofluida

Viskositas berpengaruh terhadap kinerja perpindahan panas, viskositas nano fluida dipengaruhi oleh densitas, fraksi volume dan

viskositas fluida dasar. Namun peningkatan nilai viskositas akan mempengaruhi *pressure drop*.

$$\eta_{nf} = (1 + 2.5\phi_p) \eta_{bf}$$

Keterangan:

η_{nf} = Viskositas dinamis nano fluida (Ns/m²)

η_{bf} = Viskositas dinamis fluida dasar (Ns/m²)

ϕ = Fraksi Larutan (%)

2.8.4 Densitas Nanofluida

Densitas merupakan sifat penting untuk nano fluida guna memperhitungkan kebutuhan pompa untuk mengalirkan nano fluida. Sehingga dapat ditentukan persamaan untuk menghitung densitas nanofluida sebagai berikut:

$$\rho_{nf} = \phi \rho_p + (1 - \phi) \rho_{bf}$$

Keterangan:

ρ_{bf} = Densitas fluida dasar (Kg/m³)

ρ_{nf} = Densitas nano fluida (Kg/m³)

ϕ = Fraksi Larutan (%)

2.8.5 Fraksi Nano Fluida

Untuk menentukan sebuah fraksi nano fluida, perlu diketahui volume dari nano partikel dan volume larutan. Sehingga dengan persamaan berikut sebuah fraksi nano fluida dapat ditentukan:

$$\phi = \frac{V_p}{V_l}$$

Keterangan:

ϕ = Fraksi Larutan (%)

V_p = Volume Partikel Nano (m^3)

V_l = Volume Larutan (m^3)

2.9 Persamaan Dasar Panel Surya Plat Datar

Energi radiasi yang diserap oleh absorber pada kolektor, akan menghasilkan panas kemudian ditrasfer kefluida kerja yang mengalir didalam saluran pipa dibawah absorber plat hitam. Absorber plat hitam digunakan untuk mengisolasi energi dari radiasi matahari yang mengenai absorber. Hal ini dilakukan untuk memaksimalkan energi yang ditrasfer ke fluida kerja. Keseimbangan energi pada kolektor plat datar dapat ditulis dengan persamaan berikut (Duffie,1980):

$$Q_u = A_c [S - U_L (T_{pm} - T_a)]$$

Dimana:

A_c = Luas permukaan kolektor (m^2)

- T_a = Temperatur lingkungan ($^{\circ}\text{K}$)
 U_L = Koefisien kehilangan panas kolektor ($\text{Watt/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)
 T_{pm} = Temperatur rata-rata permukaan plat ($^{\circ}\text{K}$)
 S = Intesitas radiasi matahari (W/m^2)

Akan tetapi penggunaan persamaan diatas memiliki persoalan, yaitu pada temperatur plat absorber rata-rata yang sulit ditentukan. Sulit dihitungnya temperature plat absorber rata-rata, karena temperature plat absorber rata-rata merupakan fungsi desain dari kolektor, kondisi fluida masuk dan surya konsederasi.

Untuk itu perhitungan persamaan diatas dapat dihitung saat temperature fluida masuk dan parameter yang disebut *factor removal* /factor penghapus solar kolektor, dapat dievaluasi secara analitis dengan prinsip-prinsip dasar yang dilakukan secara eksperimen. Maka persamaan untuk panas berguna dari kolektor dapat ditulis menjadi (Kalogirou, 2003):

$$Q_u = A_C F_r [G_t (\alpha\tau) - U_L (T_m - T_a)]$$

Keterangan:

- A_C = luas kolektor (m^2)
 F_r = Removal factor pemindahan panas kolektor
 U_L = koefisien kehilangan panas menyeluruh ($\text{Watt/m}^2 \cdot \text{K}$)
 T_m = temperature fluida masuk (K)
 T_a = temperature udara lingkungan (K)
 $\alpha\tau$ = koefisien trasmisi absorber
 G_t = energi radiasi matahari (Watt/m^2)

Tempertarur fluida rata- rata (T_{fm}) juga dapat digunakan untuk menghitung energi berguna, dengan persamaan sebagai berikut:

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

Sedangkan untuk nilai energi berguna yang diberikan oleh kolektor ke fluida dapat dicari menggunakan persamaan sebagai beerikut:

$$Q_u = m C_p (T_{f0} - T_{ft})$$

2.10 Persamaan Dasar Panel surya *Thermal Hyrbid Plat Data*

Untuk perhitungan perolehan energi atau kalor yang diserap oleh kolektor plat datar dengan aliran berkelok dapat menggunakan persamaan sebagai berikut

$$Q = \dot{m} \times C_p \times (T_o - T_i)$$

Keterangan:

Q = Kalor terserap (Watt)

\dot{m} = Laju aliran fluida (Kg/s)

C_p = Panas spesifik (J/Kg °C)

T_o = Temperatur fluida keluar (°C)

T_i = Temperatur fluida masuk (°C)

Untuk mengetahui unjuk kerja atau efisiensi dari kolektor dapat diketahui berdasarkan perbandingan intensitas matahari yang diterima kolektor dan panas yang diserap oleh fluida. Terdapat dua cara untuk menentukan efisiensi kolektor yaitu:

Instant efficiency, efisiensi yang diperoleh saat *real time* atau keadaan *steady*.

Data yang digunakan pada perhitungan efisiensi ini terdapat pengukuran laju aliran masa, suhu keluar dan masuk fluida.

$$\eta = \frac{\dot{m} \times C_p \times (T_o - T_i)}{I \times A}$$

Keterangan:

η = Efisiensi kolektor

\dot{m} = Laju aliran fluida (Kg/s)

C_p = Panas spesifik (J/Kg °C)

T_o = Temperatur fluida keluar (°C)

T_i = Temperatur fluida masuk (°C)

I = Intensitas radiasi (W/m²)

A = Luas area kolektor (m²)

2.11 Persamaan Perpindahan Panas

Seluruh 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.

2.11.1 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 dimana energi yang lebih besar bergerak ke energi yang lebih rendah. (Holman, 2011)

Suatu benda yang bertemperatur tinggi memiliki molekul energi yang lebih tinggi juga. Pada proses perpindahan panas, molekul yang memiliki energi lebih tinggi akan menabrak molekul yang memiliki energi lebih rendah hal ini terus terjadi sehingga benda tersebut mengalami pemanasan dan terus berlanjut hingga temperatur yang dicapai. Perpindahan panas konduksi dapat dihitung menggunakan persamaan.

$$Q = -K \frac{dT}{dx}$$

Keterangan:

Q = Kalor konduksi (w/m²)

K = Konduktivitas termal (W/mK)

dT = perubahan temperatur (K)

dx = perubahan jarak (m)

2.11.2 Perpindahan Panas Konveksi

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

$$Q = h \times A \times (T_s - T_e)$$

Keterangan:

Q = Panas Konveksi (Watt)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m^2K)

A = Luas permukaan (m^2)

T_s = Temperatur permukaan (K)

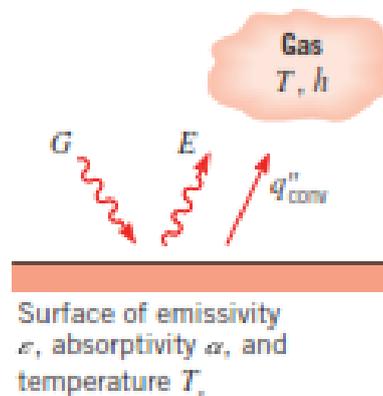
T_e = Temperatur lingkungan (K)

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 bebas atau *free convection*.

