PENGARUH VARIASI PENAMPANG PIPA PERSEGI TERHADAP UNJUK KERJA TERMAL DAN *PRESSURE DROP* KOLEKTOR SURYA PELAT DATAR MENGGUNAKAN METODE CFD

(Skripsi)

Oleh:

ANGELIA EKA SALSABILLAH
1615021018

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG

2021

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI PENAMPANG PIPA PERSEGI TERHADAP UNJUK KERJA TERMAL DAN PRESSURE DROP KOLEKTOR SURYA PLAT DATAR MENGGUNAKAN METODE CFD

Oleh
ANGELIA EKA SALSABILLAH

Penelitian unjuk kerja kolektor surya masih terus berlanjut hingga saat ini dengan tujuan untuk menemukan metode penelitian yang ekonomis dengan hasil optimal. Metode yang dapat mempermudah penelitian tersebut salah satunya adalah Komputasional Dinamika Fluida (CFD). Metode CFD memberikan kemudahan dalam analisis karakteristik perpindahan panas fluida serta analisis tekanan yang terjadi pada kolektor surya. Seperti pada penelitian ini yang memanfaatkan metode CFD yang kemudian menghasilkan grafik residual dengan nilai yang konvergen.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi penampang pipa persegi terhadap unjuk kerja termal dan pressure drop kolektor surya plat datar. Variasi tersebut terletak pada lebar pipa, jarak antar pipa, dan tinggi pipa. Intensitas cahaya yang digunakan adalah 960,0 W/m2 dengan laju aliran massa fluida 0,01 kg/s. Efisiensi termal tertinggi terjadi pada variasi pipa dengan lebar 24 mm, tinggi 7 mm yaitu sebesar 69,56% dengan nilai Ts avg 36,079^{o}C dan tekanan fluida 171,65 Pa. Pada variasi jarak elbow 90^{o} dengan jarak antar pipa 43,5 mm menghasilkan nilai tekanan fluida tertinggi 605,56 Pa. Dimensi geometri pipa dengan variasi tinggi 14 mm menghasilkan nilai efisiensi termal yang cukup baik sebesar 69,77% serta nilai tekanan fluida 155,34 Pa.

Kata kunci: Kolektor surya, Efisiensi termal, Tekanan fluida dan Metode CFD

ABSTRACT

THE EFFECT OF CROSS-SECTIONAL VARIATIONS ON SQUARE PIPES ON THERMAL PERFORMANCE AND PRESSURE DROP OF FLAT PLATE SOLAR COLLECTORS USING THE CFD METHOD

By
ANGELIA EKA SALSABILLAH

Research on the performance of solar collectors is still ongoing today with the aim of finding economic research methods with optimal results. One method that can facilitate the research is Computational Fluid Dynamics (CFD). The CFD method provides convenience in the analysis of fluid heat transfer characteristics and pressure analysis that occurs in the solar collector. As in this study, which utilizes the CFD method which then produces a residual graph with convergent values.

The purpose of this study was to determine the effect of variations in the cross section of a square pipe on the thermal performance and pressure drop of a flat plate solar collector. The variation lies in the width of the pipe, the distance between the pipes, and the height of the pipe. The light intensity used is 960.0 W/m2 with a mass flow rate of 0.01 kg/s fluid. The highest thermal efficiency occurs in the variation of the pipe with a width of 24 mm, height 7 mm which is 69.56% with a Ts avg value of 36.079^{o}C and a fluid pressure of 171.65 Pa. At 90^{o} elbow distance variation with 43.5 mm pipe spacing produces the highest fluid pressure value of 605.56 Pa. The pipe geometry dimension with a height variation of 14 mm produces a fairly good thermal efficiency value of 69.77% and a fluid pressure value of 155.34 Pa.

Keywords: Solar collector, Thermal efficiency, Fluid pressure and CFD Method

PENGARUH VARIASI PENAMPANG PIPA PERSEGI TERHADAP UNJUK KERJA TERMAL DAN *PRESSURE DROP* KOLEKTOR SURYA PELAT DATAR MENGGUNAKAN METODE CFD

Oleh
ANGELIA EKA SALSABILLAH

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Lampung

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021

Judul Skripsi	:	**PENGARUH VARIASI PENAMPANG PIPA PERSEGI TERHADAP UNJUK KERJA TERMAL DAN *PRESSURE DROP* KOLEKTOR SURYA PELAT DATAR MENGGUNAKAN METODE CFD**
Nama Mahasiswa	:	*Angelia Eka Salsabillah*
Nomor Pokok Mahasiswa	:	**1615021018**
Jurusan	:	**Teknik Mesin**
Fakultas	:	**Teknik**

MENYETUJUI

Kumis Pembimbing

Amrizal, S.T., M.T.,Ph.D.	**Dr. Amrul, S.T., M.T.**
NIP. 19700202 19980310 04	NIP. 19710331 19990310 03

Ketua Jurusan	Kepala Program Studi
Teknik Mesin	S1 Teknik Mesin
Dr. Amrul, S.T., M.T.	**Novri Tanti, S.T., M.T.**
NIP. 19710331 19990310 03	NIP. 19701104 199703 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

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

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

2. Dekan Fakultas Teknik

Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.
NIP. 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **21 Juni 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.

Bandar Lampung, 21 Agustus 2021
Yang Membuat Pernyataan

Angelia Eka Salsabillah
NPM. 1615021018

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Sumatera Selatan, Palembang pada tanggal 26 November 1999 sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan bapak Sabdullah dan ibu Erni Nurhayati.

Pendidikan pertama yang dijalani oleh penulis yaitu Taman Kanak-Kanak (TK) Mustaqol Khair Palembang pada tahun 2003, kemudian dilanjutkan dengan tingkat Sekolah Dasar (SD) yang diseleasaikan di SDN 205 Palembang pada tahun 2010. Pada tahun 2010 penulis melanjutkan diterima di Sekolah Menengah Pertama (SMP) N 34 Palembang. Namun, hanya berlangsuung beberapa bulan dan dikarenakan keinginan orang tua penulis dipindahkan ke Madrasah Tsanawiah dan dilanjutkan di Pondok Pesantren Amalul Khoir Palembang selama kurang lebih 1 tahun. Tidak hanya sampai disini penulis kemudian pada kelas 2 SMP harus melakukan pindah sekolah untuk ketiga kali nya dengan suatu alasan. Sehingga, pendidikan Sekolah Menengah Pertama penulis diselesaikan di SMP Muhammadiyah 7 Palembang pada tahun 2013 dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA YPI Tunas Bangsa Palembang diselesaikan pada tahun 2016.

Tahun 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 Dana dan Usaha HIMATEM yang kemudian dilanjutkan pada tahun 2018 Sebagai Pengurus Inti yaitu Sekretaris Umum HIMATEM. Pada Tahun 2019 awal penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata di desa Batu Ketulis, Lampung Barat dan pada 2019 akhir penulis melakukan Kerja Praktek di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dengan topik yang

dibahas “Perhitungan Unjuk Kerja Kompresor Torak GB-101 A pada Unit Pusri 3 PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang”. Pada tahun 2020 pertengahan penulis mulai melakukan penelitian dengan membaca studi literatur dan memperalajari *software Ansys* dan melakukan simulasi panel surya dibawah bimbingan Bapak Amrizal, S.T.,M.T.,Ph.D selaku pembimbing pertama dan Bapak Amrul, S.T.,M.T selaku pembimbing kedua penulis.

Motto

Jangan kuatir tentang hari esok, karena segala yang terbaik sudah tuhan siapkan bagimu.

Bukan bahagia yang menjadikan kita bersyukur , tetapi dengan bersyukurlah yang akan membuat hidup kita bahagia.

Janga lelah mencoba. Tidak ada jaminan kesuksesan, tetapi memilih untuk tidak mencoba adalah jaminan kegagalan.

Jiwa yang bahagia adalah pelindung terbaik untuk dunia yang kejam - Atticus

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. 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 sebuh 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 panel 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. Orang tua penulis, Erni Nurhayati yang selalu mendampingi dan mendoakan penulis sehingganya penulis dapat tetap bersemangat dalam menjalankan studi Teknik Mesin.
2. Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung beserta staff dan jajarannya.
3. Dr. Amrul, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

4. Novri Tanti, S.T., M.T. selaku Kepala Prodi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Dr. Amrizal, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I yang telah bersedia mendidik dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
6. Dr. Amrul, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah bersedia membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
7. Dr. M. Irsyad, S.T., M.T selaku Dosen Penguji dalam skripsi ini. Terimaksih untuk masukan dan saran-saran pada seminar proposal dan hasil terdahulu.
8. Hadi Prayitno, S.T.,M.T selaku dosen pembimbing diluar skripsi yang selalu memberikan motivasi dan arahan kepada penulis.
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. Najla Dwi Salwadillah selaku adik penulis dan seluruh keluarga penulis yang telah memberikan dukungan.
12. Tim Laboratorium Termodinaka: rizal khairudin, joko prasetyo dan Abdurrahman yang selalu memberikan semangat pada penulis.
13. Dame, Ranti, Panji, Randa, Komti 2016 serta teman-teman Angkatan 2016 yang selalu mendengarkan keluhan, memberikan motivasi, dan memberi dorongan semangat. Semoga kebersamaan kita tetap terjaga.
14. Bang Danar, bang Amrizal dan bang Angga selaku mentor dalam penyelesaian skripsi ini.
15. Anggota kamar 311 Rusunawa Unila : Etri Putriana S.T; Tiara Kintani S.T, Chyntia Trivio dan Detri Manda Vicky yang selalu menghibur penulis.
16. 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.