2.11.3 Perpindahan Panas Radiasi

Radiasi termal merupakan energi yang di emisikan oleh benda yang bersuhukan tidak nol. Emisi dapat dikaitkan dengan perubahan dalam konfigurasi ekeltron 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,



Gambar 2. 13 Emisivitas Radiasi

Dari gambar diatas terlihat bahwa 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 dan nilainya sebagai berikut

$$E = \varepsilon \sigma T^4$$

Keterangan:

E = Daya pancar (W/m^2)

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

σ = Konstanta Stefan Blotzman ($5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}$)

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 keceoatan cahaya yaitu 3×10^8 serta menyerupai radiasi cahaya. Terdapat karakteristik radiasi dari benda hitam diantaranya adalah tranmisivitas, absorptivitas dan emisivitas. (Incropera, 2011)

2.12 *Computing Fluid Dynamic (CFD)*

Computing Fluid Dynamic (CFD) merupakan dinamika fluida komputasi yang mensimulasikan sifat sifat aliran fluida dan perpindahan panas. CFD

merupakan suatu cabang dinamika fluida yang menggunakan pengembangan metode numerik, teknik komputasi dan studi kasus dalam aplikasi termodinamika.

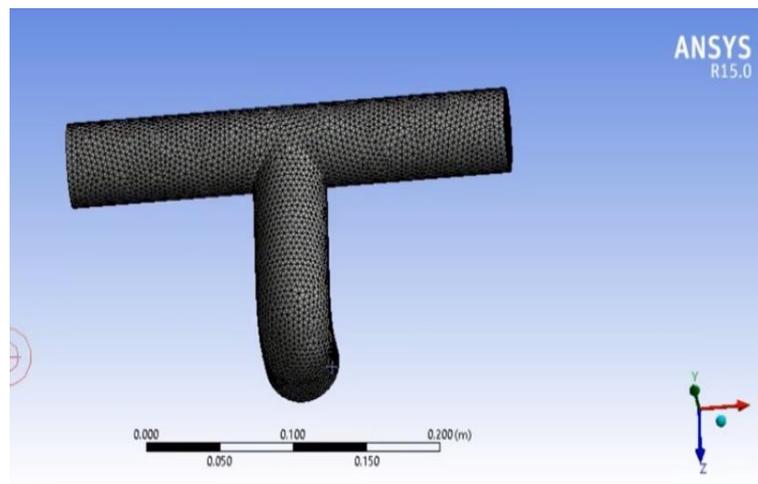
Dalam implementasi CFD, menggunakan iterasi sehingga dapat menggambarkan langkah dalam proses CFD dan memberikan solusi ketika menggunakan analisis CFD dalam memahami fenomena aliran. CFD sangat berguna untuk pembelajaran mengenai laju aliran, perpindahan panas serta reaksi kimia dengan penyelesaian persamaan matematik dengan bantuan analisis numerik. CFD menyelesaikan dengan membagi sistem satuan kecil sel dan mengaplikasikan persamaan pada elemen diskret untuk mencari penyelesaian numerik mengenai distribusi tekanan dan gradien temperatur. (K. Hetal, 2013)

CFD juga dapat membentuk *virtual prototype* dari sistem atau alat dari wujud asli dengan memaparkan gambar data serta memprediksi unjuk kerja dari desain yang dibuat. Metode yang diterapkan pada umumnya adalah mesin pembakaran dalam, 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

2.12.1 Pre-Processing

Pada tahap ini merupakan tahap awal dari simulasi CFD. Dengan membangun model geometri dengan basis *computer aided design* atau

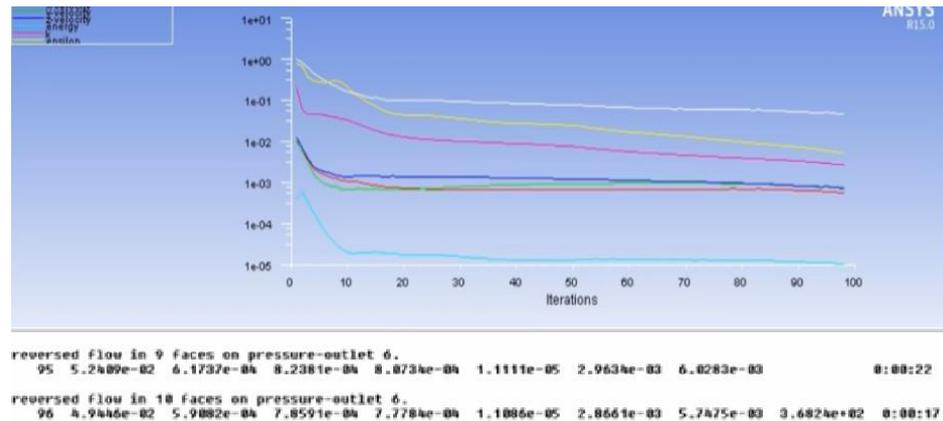
CAD, dengan menggunakan CAD dapat membuat domain volume alir disekitar geomtri dengan fenomena aliran. Serta memasukan data dan kondisi batas pada sebuah objek, pada tahap akhir *pre-processing* melakukan pembagian objek komputasi dengan grid atau melakukan *mesh* dan mengatur sifat fluida.



Gambar 2. 14 Meshing pada CFD

2.12.2 Solver

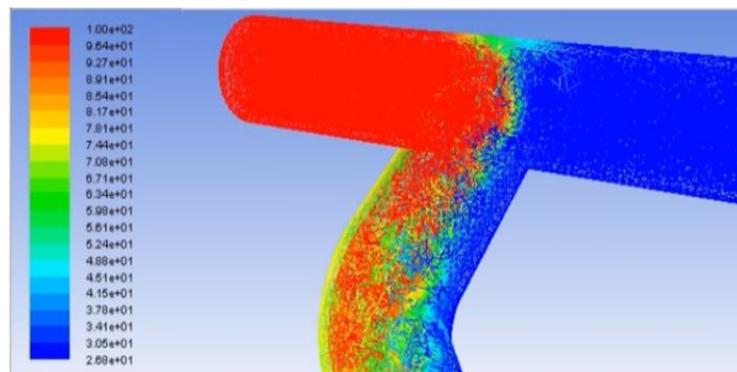
Pada tahap ini dilakukan proses perhitungan yang berkaitan dengan data yang dimasukan dengan menggunakan persamaan yang iteratif. Proses perhitungan terus dilakukan hingga mendekati nilai eror terkecil dengan mengidentifikasi dan mengaplikasikan kondisi batas serta menyelesaikan persamaan secara komputasi. (Khan, 2011)



Gambar 2.15 Proses iterasi pada CFD

2.12.3 Post Processor

Pada tahap ini merupakan hasil akhir dari simulasi yang dilakukan CFD, yaitu melakukan interpretasi data dari hasil simulasi yang dapat berupa vector, histogram, visualisasi kontur dengan menunjukkan berbagai variasi warna tertentu.



Gambar 2.16 Visualisasi kontur pada CFD

Pada gambar tersebut terlihat bahwa dengan menggunakan simulasi CFD, proses *engineering design* dapat diketahui dengan menggunakan perangkat lunak komputer. Dengan meminimalisir biaya, proses

pembelajaran dan pemahaman akan fenomena termodinamika khususnya menjadi lebih mudah dan dapat dilakukan dalam jangka waktu yang relatif singkat.

2.13 Standar Uji EN12975

Standar EN 12975 merupakan acuan dalam perhitungan dan percobaan pada kondisi *steady* saat ini. Berdasarkan standar tersebut untuk melakukan pengujian diluar ruangan kolektor harus diuji dibawah sinar matahari langsung saat tengah hari. Pada prakteknya sulit untuk mendapatkan radiasi matahari yang ideal dan seragam saat pengujian dilakukan diluar dengan sinar matahari langsung, hal ini dikarenakan kondisi iklim cuaca yang berubah-ubah disetiap saat.

Atas dasar itulah pengujian dilakukan menggunakan solar simulator. Solar simulator adalah alat yang digunakan untuk menggantikan radiasi matahari yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Sebagai standar dan acuan selama pengujian *steady* terdiri dari intensitas matahari, temperatur udara dalam dan luar ruangan, laju aliran massa fluida dan temperatur masuk fluida. Standar izin parameter dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 2. 2 Standar izin parameter pengukuran

Parameter	Selisih yang diizinkan dari nilai tengah
Sinar surya yang diuji (global)	$\pm 50 \text{ Wm}^{-2}$

Temperatur udara sekitar (<i>indoor</i>)	± 1 K
Temperatur udara sekitar (<i>outdoor</i>)	$\pm 1,5$ K
Laju aliran massa fluida	± 1 %
Temperatur fluida masuk kolektor	$\pm 0,1$ K

Berdasarkan standar tersebut untuk pengujian didalam ruangan dilakukan menggunakan solar simulator, sebagai pengganti cahaya radiasi matahari menggunakan lampu. Jumlah radiasi lampu dari solar simulator yang sampai pada celah kolektor paling sedikit harus mencapai 700 W/m^2 . Dalam pengujian khusus juga dapat menggunakan radiasi matahari dengan nilai antara $300 \text{ W/m}^2 - 1000 \text{ W/m}^2$.

Untuk parameter karakteristik pada kolektor dapat diperkirakan dari pengujian efisiensi termal. Pengujian harus dilakukan dengan setidaknya melakukan pengambilan empat nilai yang berbeda dari temperatur fluida masuk (T_i). Pengambilan empat data tersebut harus diambil untuk nilai T_i , dalam dua waktu periode selama proses dan dua waktu yang berhasil dari 16 poin pengujian. (EN 12975, 2006)

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian panel surya *PV/T hybrid* dilakukan secara simulasi menggunakan *Ansys version 18.1* dengan validasi data menggunakan uji eksperimen serta pengembangan menggunakan pipa jenis hollow dan nano fluida untuk melihat perbedaan temperatur permukaan serta *thermal fluid* dari panel surya *PV/T hybrid*. Uji eksperimen menggunakan *solar simulator* untuk memberikan jumlah radiasi yang *steady* sebesar 897.75 W/m^2 guna mempermudah pengujian serta memperoleh data kemudian menggunakan pompa akurium ukuran 1100L/jam untuk mengalirkan air ke pipa alir dengan jenis berkelok dengan kapasitas alir bukaan penuh sebesar 0.01 kg/s untuk pipa alir dengan *hydraulic diameter* 9.53 mm.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

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

3.1.1 Tempat Penelitian

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

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dijadwalkan dilakukan pada bulan Juni 2018 hingga Juni 2019 dengan jadwal tersusun sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Jadwal Rencana Kegiatan Penelitian

Kegiatan		JUL	AGT	NOV	DES	JAN	FEB	MAR	APR	Mei	Juni
1	Studi Literatur	■	■								
2	Perancangan persiapan alat pengujian			■	■						
3	Pengujian				■	■					
4	Validasi dan Simulasi						■	■			
5	Pembuatan laporan akhir								■	■	■

3.2 Proesedur Perancangan

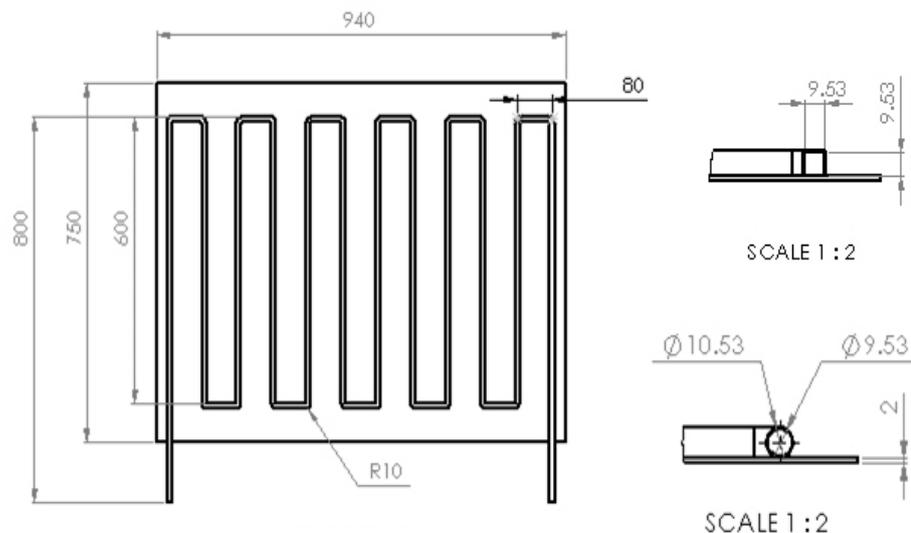
Pada penelitian ini akan melakukan tahap dan prosedur perancangan desain dari panel surya *thermal hybrid* (PV/T) tipe plat datar menggunakan perangkat lunak simulasi *Ansys fluent 18.1*. Pengujian dilakukan untuk melakukan perbandingan dengan menggunakan pipa geometri bundar dan pipa geometri persegi dengan fluida alir berupa nano fluida.

3.2.1 Perancangan Desain (PV/T) Tipe Plat Datar

Pada perancangan ini, penulis menggunakan dua jenis pipa yang berbeda yaitu pipa persegi dengan panjang sisi 9.53 mm dan ketebalan pipa 50 mm dan pipa bundar berdiameter 9.53 mm dan ketebalan 50

mm serta penulis juga menggunakan plat datar sebagai absorber berukuran 946 mm x 750 mm dengan ketebalan 2 mm.

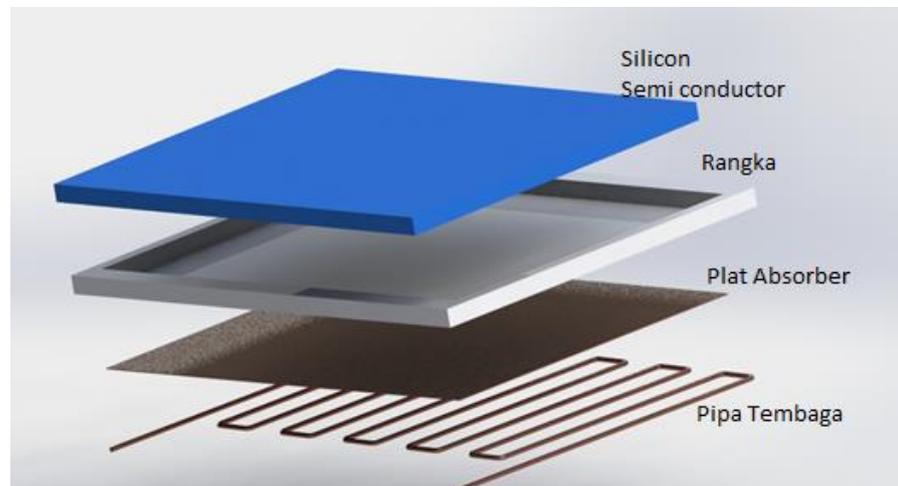
Pada bagian bawah plat absorber, penulis menambahkan pipa alir dengan jenis aliran berkelok. Sambungan yang digunakan pada pipa ini memiliki sambungan elbow 90° dengan jarak antar sambungan sejauh 80 mm. Pada setiap elbow diberikan fillet untuk mereduksi *pressure drop* sebesar 10 mm sehingga mampu menurunkan daya pompa. Berikut gambar 3.1 dari sketsa perancangan yang ingin di laksanakan.



Gambar 3.1 Pipa Alir Berkelok dengan pipa bundar dan persegi

Setelah merancang sketsa pipa alir, kemudian merangkai rangkaian penyusun dari PV/T, komponen tersebut akan di rakit sesuai desain seperti pada gambar 3.2. Perakitan komponen dimulai dari panel surya dengan bahan dasar silicon semikonduktor kemudian dipasang rangka dengan material besi kemudian direkatkan dengan plat tembaga dan

pada bagian bawah dipasang pipa alir tembaga. Kemudian menjadi kesatuan *hybrid panel surya thermal (PV/T)*.