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, 21 Agustus 2021
Penulis,

Angelia Eka Salsabillah
NPM. 1615021018

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI ..... **i**
DAFTAR TABEL ..... **iii**
DAFTAR GAMBAR ..... **iv**

I. PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Tujuan Penelitian 3
1.3 Batasan Masalah 4
1.4 Sistematika Penulisan 4

II. TINJAUAN PUSTAKA **6**
2.1 Energi fosil 6
2.2 Energi Terbarukan 6
2.2.1 Matahari 7
2.3 Panel Surya 7
2.3.1 Struktur Panel Surya 7
2.3.2 Prinsip Kerja Panel surya 8
2.4 Kolektor Surya 9
2.4.1 Kolektor Pelat Datar 9
2.4.2 Kolektor Parabola 10
2.4.3 *Evacuated Tube Collector* 11
2.5 Panel Surya *Thermal Hybrid* 11
2.6 Jenis Aliran Panel Surya *Thermal Hybrid* Plat Datar 12
2.6.1 Aliran *Serpentine* 12
2.6.2 Aliran Paralel 13
2.7 Persamaan Dasar Sistem Kolektor Pelat Datar 13
2.7.1 Persamaan Dasar Kolektor Termal Pelat Datar 13
2.7.2 Koefisien Kerugian Perpindahan Panas Menyuluruh 14
2.8 Efisiensi Kolektor Surya 16
2.9 Perpindahan Panas 17
2.9.1 Konduksi 17
2.9.2 Konveksi 18
2.9.3 Radiasi 19
2.10 Pressure drop 19
2.11 Metode *Computing Fluid Dynamic* 20
2.11.1 *Pre-processing* 20

2.11.2 Tahap *solver* 22
2.11.3 *Post-Processing* 25
2.12 Standar Pengujian EN-12975 25

III. METODOLOGI PENELITIAN 27
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian 27
3.1.1 Tempat Penelitian 27
3.1.2 Waktu Peneitian 27
3.2 Parameter Penelitian 28
3.2.1 Data Eksperimen 28
3.2.2 Simulasi Unjuk Kerja 28
3.3 Perancangan Desain Geometri Pipa 29
3.3.1 Variasi geometri berdasarkan jarak antar pipa dalam 29
3.3.2 Variasi geometri berdasarkan lebar pipa persegi 30
3.3.3 Variasi geometri berdasarkan tinggi pipa persegi 30
3.4 Metode CFD 31
3.4.1 *Pre-processing* 31
3.4.2 *Solution* 32
3.4.3 *Post Processing* 33
3.5 Proses Perpindahan Panas pada Simulasi 34
3.6 Diagram Alir 36
3.7 Validasi dan Simulasi 37
3.7.1 Validasi Simulasi 37
3.7.2 Simulasi Unjuk Kerja Kolektor 38

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN 39
4.1 Validasi Data Eksperimen 39
4.1.1 Validasi Temperatur Masuk Fluida Kerja Pipa Persegi 42
4.1.2 Validasi Temperatur Permukaan dari Panel Surya PV/T 43
4.1.3 Validasi Nilai *Pressure* Pipa Persegi 45
4.2 Pengembangan Penelitian dengan Simulasi *Discovery Aim* 46
4.2.1 Pengembangan Simulasi dengan Mengubah Jarak antar Pipa Dalam 46
4.2.2 Pengembangan Simulasi dengan Mengubah Lebar dari Pipa Persegi 52
4.2.3 Pengembangan Simulasi dengan Mengubah Tinggi dari Pipa Persegi 57

V. SIMPULAN DAN SARAN 64
5.1 Simpulan 64
5.2 Saran 65

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel **Halaman**

2.1. Standar Parameter Pengujian (EN 12975, 2006) 26

3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian 27

4.1. Data hasil eksperimen dengan variasi temperatur masuk fluida alir..... 39

4.2. Data hasil temperatur masuk dan keluar fluida kerja (air) secara eksperimen dan simulasi 42

4.3. Data hasil temperatur permukaan panel surya $Ts_{(avg)}$ secara eksperimen dan simulasi 44

DAFTAR GAMBAR

Gambar **Halaman**

2.1. Struktur penyusun panel surya (Pahlevi, 2014). 8
2.2. Mekanisme foton menumbuk lapisan semikonduktor (Tibob,2017). 8
2.3. Kolektor plat datar (Kalogirou, 2004)..... 10
2.4. Kolektor parabola (Ajiwiguna, 2014). 10
2.5. Evacuated tube collectors (Mintorogo, 2004). 11
2.6. Aliran serpentine pada plat datar (James,2015). 12
2.7. Aliran paralel pada plat datar (Mustofa,2014). 13
2.8. Distribusi suhu untuk kondisi dinding datar (Incropera,2007) 17
2.9. Perpindahan panas konveksi dari permukaan panas ke udara (Incropera,2007)..... 18
2.10. Geometri kolektor surya pipa persegi 21
2.11. Hasil meshing kolektor surya pipa persegi 21
2.12. Toolbar menu general 22
2.13. Toolbar menu materials..... 23
2.14. Toolbar boundary conditions 24
2.15. Toolbar solution initializition..... 24
2.16. Hasil kontur fluida..... 25
3.1. Geometri kolektor surya ellbow 90^{o} dan W = 87 mm 28
3.2. Geometri variasi jarak..... 29
3.3. Geometri variasi lebar..... 30
3.4. Geometri variasi tinggi..... 30
3.5. Desain kolektor surya..... 31
3.6. Hasil meshing..... 32

3.7. Set up bondary condition 33

3.8. Results 34

3 9. Stuktur geometri kolektor surya 34

3.10. Diagram alir penelitian 36

4.1. Kontur T_{out} fluida didalam pipa persegi dengan temperatur inlet 27^{o}C 40

4.2. Kontur permukaan PV/T pada temperatur inlet fluida 27^{o}C 41

4.3. Grafik perbandingan temperatur keluaran fluida kerja didalam pipa persegi secara simulasi dan eksperimen 43

4.4. Grafik perbandingan temperatur permukaan PV/T secara simulasi dan eksperimen 45

4.5. Hasil kontur tekanan fluida didalam pipa persegi 46

4.6. Kontur T_{out} fluida didalam pipa persegi dengan variasi jarak pada temperatur inlet 27^{o}C 47

4.7. Grafik perbandingan temperatur keluaran fluida dengan variasi jarak antar pipa 48

4.8. Kontur permukaan PV/T dengan variasi jarak 43,5 mm pada temperatur inlet fluida 27^{o}C 49

4.9. Grafik perbandingan $T_{s\ (avg)}$ dengan variasi jarak antar pipa pada temperatur inlet fluida 27^{o}C 50

4.10. Hasil kontur tekanan fluida didalam pipa persegi menggunakan variasi jarak 43,5 mm 51

4.11. Grafik perbandingan kontur tekanan fluida menggunakan variasi jarak antar pipa 52

4.12. Kontur T_{out} fluida didalam pipa persegi menggunakan variasi lebar pada temperature inlet fluida 27^{o}C 53

4.13. Grafik perbandingan T_{out} fluida didalam pipa persegi dengan variasi lebar pipa pada temperatur inlet fluida 27^{o}C 54

4.14. Kontur permukaan PV/T dengan variasi lebar 6 mm pipa persegi pada temperatur inlet fluida 27^{o}C 54

4.15. Grafik perbandingan $T_{s\ (avg)}$ dengan variasi lebar pipa pada temperatur inlet fluida 27^{o}C 55

4.16. Hasil nilai kontur tekanan fluida didalam pipa persegi menggunakan variasi lebar pipa 6 mm 56

4.17. Grafik perbandingan kontur tekanan fluida menggunakan variasi lebar pipa persegi 56

4.18. Grafik perbandngan nilai tekanan fluida berdasarkan hasil simulasi dan teoritis 57

4.19. Kontur T_{out} fluida didalam pipa persegi dengan variasi tinggi pipa pada temperatur inlet fluida 27^{o}C 59

4.20. Grafik perbandingan kontur T_{out} fluida dengan variasi tinggi pipa pada temperatur inlet fluida 27^{o}C 60

4.21. Kontur permukaan PV/T dengan variasi tinggi 3,5 mm pipa pada temperatur inlet fluida 27^{o}C 60

4.22. Grafik perbandingan $T_{s\ (avg)}$ dengan variasi tinggi pipa pad temperatur inlet fluida 27^{o}C 61

4 23. Hasil nilai kontur tekanan fluida dengan variasi tinggi 3,5 mm pipa persegi 62

4.24. Grafik perbandingan kontur tekanan fluida dengan variasi tinggi pipa persegi 63

4.25. Grafik perbandngan nilai tekanan fluida berdasarkan hasil simulasi dan teoritis. 63

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya kebutuhan energi saat ini berdampak pada menipisnya cadangan bahan bakar fosil yang tersedia. Peningkatan ini berpengaruh pada tingginya laju pemanasan global yang terjadi di Indonesia akibat penggunaan energi yang berlebih dari bahan bakar fosil. Hal tersebutlah yang mendasari para peneliti untuk terus mengembangkan penelitian mengenai energi *alternative* yang dapat terus diperbaharui (*renewable resources*). Energi *alternative* menjadi upaya yang sangat tepat dalam menekannya peningkatan pemanasan global dan krisis energi yang terjadi di Indonesia. Salah satu Energi *alternative* yang memiliki potensi cukup besar di Indonesia yaitu energi matahari

Matahari dapat memancarkan energi hampir empat juta exajoule (1 EJ = 10^{18} J) dengan intensitas radiasinya sepanjang hari dan energi yang sampai ke bumi sekitar 5 x 10^{4} EJ. Secara teoritis dengan jumlah energi sebesar itu mampu untuk memenuhi kebutuhan energi seluruh dunia jika teknologi untuk menangkap dan memanfaatkannya sudah tersedia (Kabir, 2018). Untuk memanfaatkan energi surya sebagai energi alternatif maka ada 3 (tiga) teknologi yang dapat digunakan sebagai alat penunjang dalam menghasilkan energi terbarukan. Teknologi baru yang dapat menunjang untuk pemanfaatan energi surya adalah panel surya.