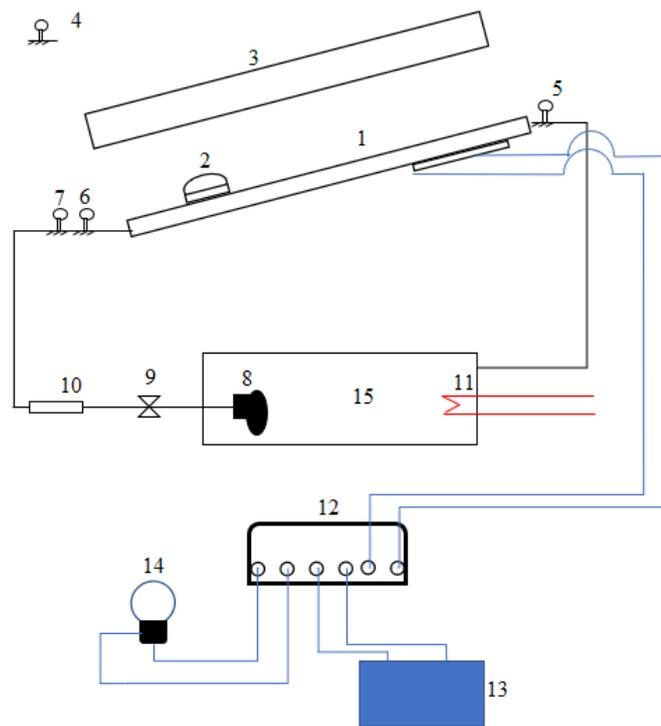
Gambar 3.2 Susunan Desain *Hybrid Panel Surya termal (PV/T)*

3.2.2 Pengujian *Hybrid Panel surya Thermal (PV/T)* Pada *Solar Simulator*

Pengujian secara eksperimen dilakukan didalam laboratorium menggunakan *solar simulator*, untuk memvalidasi hasil dari simulasi menggunakan perangkat lunak *CFD Ansys fluent 18.1*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui efisiensi termal dan efisiensi elektrik dari *hybrid panel surya thermal (PV/T)* berdasarkan *thermal distribution*.

Pengujian *hybrid panel surya thermal (PV/T)* dilakukan dengan 4 variasi temperatur fluida masuk (T_{in}), mulai dari temperatur mendekati lingkungan sampai dengan tempertur kerja optimum dari panel surya (*PV*). Setiap variasi temperatur dilakukan pengmabilan data sebanyak 4 kali sesuai dengan standar EN 12975. Perlu

diperhatikan untuk input fluida dasar air dan nano fluida memiliki tahapan pengukuran yang serupa/sama. Adapun gambar 3.3 yaitu skema rangkaian alat uji sebagai berikut:



Gambar 3. 3 Skema Rangkaian Pengujian PV/T

Keterangan:

- | | |
|---|-------------------------|
| 1. <i>Hybrid panel surya thermal (PV/T)</i> | 9. Katup |
| 2. <i>Solar power mater</i> | 10. <i>Flow Meter</i> |
| 3. <i>Solar simulator</i> | 11. <i>Heater</i> |
| 4. <i>Digital thermometee</i> | 12. <i>Solar Charge</i> |
| 5. <i>Thermometer Output</i> | 13. Aki |
| 6. <i>Thermometer inlet</i> | 14. Lampu |
| 7. <i>Pressure gauge</i> | 15. Penampung Air |
| 8. Pompa sirkulasi | |

Setelah membuat alat uji yang telah ditentukan, selanjutnya ialah melakukan tahapan inti yaitu proses persiapan pengujian adalah sebagai berikut:

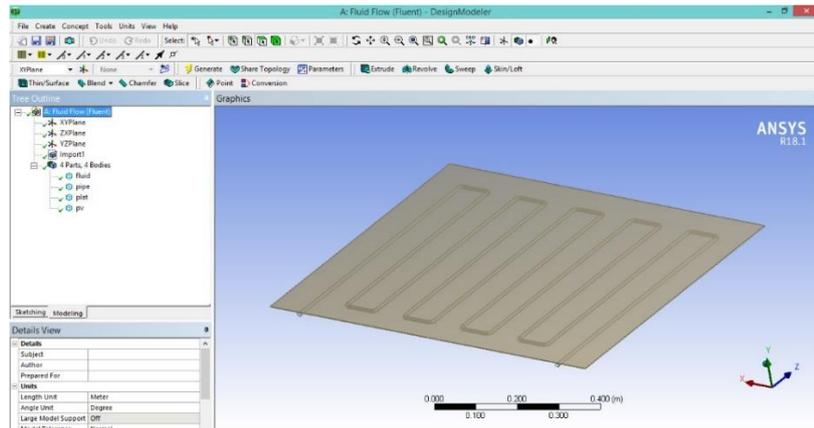
1. Pengukuran temperatur fluida masuk PV/T (T_{in})
2. Pengukuran laju aliran massa fluida (\dot{m})
3. Pengukuran energi radiasi pada *solar simulator*, dengan waktu pengkondisian sebelum pengambilan data selama 20 menit, menggunakan *solar power meter*.
4. Pengukuran temperatur fluida keluar PV/T (T_{out})
5. Pengukuran temperature udara lingkungan
6. Pengukuran temperatur permukaan pada panel surya (p_v)
7. Pengukuran tegangan panel surya (PV) (V)
8. Pengukuran arus keluar panel surya (PV) (A)
9. Pengukuran daya *output* dari panel surya (PV) (Watt).

3.2.3 Simulasi Menggunakan CFD Ansys Fluent

Simulasi menggunakan perangkat lunak Ansys Fluent versi 18.1 *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Adapun tahapan proses dari simulasi yaitu:

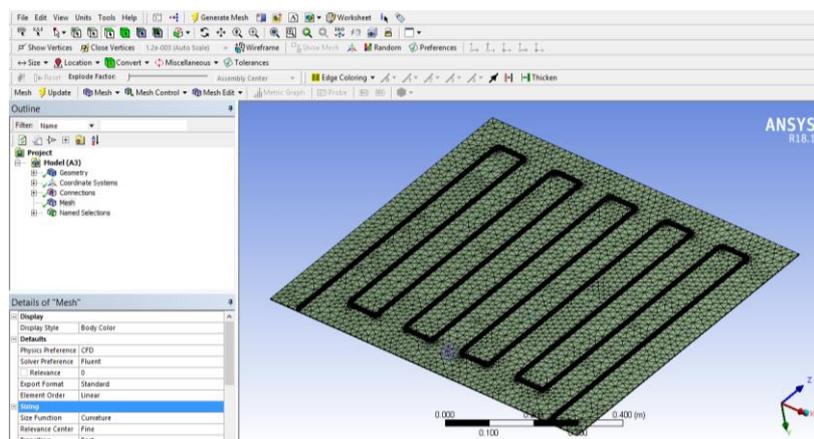
3.2.3.1 Tahap Pre-Processing

Pada tahap ini merupakan tahap awal yaitu dengan membuat gambar atau melakukan *export* gambar ke dalam perangkat lunak Ansys kemudian melakukan proses *meshing*.



Gambar 3.4 Desain PV/T Hybrid Pipa Bundar

Pada gambar 3.4 merupakan proses input gambar yang geometrinya sudah ditentukan sebelumnya, serta memberi nama setiap domain *parts* seperti fluida, pipa, plat dan pv (panel surya). Langkah selanjutnya pada tahap *pre-processing* ialah dengan membuka *setup mesh* seperti pada gambar 3.5 pada langkah ini memberikan penamaan pada setiap *face* seperti *heat flux*, *inlet* dan *outlet* fluida alir serta *insulation wall* kemudian melakukan proses meshing.



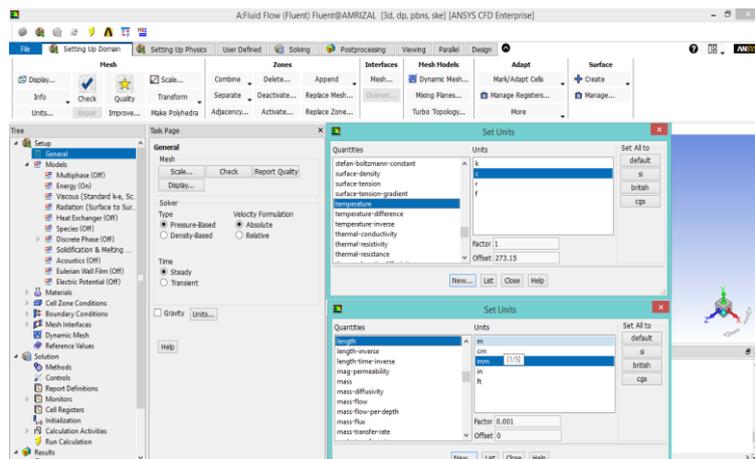
Gambar 3.5 Hasil meshing PV/T Hybrid

3.2.3.2 Tahap *Solver*

Tahap ini merupakan inti dari simulasi, tahap ini terdapat pengaturan kondisi batas untuk menyesuaikan kebutuhan simulasi yang di inginkan.

a. *General Setup*

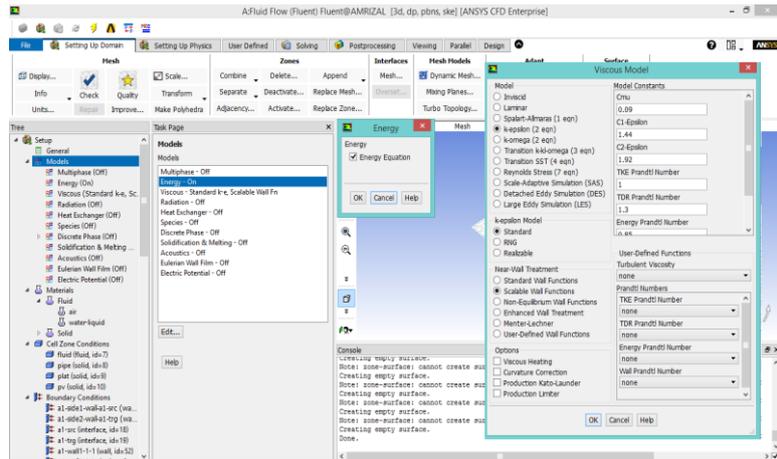
Tahap ini adalah tahap awal dari *solver*, terlihat pada gambar 3.6 pada simulasi ini dilakukan pada kondisi *steady* serta megatur *length* dan *temperature* menjadi mm dan *celcius*.



Gambar 3.6 Setup unit simulasi PV/T Hybrid

b. *Models Setup*

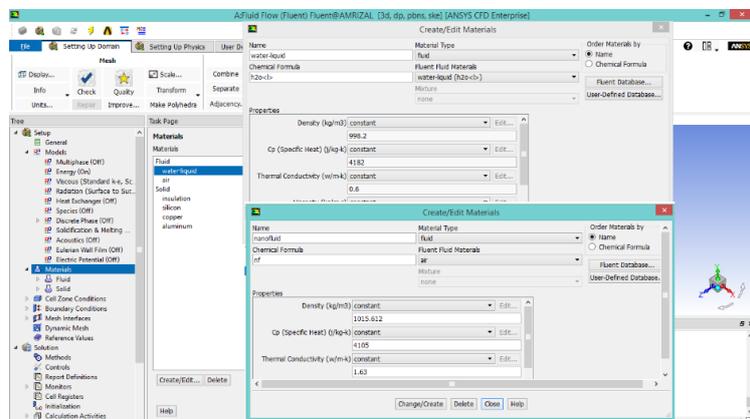
Salah satu dari pengaturan ini ialah untuk mengaktifkan energi, agar simulasi panel surya PV/T *hybrid* dapat dioperasikan menggunakan *thermal energy*. Kemudian menentukan jenis aliran fluida menjadi k-epsilon yang diilustrasikan pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Setup Models PV/T Hybrid

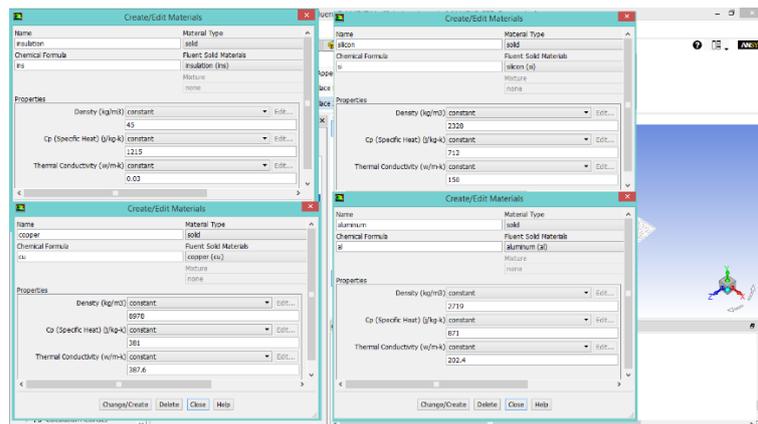
c. Materials Setup

Pada pengaturan selanjutnya ialah menentukan material dari panel surya PV/T *hybrid*. Pada gambar 3.8 terdapat pemilihan material fluida alir yang digunakan yaitu *water-basefluid* dan *nanofluid* dengan konsentrasi 0.3-0.9% terhadap air. Opsi *materials setup* harus memiliki material yang sama dengan material saat eksperimen untuk mendapatkan hasil yang baik dan memiliki tren grafik yang sesuai.



Gambar 3.8 Setup Material Fluid PV/T Hybrid

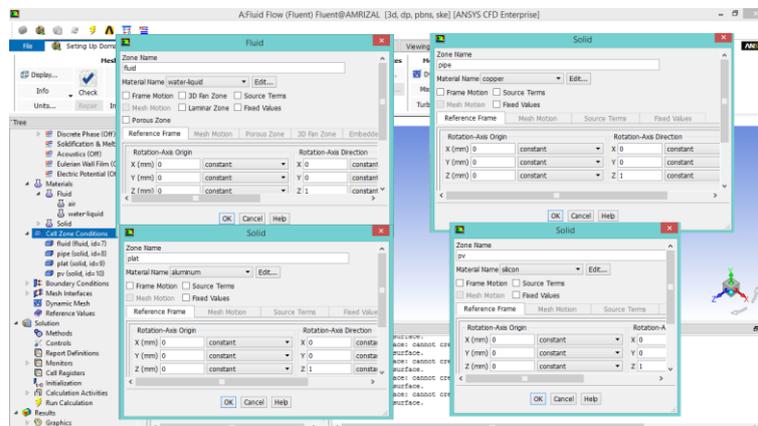
Pengaturan selanjutnya ialah pada gambar 3.9 menentukan material pada panel surya, plat kolektor dan pipa dengan material *silicon*, aluminium serta *copper* kemudian *sytrofoam* untuk *insulated-wall*.



Gambar 3.9 Setup Material Solid PV/T Hybrid

d. *Cell zone conditions*

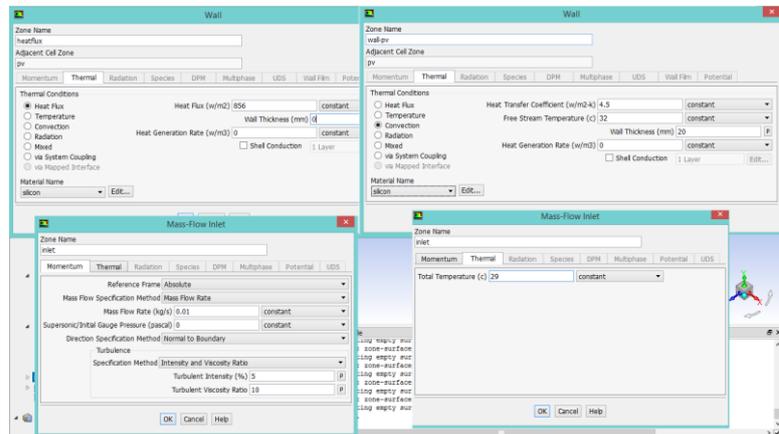
Tahap ini di ilustrasikan pada gambar 3.10 dilakukan untuk memastikan bahwa material yang digunakan pada panel surya PV/T *hybrid* sudah sesuai dengan yang di inginkan.