Panel surya merupakan teknologi yang dikembangkan untuk menangkap radiasi cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik secara langsung dengan bantuan kepingan sel surya yang disusun secara seri dalam satu *frame*. Dalam satu panel surya terdiri dari 36 keping sel surya yang mampu menghasilkan tegangan

sebesar 16 V sehingga mampu mensuplai aki sebesar 12 V. Pada saat panel surya digunakan maka panel surya maka panel surya akan terpapar panas matahari secara langsung yang memicu terjadinya peningkatan *temperature* pada permukaan panel surya yang mempergaruhi efisiensi elektrikalnya. Menurut (Chow, 2003) panel surya yang terpapar matahari secara terus-menerus akan menurunkan efesiensi elektrikal sebesar 0,45% setiap kenaikan temperatur kerja 1^oC.

Penurun dari efisiensi elektrikal menjadikan salah satu pemicu dikembangkannya teknologi baru guna mengurangi peningkatan temperatur kerja yang terjadi akibat paparan dari radiasi cahaya matahari. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahannya yaitu menggunakan *photovoltaic thermal* (PV/T). *Phovovoltaic thermal* (PV/T) merupakan teknologi yang menggabungkan dua *system* dalam satu *frame*, sehingga paparan panas yang disebabkan oleh radiasi cahaya matahari dapat diminimalisir. Kolektor surya yang banyak dikembangkan yaitu kolektor pelat datar atau disebut juga *flat-plate collectors* (FPC). Hal ini dikarenakan kolektor pelat datar dapat dengan mudah diaplikasikan, dengan desain yang sederhana serta lebih mudah untuk melakukan perpindahan panas secara merata. Pengujian yang menggunakan *flat-plate collectors* (FPC) banyak dilakukan dengan memodifikasi material, desain serta membuat susunan konfigurasi pipa alir fluida penyerap panas baik tipe parallel maupun tipe *serpentine.*

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian terhadap kolektor surya salah satunya Allan et al. (2015) yang melakukan penelitian tentang kolektor surya dengan variabel susunan pipa tipe parallel dan tipe *serpentine*. Dari hasil penelitiannya unjuk kerja *photovoltaic thermal* (PV/T) dengan susunan pipa tipe *serpertine*, memiliki nilai koefisien kehilangan panas yang lebih baik 2,9% dibandingankan tipe parallel. Dengan begitu *photovoltaic thermal* (PV/T) menggunkan pipa tipe *serpentine* lebih efektif dibandingkan dengan tipe parallel.

Penelitian kolektor pelat datar terus menerus dikembangkan dengan harapan dapat menghasilkan unjuk kerja termal dan *pressure drop* yang baik. Sehingga,

penelitiannya terus berkembang seperti penelitian oleh Wahyono (2020) dengan memodifikasi material serta desain dari sistem *hybrid* dengan bentuk saluran pipa persegi berbahan alumunium *hollow* menghasilkan unjuk kerja termal sebesar 65,03% pada rata-rata temperatur permukaan panel 43,82^{o}C pada fluida kerja 27^{o}C dengan *pressure drop* sebesar 463,522 Pa.

Upaya dalam meningkatkan konvektivitas perpindahan panas akibat perlakuan fluida dasar terus dikembangkan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan perpindahan panas yang dihasilkan adalah dengan memperluas daerah perpindahan panas. Perubahan dari luas daerah perpindahan panas akan mempengaruhi jenis aliran sehingga mampu memberikan perbedaan efek turbulensi pada masing-masing geometri (Vinoth, 2014).

Penelitian yang akan dikembangkan berubah upaya untuk mempermudah melihat efisiensi unjuk kerja panel surya dari penelitian dengan menggunakan perangkat lunak *Computing Fluid Dynamic* (CFD). *Computing Fluid Dynamic* (CFD) merupakan salah satu cabang ilmu dinamika fluida yang mengaplikasikan metode numerik dan algoritma dalam memecahkan dan menganalisa masalah yang melibatkan aliran fluida dengan distribusi temperatur dan tekanan yang terjadi (Mahdi dan A. Smaili, 2017). Dengan dasar inilah perlu dilakukan simulasi unjuk kerja kolektor surya pelat datar dengan saluran pipa persegi berdasarkan analisis termal dan *pressure drop* menggunakan CFD *Discovery Aim* 20.1 agar didapatkan karakteristik unjuk kerjanya.

1.2 Tujuan Penelitian

Secara umum tujuan penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik unjuk kerja termal serta *pressure drop* dari kolektor surya pelat datar menggunakan metode *CFD*. Adapun tujuan khusus dari penilitian ini adalah:

1. Menvalidasi hasil simulasi menggunakan data secara eksperimen unjuk kerja kolektor surya menggunakan saluran pipa persegi.

2. Melakukan simulasi untuk mengetahui karakteristik unjuk kerja termal dan *pressure drop* kolektor surya pelat datar beradasarkan: variasi geometri penampang pipa persegi.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah ditujukan untuk memfokuskan peneliti dalam melakukan analisa, maka ruang lingkup penelitian ini adalah :

1. Validasi menggunakan parameter data eksperimen penelitian yang telah dilakukan oleh Danar sri (2020).
2. Variasi geometri dibedakan berdasarkan dimensi pipa yaitu lebar, tinggi, serta jarak antar pipa.
3. Simulasi yang dilakukan menggunakan kolektor surya pelat datar aliran *serpentine.*
4. Simulasi menggunakaan perangkat lunak *Discovery Aim* versi 19.2.
5. Simulasi dilakukan pada kondisi *steady state*.

1.4 Sistematika Penulisan

I. PENDAHULUAN

Pendahuluan terdiri dari latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

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

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian berisi hal-hal yang berhubungan dengan pelaksanaan pengujian seperti tempat dan waktu pelaksanaan, perancangan geometri, Diagram alir penelitian, prosedur penelitian serta simulasi dan validasi data ekperimen.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

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

V. SIMPULAN DAN SARAN

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

DAFTAR PUSTAKA

Daftar pustaka berisikan referensi yang dipergunakan penulis untuk menyelesaikan laporan penelitian.

LAMPIRAN

Lampiran berisikan pelengkap laporan penelitian serta data-data pengujian

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi fosil

Energi fosil digunakan untuk konversi energi. Hasil konversi energi tersebut dapat berupa energi mekanik, listrik dan panas. Salah satu hasil konversi energinya adalah pembangkit tenaga listrik. Listrik adalah salah satu bentuk energi yang ditimbulkan akibat dari pergerakan elektron. Listrik menjadi daya hidup yang vital bagi kehidupan di dunia ini. Terutama pada listrik di industri digunakan sebagai sumber tenaga penggerak mesin-mesin industri.

Bahan bakar fosil merupakan sumber energi utama yang digunakan saat ini. Namun, jika dikonsumsi secara berkepanjangan maka bahan bakar fosil akan terus menipis jumlahnya dan jika dikonsumsi secara berlebih dapat menyebabkan masalah lingkungan yang serius seperti polusi udara. Bahan bakar fosil merupakan sumber-sumber energi yang tidak dapat diperbaharui karena berasal dari fosil yang tidak akan terus tersedia setelah digunakan sepenuhnya. Bahan bakar fosil akan terus menipis dalam jumlah yang pesat. Bentuk bahan bakar fosil terdiri dari minyak bumi, batu bara dan gas alam

2.2 Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang bersumber dari alam dan dapat digunakan diproduksi tanpa harus menunggu jutaan tahun sepert energi konvensional. Jenis energi terbarukan berasal dari alam adalah matahari, panas bumi, angin, air dan berbagai bentuk dalam biomassa. Energi terbarukan diyakini ramah lingkungan larena mampu mengurangi tingkat pencemaran lingkungan dan kerusakan alam.

Berbagai jenis sumber energi terbarukan di Indonesia yang dapat dikelola serta jika dimanfaatkan dengan baik diyakini dapat menggantikan energi konvensional. Salah satu energi terbarukan yang cukup berpotensi untuk dikembangkan adal matahari.