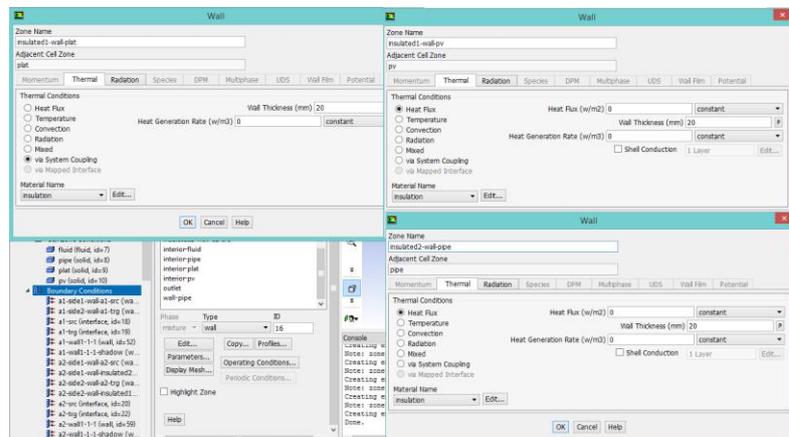
Gambar 3.10 Setup Cell Zone Conditions PV/T Hybrid

e. *Boundary Conditions*

Pada tahap ini, seluruh kondisi batas mulai dari *heatflux*, *inlet* dan temperatur aliran fluida dapat di tentukan serta mengatur ketebalan dinding isolasi yang di ilustrasikan pada gambar 3.11 dan gambar 3.12. Pengaturan *boundary conditions* harus sesuai dengan kondisi batas yang dilakukan secara eksperimen baik dari kondisi kecepatan alir serta temperatur lingkungan sekitar.



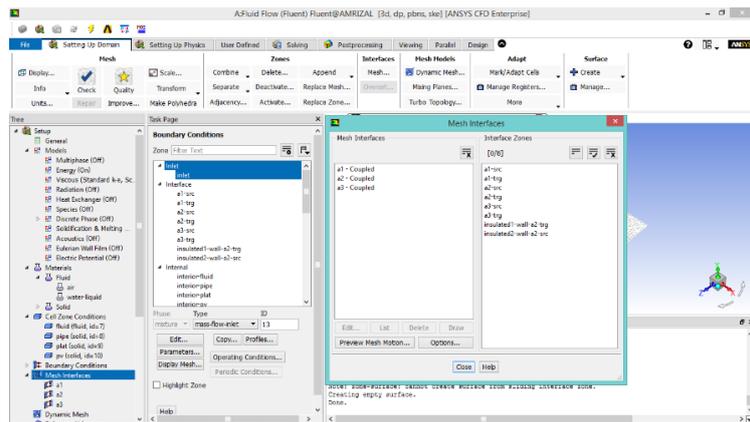
Gambar 3.11 Setup Boundary Conditions PV/T Hybrid



Gambar 3.12 Setup Boundary Conditions PV/T Hybrid

f. Mesh Interface

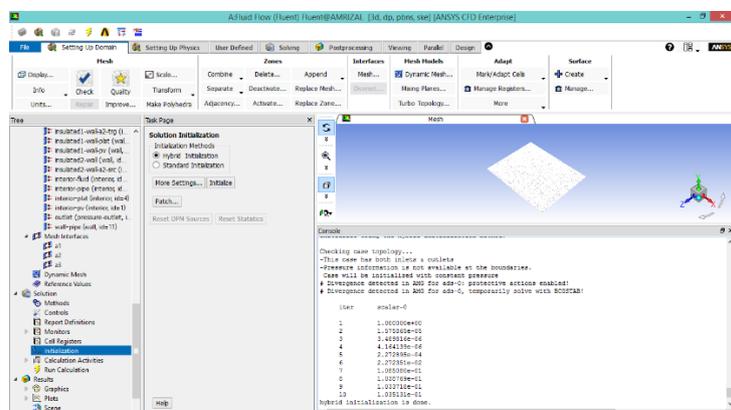
Tahap ini merupakan terakhir sebelum melakukan *running* simulasi. Pada gambar 3.13 di ilustrasikan setiap bagian atau *parts* harus saling terhubung agar saling terkoneksi menjadi suatu bagian baru.



Gambar 3.13 Setup Mesh Interface PV/T Hybrid

g. Solution Initialization

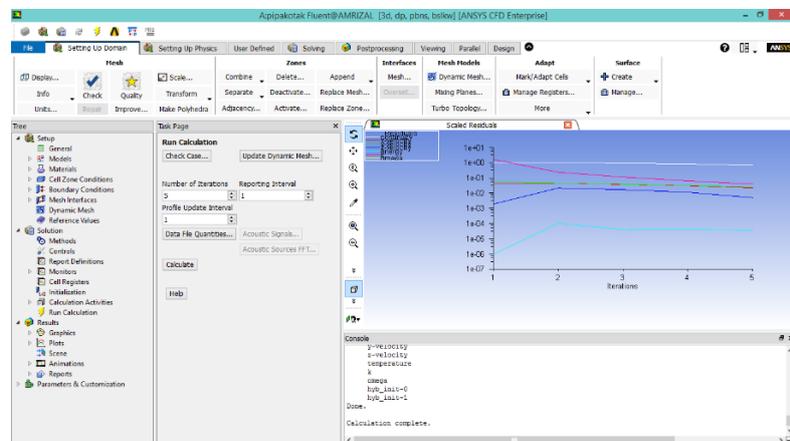
Pada tahap ini seluruh kondisi batas serta proses *meshing* akan dilakukan pengecekan kembali untuk memastikan tidak terdapat *error* pada saat proses komputasi, sehingga proses simulasi dapat dilakukan dengan baik.



Gambar 3.14 Setup Iniliatization PV/T Hybrid

h. Run Calculations

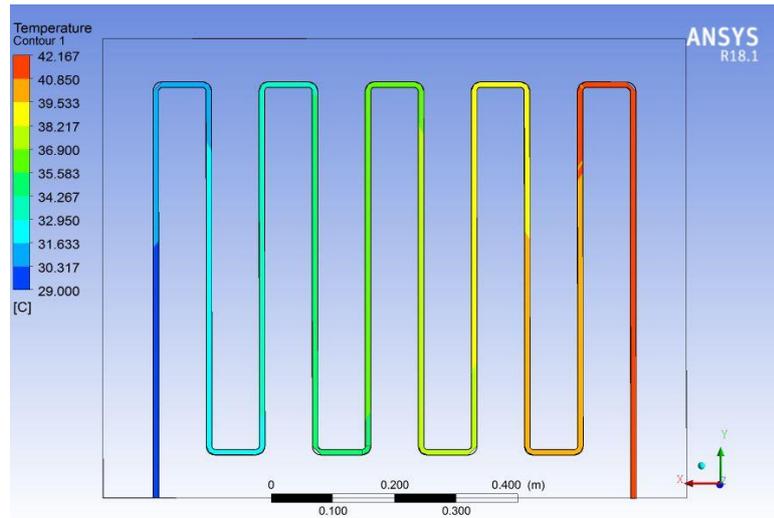
Tahap ini yang di ilustrasikan pada gambar 3.15 merupakan tahap terakhir dari *solver*. Pada tahap ini akan ditampilkan mengenai grafik penggunaan energi serta proses iterasi hingga nilai maksimal dari hasil simulasi. Dengan melakukan tahap ini, kontur serta animasi dari objek simulasi dapat di visualisasikan.



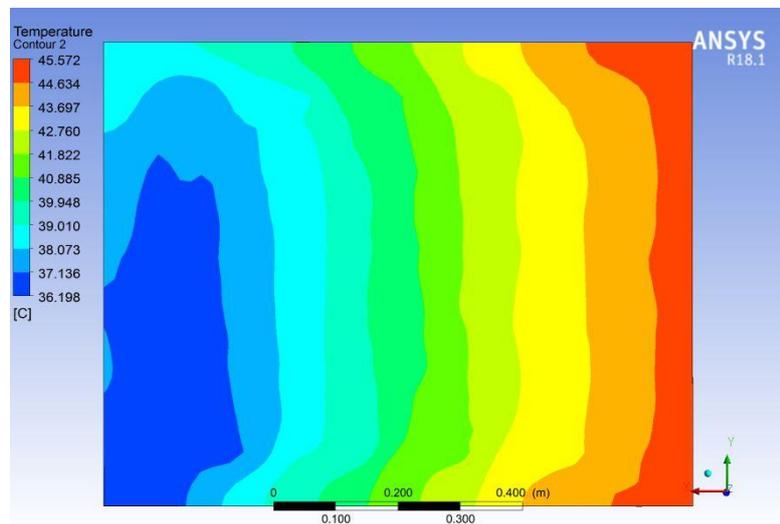
Gambar 3.15 Setup Calculation PV/T Hybrid