2.2.1 Matahari

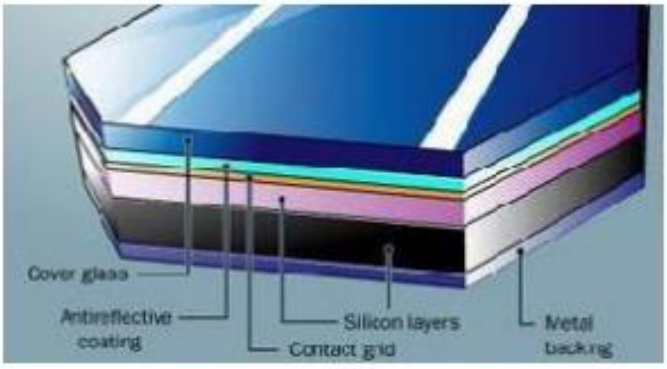
Pusat tata surya tersusun atas plasma panas yang bercampur dengan elektromaknetik yang memilki bentuk hampir bundar dikenal sebagai matahari. Matahari sendiri merupakan salah satu dari jutaan bintang yang memiliki energi total yang dipancarkan sebesar 3,8 x 10^{20} Mw dan yang diterima oleh bumi sekitar 1,7 x 10^{14} kW. Sumber ernergi yang dipancarkan matahari menjadi potensi besar untuk dikembangkan sebagai energi alternatif. Mengingat total penyinaran matahari di Indonesia dengan rata-rata 4,8 kWh/m^2 per harinya. Salah satu cara yang dapat memanfaatkan energi dari matarari yaitu menggunakan panel surya (Sasongko, 2019)

2.3 Panel Surya

Panel surya merupakan alat yang terdiri beberapa gabungan sel surya yang disusun secara paralel maupun seri. Panel surya dapat mengkonversikan radiasi panas melalui proses pelepasan elektron negatif dan positif yang dapat menghasilkan energi listrik. Hasil dari aliran elektron yang menjadi arus listrik DC dapat langsung diguakan untuk mengisi baterai atau aki. (Idzani Muttaqin, 2016).

2.3.1 Struktur Panel Surya

Panel surya terdiri dari beberapa gabungan modul surya yang terdiri dari beberapa sel surya yang disusun secara paralel maupun seri agar menghasilkan arus dan tegangan.

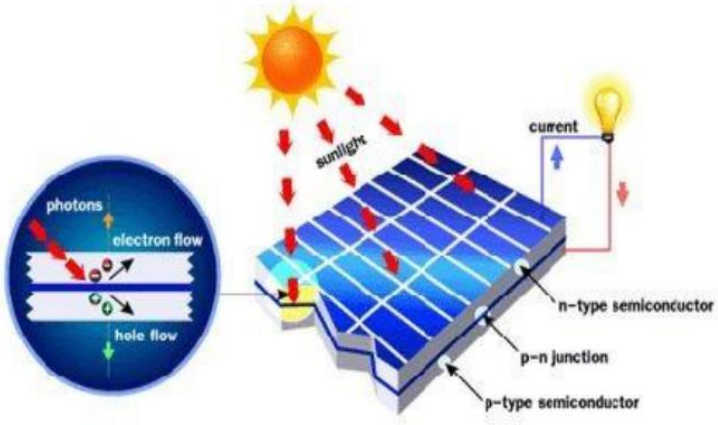


Gambar 2.1. Struktur penyusun panel surya (Pahlevi, 2014).

Lapisan paling bawah adalah *metal backing* sebagai material substrat yang menjadi kontak termal positif sehingga harus mempunyai konduktivitas listrik yang baik.

2.3.2 Prinsip Kerja Panel surya

Panel surya bekerja dengan mengubah cahya matahari menjadi energi listrik dengan memanfaatkan efek *photovoltaic*. Cahaya yang dipancarkan matahari menjadi gelombang elektromagnetik, sehingga dalam penyinarannya terdapat partikel yang berukuran kecil bernama foton. Pada saat cahaya matari mengenai panel surya, maka foton akan menumbuk lapisan semikonduktor silikon sel surya dan menghasilkan energi.



Gambar 2.2. Mekanisme foton menumbuk lapisan semikonduktor (Tibob,2017).

Pada lapisan semikonduktor silikon terdapat tipe P dan tipe N yang berguna sebagai proses konveksi cahaya menjadi listrik. Tipe P sebagai pendonor yang memilki elektron berlebih dan tipe N sebagai penerima yang kekurangan elektron (Tibob,2017).

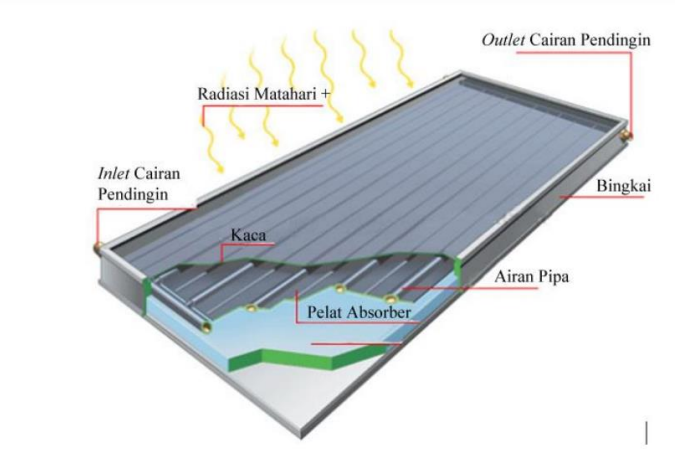
Ketika kedua jenis silikon semikonduktor disatukan maka semikonduktor tipe N memiliki elektron berlebih akan berpindah ke semikondiktor P dan terbentuk kutup negatif dan begitu sebaliknya pada tipe N terbentuk kutup positif. Perpindahan elektron dan *hole* ini, maka dapat membentuk medan listrik di area *junction* pada tipe P-N.

2.4 Kolektor Surya

Kolektor surya merupakan alat penukar panas dengan menyerap energi surya dan mengubahnya menjadi energi panas (Duffie. 2013). Unjuk kerja dari kolektor surya dipengaruhi oleh sifat fisik dari *absorber*, disamping itu unjuk kerja termal kolektor juga dipengaruhi oleh jenis kolektor, konfigurasi saluran udara, transmisivitas penutup atas kolektor, kecepatan udara dan dimensi kolektor (Sumarsono, 1998). Kolektor surya dapat dibedakan berdasarkan temperatur, dimensi dan penyerapannya yang terbagi menjadi 3 jenis :

2.4.1 Kolektor Pelat Datar

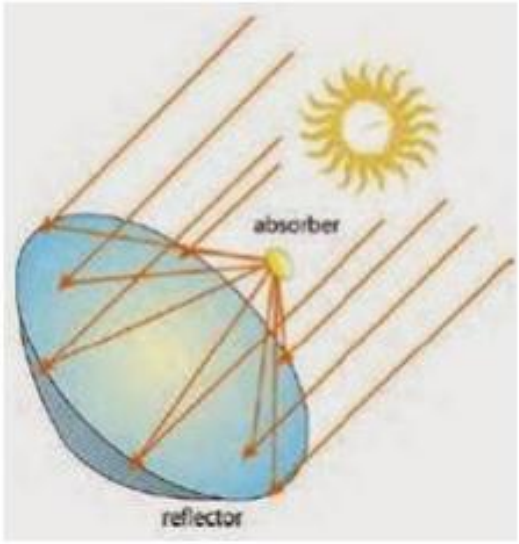
Kolektor pelat datar merupakan tipe *non concentrating collector* dan memiliki pinsip kerja ketika radiasi metahari mengenai kolektor dan mengenai permukaan plat *absorber* hitam dengan absortivitas yang tinggi, maka sebagian besar energi panas yang diserap akan diteruskan ke fluida dalam pipa yang berada dibawa plat (Kalogirou, 2004).



Gambar 2.3. Kolektor plat datar (Kalogirou, 2004).

2.4.2 Kolektor Parabola

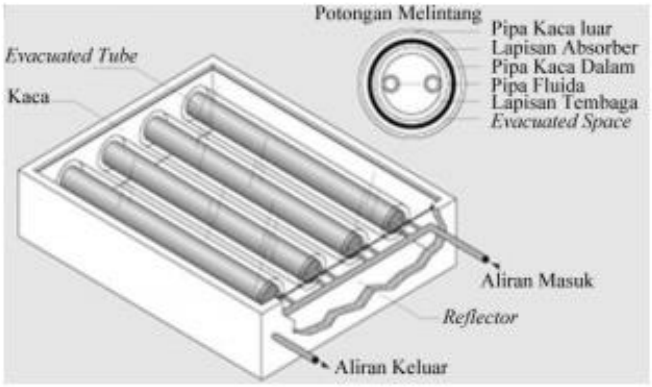
Kolektor parabola dibuat dengan membengkokan material reflektif yang dapat memantulkan sinar matahari dengan prinsip kerja kolektor memantulkan semua radiasi matahari yang datang ke *absorber* dengan jangkauan yang kecil. Karena dipusatkan pada satu titik maka temperatur yang dihasilkan dapat mencapai 300^{o}C.



Gambar 2.4. Kolektor parabola (Ajiwiguna, 2014).

2.4.3 *Evacuated Tube Collector*

Kolektor jenis ini akan optimal jika diaplikasikan pada cuaca cerah dan hangat dan akan berkurang ketika cuaca menjadi dingin, berawan dan berangin dan pada kondisi lembab dapat merusak material kolektor sehingga dapat menurunkan kinerja sistem kolektor. Kolektor jenis ini merupakan jenis kolektor yang unik dimana pada pengaplikasiannya menggunakan popa panas yang berada didalam sebuah tabung dan dalam keadaan vakum



Gambar 2.5. *Evacuated tube collectors* (Mintorogo, 2004).

2.5 Panel Surya *Thermal Hybrid*

Sistem hibrida digunakan untuk mengoptimalkan output daya dan efisiensi elektikal serta membantu pemasok listrik. Hal tersebut disebabkan karena radiasi matahari yang diserap akan diubah menjadi energi listrik oleh panel surya dan panas yang dihasilkan oleh radiasi matahari akan diterukan ke dalam fluida yang mengalir melalui pipa dibawah kolektor (Khelifa,2016).

Radiasi matahari sebagian besar tidak semua diubah menjadi listrik, dikarenakan jumlah total energi keluaran yang diperoleh berupa elektrikal dan termal. Energi keluaran yang diperoleh berpengaruh pada *input* energi surya, temperatur *ambien*, kecepatan angin serta temperatur kerja di bagian sistem dan perpindahan panas (Yiaonulis,2000).

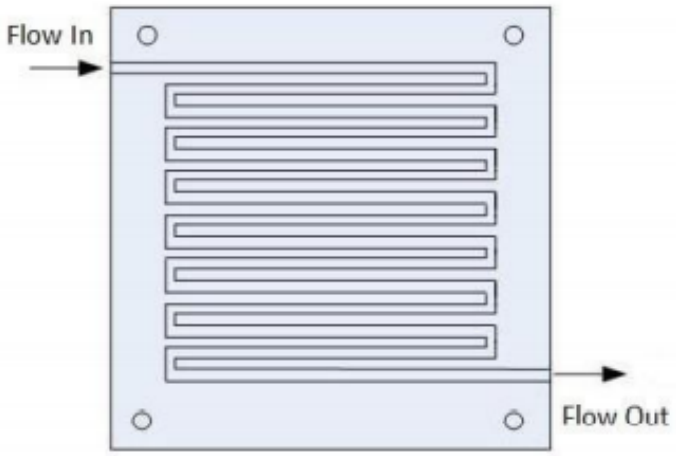
Efisiensi termal yang dihasilkan dari perhitungan pada cairan pendingin sistem hibrida berkiasar 45-65% dan jika melebihi nilai tersebut akan membuat sistem kehilangan kerja yang optimal. Upaya untuk menghindari permasalahan tersebut makan digunakan sirkulasi air, perpindahan panas dapat menggunakan permukaan termal dengan jenis panel surya pelat datar (Haloui,2015).

2.6 Jenis Aliran Panel Surya *Thermal Hybrid* Plat Datar

Jenis aliran panel surya merupakan salah satu faktor yang sangat mempengaruhi kinerja termal yang dihasilkan oleh panel surya. Jenis aliran yang umum digunakan adalah:

2.6.1 Aliran *Serpentine*

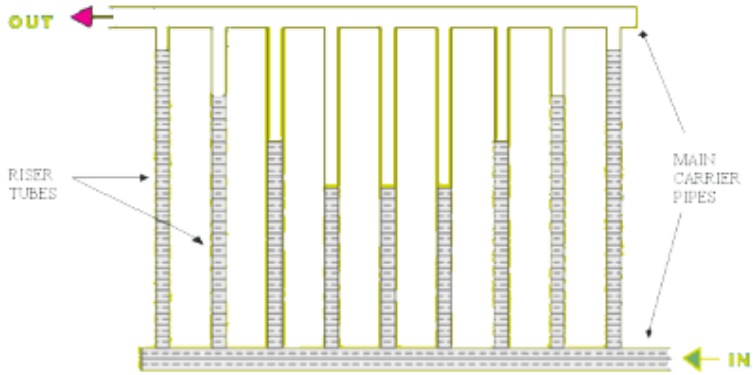
Jenis aliran berkelok atau *serpentine* memiliki alur pipa yang berkelok seperti huruf S yang memiliki kelebihan laju aliran massa dari fluida akan terdistribusi secara merata. Namun, dalam proses pembuatan akan lebih rumit dibandingkan menggunakan aliran paralel (Mustofa,2014).



Gambar 2.6. Aliran *serpentine* pada plat datar (James,2015).

2.6.2 Aliran Paralel

Jenis aliran paralel ini mengalirkan fluida dari sisi atas menuju sisi bawah dengan diameter yang berbeda Diameter pipa horizontal akan memiliki dimeter yang lebih besar dibandingkan diameter pipa vertikal. Hal tersebut agar mempermudah distribusi fluida. Pada pipa aliran paralel ini memiliki kendala yaitu fluida yang dialirkan tidak bisa terdistibusi secara baik pada bagian tengah dari susunan pipa paralel sehingga mengalami perlambatan kecepatan dan terjadi ketidakseragaman kecepatan alir (Mustofa,2014).



Gambar 2.7. Aliran paralel pada plat datar (Mustofa,2014).

2.7 Persamaan Dasar Sistem Kolektor Pelat Datar

2.7.1 Persamaan Dasar Kolektor Termal Pelat Datar

Energi yang diserap oleh *absorber* akan menghasilkan panas yang kemudian akan ditransfer ke fluida kerja yang berada didalam saluran pipa dibawah *absorber* Sehingga nilai kesetimbangan energi pada kolektor plat datar dituliskan dengan persamaan:

$$Qu = Ac[S - UL\left(T_{pm} - T_a\right)] \quad \text{..... (2.1)}$$

Dimana:

Ac = luas permukaan kolektor (m^2)

S = insentisitas radiasi matahari (W/m^2)

Ul = koefisien kehilangan panas kolektor ($Watt/m^2.{}^0C$)

T_{pm} = temperatur rata-rata permukaan plat (^{0}K)

T_a = temperatur lingkungan (^{0}K)

Persamaan kesetimbangan diatas merupakan persamaan yang dapat digunakan saat temperatur fluida masuk dan parameter dapat dievaluasi secara analitis degan prinsip-prinsip dasar yang dilakukan pada saat eksperimen. Sehingga persamaan yang digunakan yaitu (Kalogirou, 2004) :

$$Qu = AcF_r[G_t(\propto \tau)U_L(T_m - T_a)] \quad \text{..... (2.2)}$$

Dimana:

Ac = luas kolektor (m^2)

F_r = removal faktor perpan kolektor

G_t = energi radiasi matahari (Watt/m^2)

T_m = temperatur fluida masuk (^{0}K)

T_a = temperatur udara lingkungan (^{0}K)

U_L = koefisien kehilangan panas kolektor (Watt/m^2.^{0}C)

$\alpha\tau$ = koefisien transmisi *absorber*

untuk temperatur fluida masuk dapat digunakan dalam menghitung energi dengan menggunakan faktor efisiensi kolektor (F') menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$Qu = AcF'[(\propto \tau_e)S - U_L(T_{fm} - T_a) \quad \text{..... (2.3)}$$

Untuk energi yang diberikan kolektor ke fluida dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Qu = m\, C_p(T_{fo} - T_{ft}) \quad \text{..... (2.4)}$$

2.7.2 Koefisien Kerugian Perpindahan Panas Menyuluruh

Koefisien kerugian panas menyeluruh (U_L) adalah kerugi kalor dari *absorber* yang terjadi pada bagian atas, samping dan bawah:

$$U_L = U_t + U_b + U_e \quad \text{.....(2.5)}$$

Dimana:

U_L = koefisien kerugian total

U_t = koefisien kerugian kalor bagian atas

U_b = koefisien kerugian kalor bagian bawah

U_e = koefisien kerugian kalor bagian samping

1. Koefisien kerugian kalor bagian atas

   Kerugian panas yang hilang di bagian atas pelat penyerap. Karena, adanya konveksi alam dan radiasi bagian dalam pelat kolektor permukaan kaca

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

   Dimana :

   U_t = kerugian kalor bagian atas

   h_w = koefisien perpindahan panas konveksi

   $h_{r.c\text{-}a}$ = koefisien perpindahan panas radiasi antara kaca dan lingkungan

   $h_{c.p\text{-}c}$ = koefisien perpindahan panas konveksi antara plat dan kaca

2. Koefisien kerugian kalor bagian bawah

   Kerugian kalor bagian bawah pelat datar terjadi karena konduksi dari pelat ke panel bagian bawah. Untuk konveksi dan radiasi diabaikan karena nilainya sangat kecil. Persamaannya adalah sebagai berikut:

   $$Ub = \frac{k}{L} \quad \text{.....(2.7)}$$

   Dimana :

   Ub = koefisien kerugian kalor bagian bawah

   K = konduktifitas insulator bagian bawah

   L = tebal insulator

3. Koefisien kerugian kalor bagian samping

   Koefisien kerugian kalor pada bagian samping dapat diperhitungkan menggunakan persamaan berikut :

   $$Ue = \frac{(UA)edge}{Ac} \quad \text{.....(2.8)}$$

   Dimana :

Ue = koefisien kerugian kalor di samping

U_A = k/L x volume kolektor (m^2)

Ac = luas permukaan kolektor (m^2)

2.8 Efisiensi Kolektor Surya

Efisiensi kolektor surya dapat didefinisikan sebagai rasio energi yang berguna, terhadap energi radiasi matahari yang datang selama kurun waktu yang sama. Pada kondisi konstan selama periode tertentu. Persamaan untuk menghitung nilai efisiensi kolektor termal plat datar adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\int Qu\, dt}{Ac \int GTdt} \quad \text{.....(2.9)}$$