3.2.3.3 Tahap Post-Processing

Pada tahap ini merupakan 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 yang di ilustrasikan pada gambar 3.16 dan gambar 3.17



Gambar 3.16 Kontur Fluida PV/T Hybrid



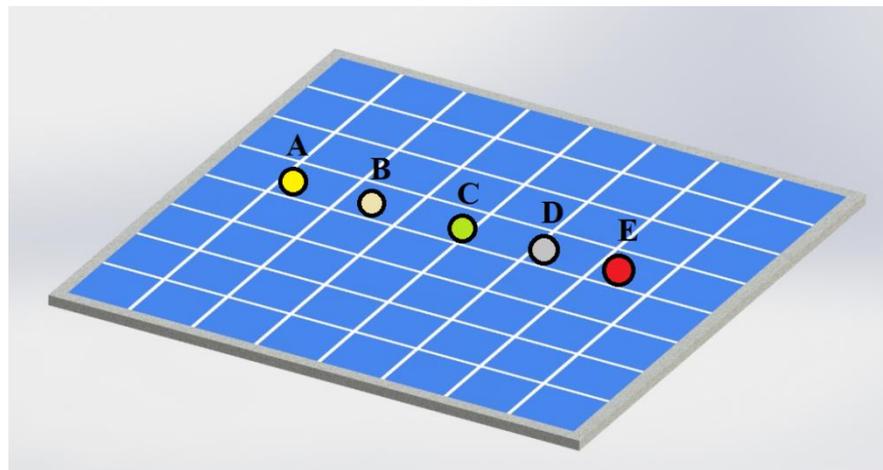
Gambar 3.17 Kontur Permukaan PV/T Hybrid

3.3 Proses Validasi dan Pengembangan Simulasi

Pada alur penelitian yang telah ditentukan, proses simulasi panel surya PV/T *hybrid* dengan perangkat lunak *Ansys version 18.1* harus di validasi dengan pengujian secara eksperimen di lab. termo Universitas Lampung. Proses validasi dilakukan untuk mengetahui hasil simulasi

3.3.1 Validasi pada kontur eksperimen dan simulasi

Untuk mengecek kontur pada permukaan panel surya, seperti pada gambar 3.18 akan di pasang tiga termokopel yang sudah ditentukan titiknya untuk mengetahui suhu di permukaan panel surya. Setelah memperoleh suhu di permukaan panel surya pada eksperimen akan dibandingkan dengan kontur panel surya pada simulasi.



Gambar 3.18 Titik pemasangan termokopel PV/T Hybrid

3.3.1 Validasi Suhu fluida Masuk dan Keluar

Pada penelitian ini digunakan variasi temperatur eksperimen sebanyak 4 buah yaitu 27°C, 32°C, 37°C, 42°C setelah di uji dengan besaran radiasi sebesar 897.75 W/m² maka dilihat dengan termokopel yang masing masing di letakan pada inlet dan outlet dari aliran fluida maka akan dilihat perbedaan temperatur keluaran dari masing masing variasi. Setelah melakukan eksperimen maka akan di bandingkan hasilnya dengan hasil simulasi dengan perangkat lunak *Ansys* dan analisis kecocokan tren grafiknya.

3.3.2 Validasi Analisa terhadap penurunan tekanan (ΔP)

Validasi selanjutnya ialah dengan melihat hasil penurunan tekanan pada fluida masuk dengan pipa bundar pada eksperimen dan hasil simulasi serta laju aliran sebesar $\dot{m} = 0.01 \text{ kg/s}$.

3.3.3 Pengembangan eksperimen dengan *Ansys simulation*

Setelah proses validasi dilakukan, maka penelitian dilanjutkan untuk melakukan pengembangan dengan pemodelan panel surya PV/T *hybrid* dengan aliran berkelok serta jenis pipa alir hollow dengan dimensi yang serupa dengan pipa bundar. Pengembangan bertujuan untuk melihat pengaruh perbedaan termal pada permukaan panel surya PV/T *hybrid* serta penggunaan nano fluida sebagai pengembangan dari pengganti *water-basefluid* kemudian dilakukan analisa terhadap *pressure drop*.

3.4 *Nanofluid-Al₂O₃ Material Properties Ansys Simulation*

Konduktivitas termal Nano Partikel = 36 W/mK

Konduktivitas termal *water-basefluid* = 0.6 W/mK

Densitas Nano Partikel = 3900 Kg/m³

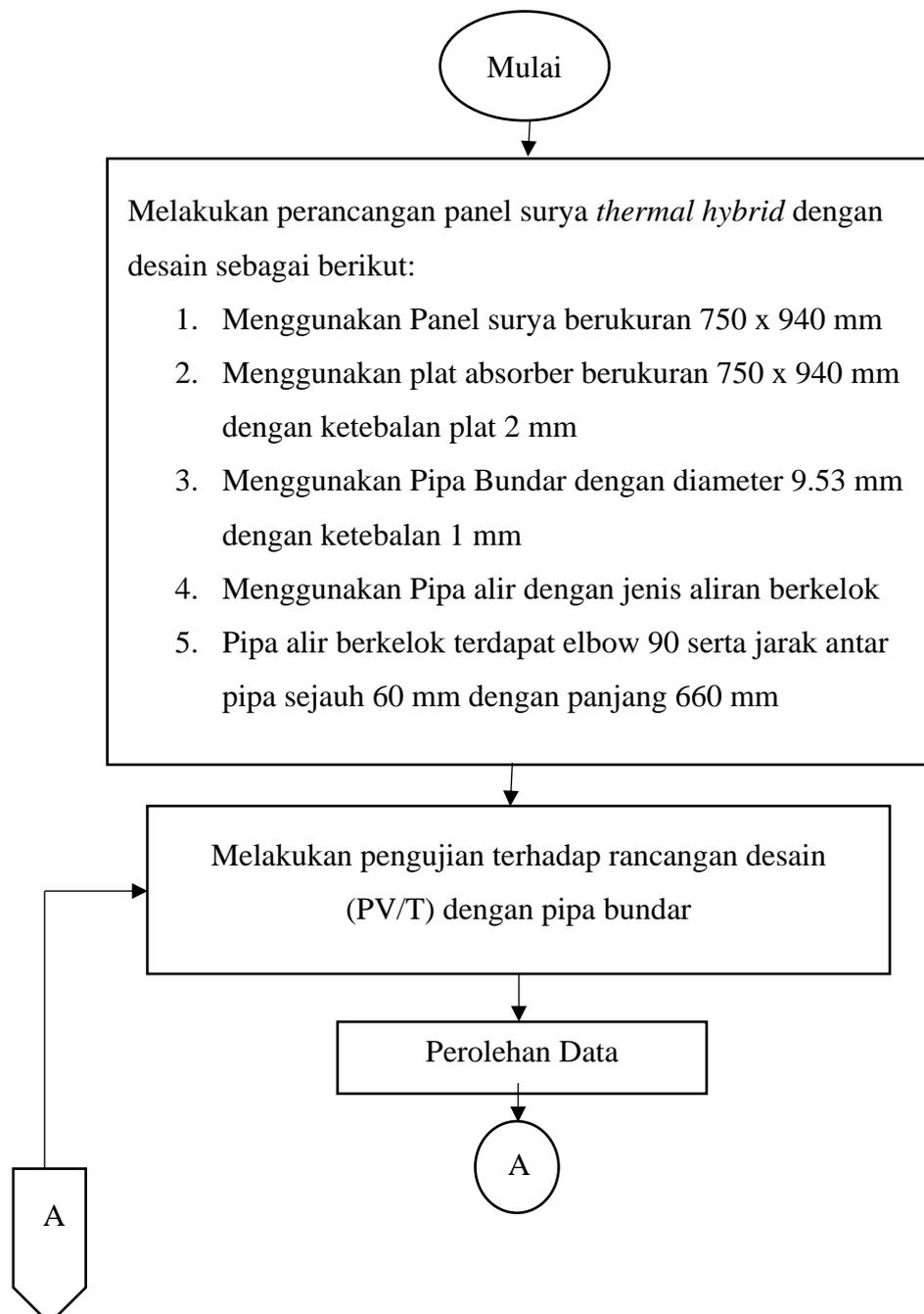
Densitas *water-basefluid* = 998.2 Kg/m³