Dimana :

η = efisiensi kolektor

Ac = luas kolektor (m^2)

Qu = energi berguna (Watt)

Gt = energi radiasi matahari (W/m^2)

$$\eta = \frac{\int Qu\, dt}{Ac \int GTdt} \quad \text{.....(2.10)}$$

Ketika kondisi konstan dalam kurun waktu tertentu, nilai efisiensi dari kolektor plat datar juga dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{Qu}{Ir\, Ac} \quad \text{.....(2.11)}$$

Dimana:

η = efisiensi kolektor

Qu = energi berguna (Watt)

Ir = *incident solar radiation* (W/m^2)

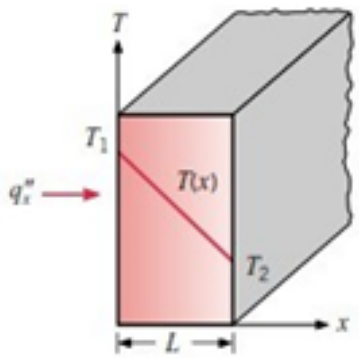
Ac = luas kolektor (m^2)

2.9 Perpindahan Panas

(Incropera, 2007), menjelaskan bahwa perpindahan panas yang terjadi terbagi menjadi tiga. Jenis perpindahan panasnya adalah konduksi, konveksi dan radiasi.

2.9.1 Konduksi

Konduksi dapat dilihat sebagai transfer energi dari partikel yang memiliki energi besar ke energi yang lebih keil dari suatu zat karena terjadinya interaski antara partikel.



Gambar 2.8. Distribusi suhu untuk kondisi dinding datar (Incropera,2007)

Laju perpindahan panas konduksi dipengaruhi oleh geometri dari benda, ketebalan, jenis material benda dan perbedaan temperatur yang melintas pada benda. Laju perpindahan panas konduksi dapat diperhitungkan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$Q = -kA\frac{dT}{dx} \quad \text{.....(2.12)}$$

Dimana :

Q = perpindahan panas konduksi (W)

k = konduktivitas termal (W/m ^{o}C)

A = luas area perpindahan panas (m^2)

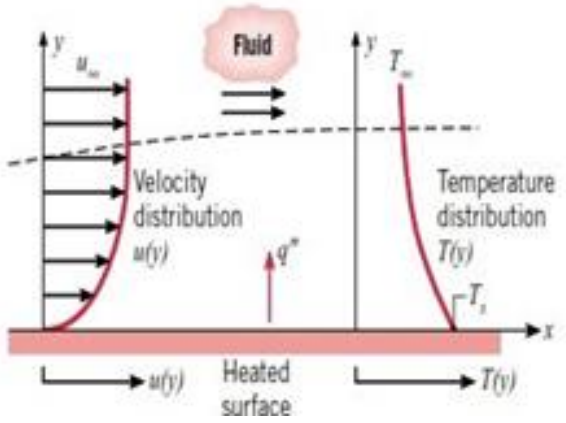
dT = perubahan temperatur (^{o}C)

dx = perubahan jarak (m)

2.9.2 Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah suatu proses perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir disekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (cair / gas).

Terdapat beberapa parameter-parameter yang mempengaruhi perpindahan panas konveksi antara lain, geometri permukaan, karakteristik dari fluida, kecepatan aliran fluida dan jenis aliran fluida



Gambar 2.9. Perpindahan panas konveksi dari permukaan panas ke udara (Incropera,2007).

Perpindahan panas konveksi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q = hA_S (T_S - T_\infty) \quad \text{.....(2.13)}$$

Dimana :

Q = perpindahan panas konveksi (W)

h = koefisien perpindahan panas konveksi (W/m ^oC)

A_S = luas permukaan (m^2)

T_S = temperatur permukaan (^oC)

T_∞ = temperatur lingkungan (^oC)

2.9.3 Radiasi

Radiasi terjadi antara dua benda yang disebabkan oleh gelombang magnetik dan tidak memelukan media perantara. Radiasi terjadi dikarenakan panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah. Energi radiasi bergerak dengan kecepatan cahaya. Teori elektomgnetik menjelaskan bahwa radiasi cahaya dan radiasi termal berbeda dalam panjang gelombang masing- masing.

Persamaan yang digunakan untuk proses perpindahan panas radiasi adalah:

$$Q_{emit} = \varepsilon\, \sigma\, A_S\, T_S^4 \quad \text{.....(2.14)}$$

Dimana :

Q_{emit} = radiasi (W)

Hr = konduktansi termal radiasi

A = luas Permukaan (m^2)

T_{sur} = temperatur Permukaan (K)

T_S = temperatur sekitar (K)

2.10 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 saluran, faktor friksi, viskositas, densitas fluida.

$$\Delta P = f\ \frac{1}{d}\rho\frac{V^2}{2} \quad \text{.....(2.15)}$$

Dengan hubungan antara *head* dan tekanan:

$$P = \rho.g.h \quad \text{.....(2.16)}$$

Kerugian *head* (*head loss*):

$$\Delta h = f\ (\frac{1}{d})(\frac{V^2}{2g}) \quad \text{.....(2.17)}$$

Dimana

ΔP = kerugian tekanan

d = diameter pipa

V = kecepatan aliran

f = faktor friksi

l = panjang pipa

g = gravitasi

h = *head*

2.11 Metode *Computing Fluid Dynamic*

Computational fluid dynamic atau CFD adalah suatu cabang ilmu dinamika fluida yang menganalisa masalah-masalah numerik dan algoritma unutk menyelesaikan serta menganalisa yang melibatkan aliran fluida. CFD merupakan metode perhitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaakan bantun komputer dalam melakukan perhitungan setiap elemen.CFD sangat berguna untuk pembelajaran mengenai laju aliran, perpindahan panas serta reaksi kimia dengan penyelesaian persamaan matematik dengan bantuan analisis numerik. Sehingga, CFD membantu mengurangi biaya operasional serta waktu eksperimen. Secara umum proses perhitungan CFD terbagi menjadi 3 bagian utama, yaitu:

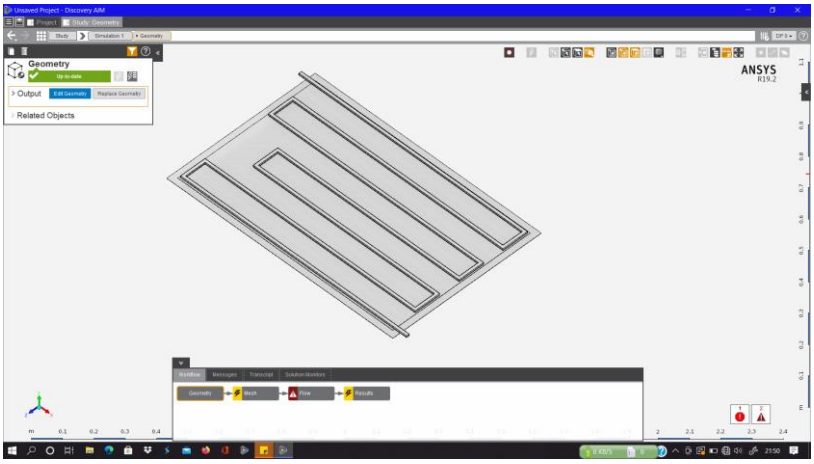
2.11.1 *Pre-processing*

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

a. Membuat geometri

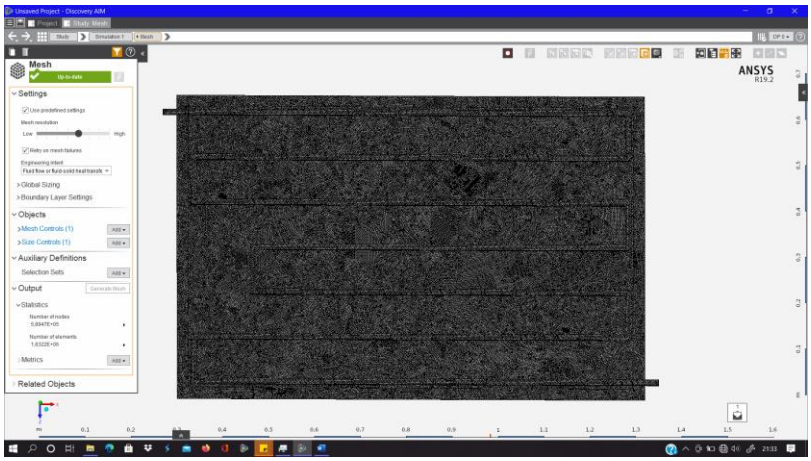
   Geometri pada penelitian ini terbagi atas empat bagian yaitu:*Silicon* (panel surya),*Absorber* (pelat), *tube* (pipa) dan *fluid*. Spesifikasi geometri sebagai

berikut: pipa persegi dengan dimensi lebar 12 mm, tinggi 7 mm dan ketebalan 0,7 mm serta sambungan pipa *elbow* 90^0 dan *W*=87 mm.



Gambar 2.10. Geometri kolektor surya pipa persegi

Gambar 2.10 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 2.11.



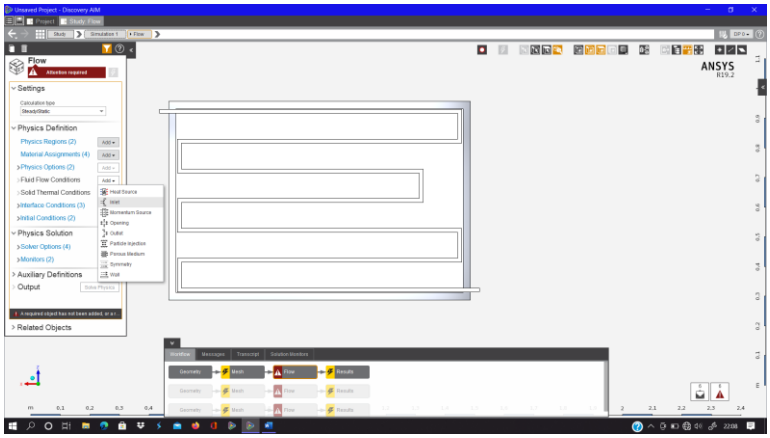
Gambar 2.11. Hasil *meshing* kolektor surya pipa persegi

2.11.2 Tahap *solver*

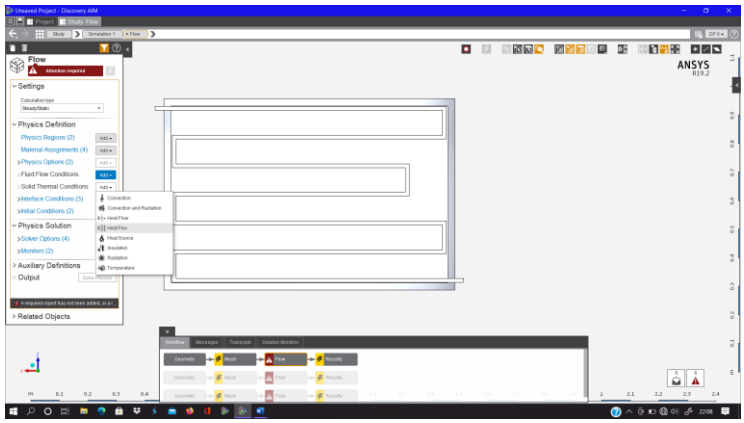
Pada tahap *solution* ada banyak hal yang harus dilakukan kaitannya dengan penentuan kondisi batas dalam sebuah simulasi CFD. Proses ini merupakan proses sangat penting karena hampir semua parameter diproses pada tahapan ini. Adapun tahapan pada *solution* adalah *boundary conditions* yang mencakup penetuan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

1. *General*

   Dalam kasus ini aliran fluida di dalam pipa bersifat *steady-state*. Untuk fluida alir yang digunakan yaitu *water*. Pada tahap ini menetukan *inlet* dan *outlet* pada pipa kolektor.



a. *Toolbar* menu *fluid physics regions*

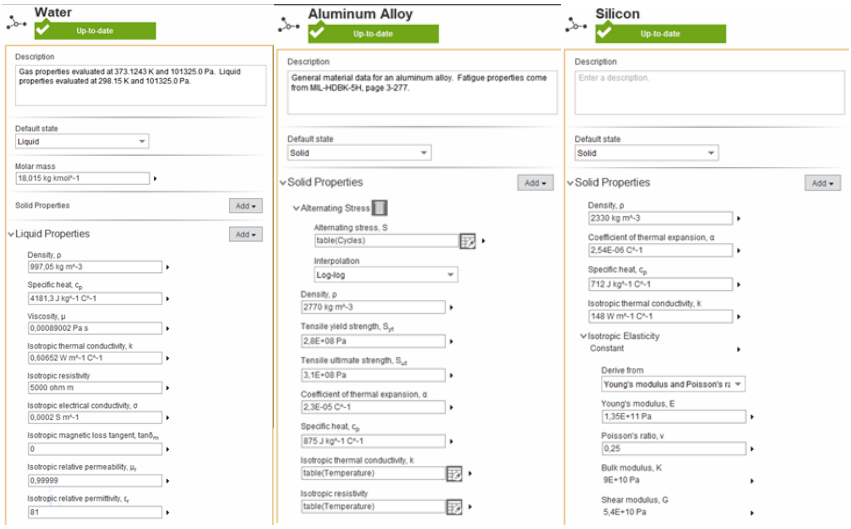


b. *Toolbar* menu *solid physics regions*

Gambar 2.12. *Toolbar* menu *general*

2. *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 suryamenggunakan material *silicon* sedangkan fluidanya menggunakan air (*water*).



Gambar 2.13. *Toolbar* menu *materials*

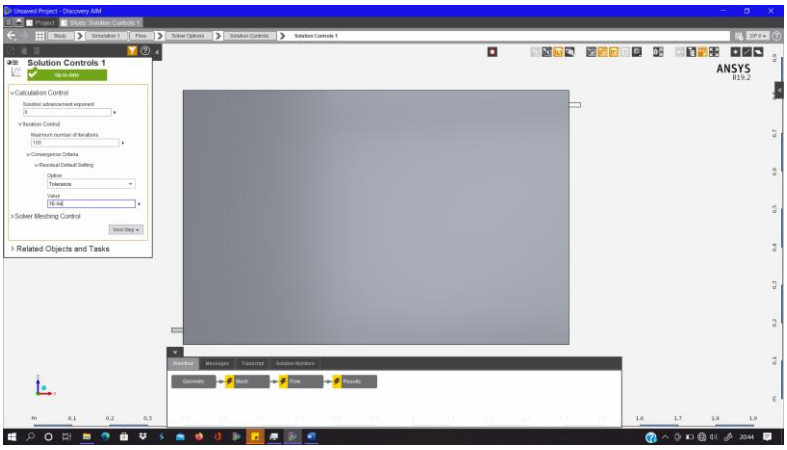
3. *Boundary conditions*

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 2.14. *Toolbar boundary conditions*

4. *Solution Controls*

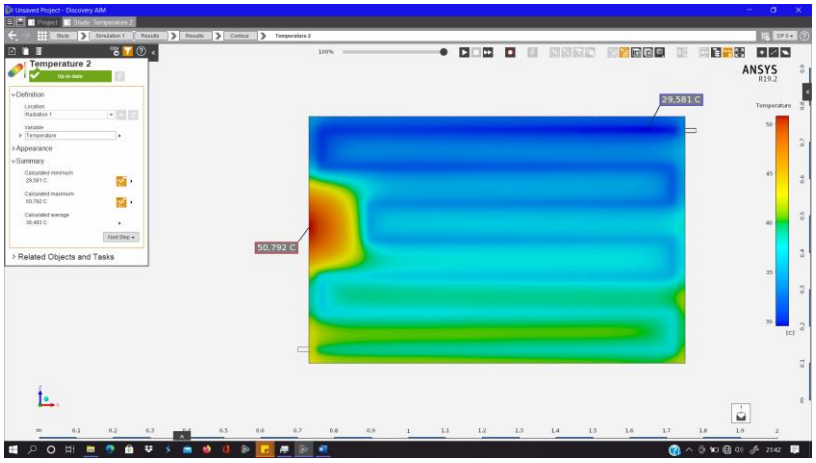
   Kondisi batas serta proses *meshing* akan dilakukan pengecekan kembali untuk memastikan tidak terdapat *error* pada saat proses komputasi, serta pengaturan iterasi yang diinginkan sehingga selama proses simulasi dapat dilakukan dengan baik.



Gambar 2.15. *Toolbar solution initializition*

2.11.3 *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 anallisis serta dikembangkan yang di ilustrasikan



Gambar 2.16. Hasil kontur fluida

2.12 Standar Pengujian EN-12975

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

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

temperatur udara di dalam dan luar ruangan, laju aliran massa fluida dan temperatur fluida masuk kolektor. Standar parameter pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Standar Parameter Pengujian (EN 12975, 2006)

Parameter	Selisih yang diizinkan dari Nilai Tengah
Radiasi matahari yang diuji (global)	±50 W/m^2
Temperatur di dalam ruangan	±1 K
Temperatur diluar ruangan	±1.5 K
Laju aliran massa fluida	±1 %
Temperatur fluida masuk kolektor	±0,1%

Berdasarkan standar parameter pengujian tersebut, untuk pengujian di dalam ruangan dilakukan menggunakan solar simulator sebagai pengganti radiasi matahari, dimana radiasi yang dihasilkan solar simulator paling sedikit harus mencapai 700 W/m^2 hingga mengenai kolektor. Dalam beberapa pengujian khusus juga dapat menggunakan intensitas radiasi matahari antara 300 W/m^2-1000 W/m^2. Parameter karakteristik dari suatu kolektor termal dapat diperkirakan dari pengujian efisiensi termal. Pengujian untuk mengetahui efisiensi termal kolektor setidaknya dilakukan pengambilan empat nilai yang berbeda-beda untuk temperatur masuk kolektor. Empat nilai temperatur fluida masuk kolektor tersebut diambil dengan batas kurang dari temperatur maksimal fluida keluar kolektor ketika diuji pada kondisi *steady*. Banyaknya nilai hasil pengujian untuk empat temperatur masuk kolektor adalah 16 nilai pengujian (Kovacs, 2012).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat dan waktu penelitian yang dilakukan adalah:

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian dan Pengambilan data dilakukan pada Laboratorium Termodinamika Teknik, Teknik Mesin. Uinversitas Lampung.