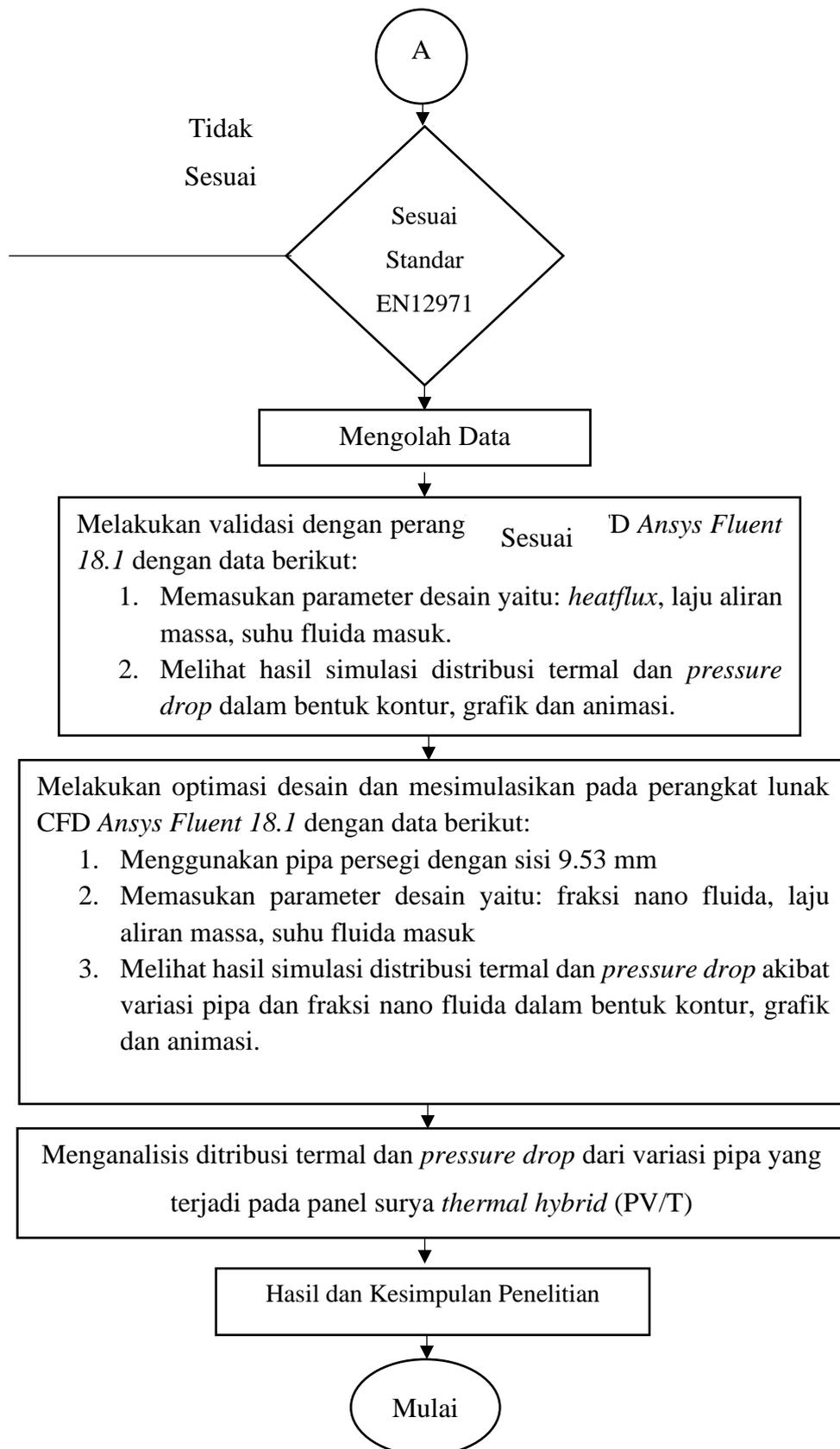
Tabel 3.2 Spesifikasi NanoFluida Al₂O₃

	Nanofluid-Al ₂ O ₃ 0.6%	Nanofluid-Al ₂ O ₃ 0.8%	Nanofluid-Al ₂ O ₃ 1.2%
Konduktivitas Termal (W/mK)	0.8124	1.0248	1.2372

Densitas (Kg/m^3)	1015.610	1033.021	1050.432
Panas Spesifik (J/KgK)	4105.920	4032.406	3961.328
Viskositas Dinamis (Ns/m^2)	0.00101804	0.00103309	0.001048135

3.5 Diagram Alir Metodologi Penelitian





Gambar 3.19 Diagram Alir Penelitian

V. PENUTUP

5.1 Simpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan *Ansys Simulation* dapat digunakan untuk melakukan pengembangan dan optimasi penelitian, berdasarkan validasi data eksperimen dan hasil simulasi terdapat beda suhu outlet sebesar 2.3°C dan beda suhu permukaan sebesar 20°C serta memiliki kecendrungan (*trendline*) yang serupa.
2. Untuk PV/T hybrid dengan diameter hidraulik pipa 9.53 mm, penggunaan pipa persegi mampu meningkatkan efisiensi termal sebesar 3.58% dari pipa bundar dengan *water-basefluid*.
3. Terdapat kenaikan nilai *pressure drop* pada penggunaan pipa persegi untuk mengalirkan *water-basefluid* sebesar 67.6 Pa atau 11.49% dari pipa bundar yang memiliki nilai 498.23 Pa.
4. Penggunaan *nanofluid-Al₂O₃* sebagai fluida alir dengan fraksi 0.6%, 1.2%, 1.8% pada pipa persegi dapat meningkatkan suhu outlet sebesar 0.257°C .

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan guna pengembangan penelitian selanjutnya ialah sebagai berikut:

1. Perlu diperhatikan *assembly* dari desain yang akan dirancang, keterbatasan alat pasang dan kualitas bahan sangat mempengaruhi hasil akhir pengujian.
2. Penggunaan fluida yang lebih bervariasi seperti minyak atau oli, dapat digunakan untuk melihat efektivitas dari fluida alir.

DAFTAR PUSTAKA

- A, Soteris. 2004. Solar Thermal Collectors and Applications. Higher Technical Institute. Cyprus
- Chow TT, Hand JW, Strachan PA. 2003. *Building-integrated PV and thermal applications in a subtropical hotel building*. doi.org/10.1016/S1359-4311(03)00183-2
- H, Haloui. 2015. Analysis of a Hybrid Solar Collector Photovoltaic Thermal (PVT). Universite Hadj Lakhdar. Algeria
- Jidhesh, P. 2016. Effect of Nano Fluids in Solar Flat Plate Collector Systems. Sri Ramakrishna Engineering College. India
- K. Sandeep. 2016. Solar Energy Potential and Future Prospects. The Federal University of Technology. Nigeria
- Kotwal, H. 2013. CFD Analysis of Shell and Tube Heat Exchanger. International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)

M. Larry. 2010. *Solar Cells and Their Applications*. Jhon Wiley and Sons. New York.

NREL. Photovoltaic Thermal New Technology Demonstration. United States General Services Administration. United States

R. Petela. 2010. *Engineering Thermodynamics of Thermal Radiation*. The McGraw-Hill Companies. New York

Souissa, M. 2009. *Proyeksi Potensi Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan (Studi Wilayah Ambon dan Sekitarnya)*. Universitas Pattimura. Ambon

Vinoth, R. 2014. *Enhancement of Heat Transfer Rate in a Solar Flat Plate Collector Using Twisted Tapes and Wire Coiled Turbulators*. World Academy of Science. Italy

Y. Aiman. 2014. *Heat Transfer of Alumunium-Oxide Nanofluids in a Compact Heat Exchanger*. Universiti Kuala Lumpur Malaysian. Malaysia

Yianoulis, P. 2001. *Hybrid Photovoltaic/Thermal Solar System*. University of Patras. Greece

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