3.1.2 Waktu Peneitian

Waktu Penelitian dimulai pada bulan November 2020 sampai dengan April 2021 dengan jadwal kegiatan (Tabel 3.1).

Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Nov		Des		Jan		Feb		Mar		Apr	
1.	Studi Literatur Wahyono (2020)												
2.	Mendesain geometri Kolektor Surya												
3.	Mensimulasi dan validasi data eksperimen dengan metode CFD												
4.	Simulasi unjuk kerja kolektor surya dengan variasi penampang menggunakan												

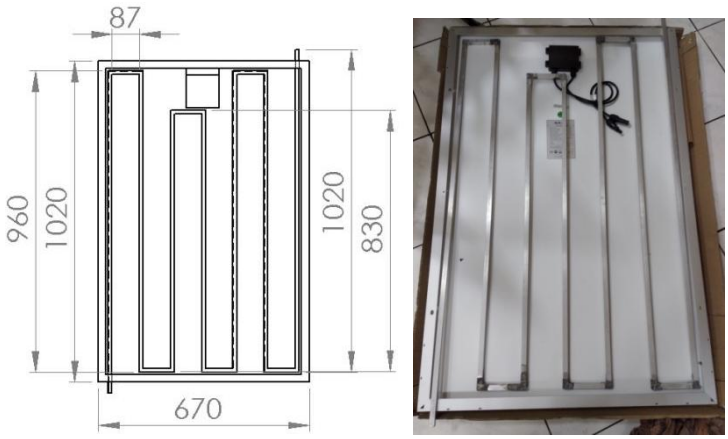
	metode CFD												
5.	Pembuatan laporan akhir												

3.2 Parameter Penelitian

Parameter penelitian untuk melakukan validasi serta simulasi menggunakan acuan data eksperimen yang telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya:

3.2.1 Data Eksperimen

Data ekperimen yang didapatkan berdasarkan penelitian Danar (2020) yaitu geometri kolektor surya, intensitas radiasi matahari (S), temperatur fluida masuk (Tin), temperatur fluida keluar (Tout), laju aliran massa (m) dan *pressure drop.* Geometri kolektor surya menggunakan pipa persegi ukuran lebar 12 mm, tinggi 7 mm dan ketebalan 0,7 mm yang disusun secara seri dengan jarak antara pipa (W) sebesar 87 mm dan elbow 90^0. Luas pelat kolektor sebesar 0,6834 m^2 dan menggunakan material alumunium untuk spesifikasinya terlihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Geometri kolektor surya *ellbow* 90^o dan *W* = 87 mm

3.2.2 Simulasi Unjuk Kerja

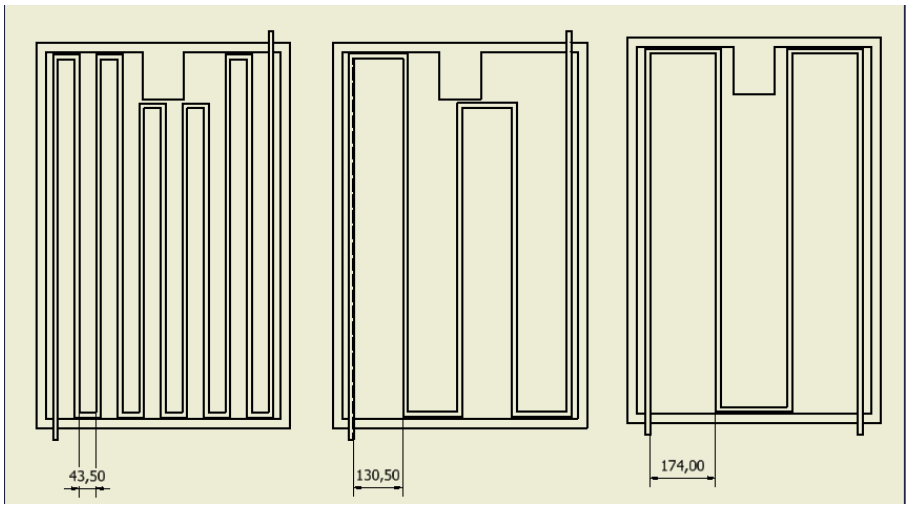
Simulasi unjuk kerja dan *pressure drop* yang iakan dilakukan menggunakan beberapa variasi geometri dari pipa persegi dengan variasi lebar, tinggi dan jarak.

Proses simulasi yang dilakukan menggunakan *software* CFD yaitu *Ansys Discovery Aim* versi 19.2 dan perancangan desain geometri menggunakan s*oftware Autodesk Invetor.*

3.3 Perancangan Desain Geometri Pipa

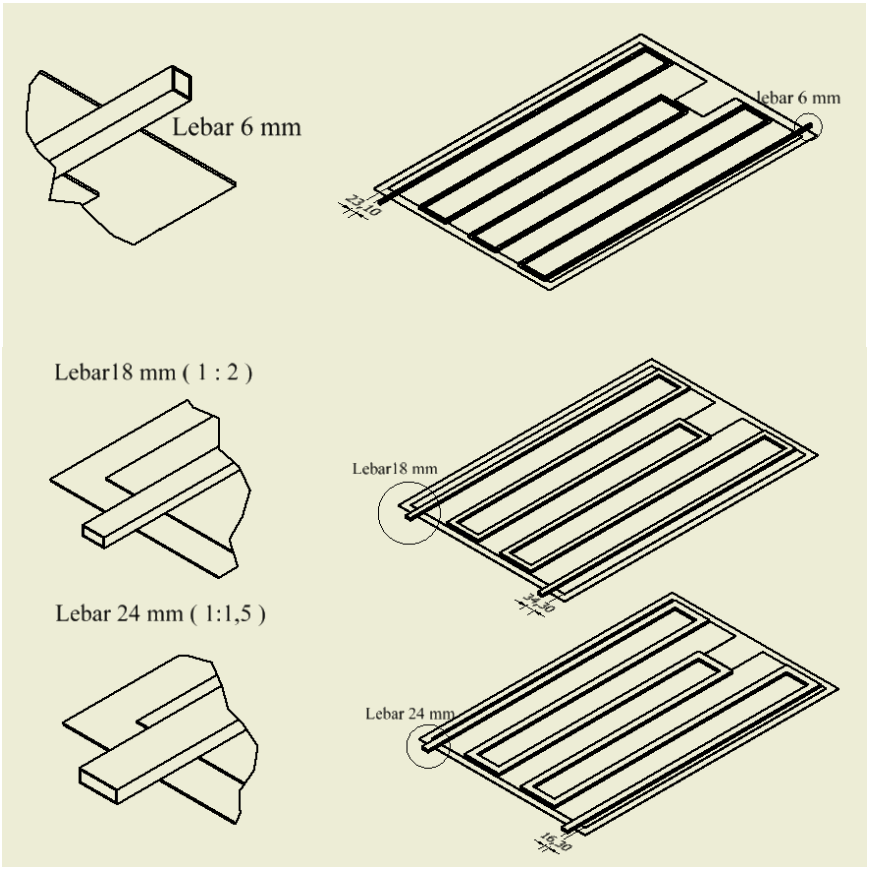
Penelitian simulasi unjuk kerja termal dan *pressure drop* Photofoltaik termal pelat datar aliran *serpentine* menggunakan *software Ansys Discovery Aim* 19.2. Simulasi dilakukan untuk mengembangkan penelitian sebelumnya dengan menggubah ukuran geometri pipa serta jarak antar pipa yang menggunakan fluida air. Tahap perancangan didesain, penulis menggunakan tiga geometri pipa persegi dengan variasi jarak, tinggi dan lebar.Variasi geometri dilakukan dengan acuan data geometri pipa persegi eksperimen dan di variasiakan dengan pembagian ½ , 1 ½ dan 2 dari dimensi jarak, lebar dan tinggi pipa persegi. Sehingga menghasilkan desain pipa persegi seperti pada gambar 3.2 sampai dengan gambar 3.4.

3.3.1 Variasi geometri berdasarkan jarak antar pipa dalam



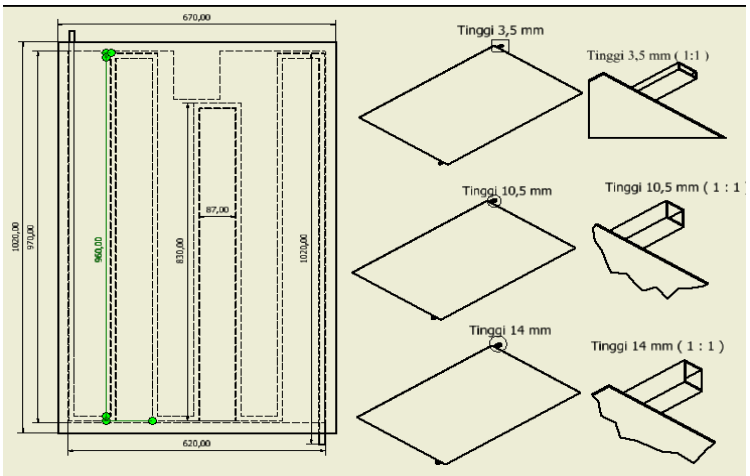
Gambar 3.2. Geometri variasi jarak

3.3.2 Variasi geometri berdasarkan lebar pipa persegi



Gambar 3.3. Geometri variasi lebar

3.3.3 Variasi geometri berdasarkan tinggi pipa persegi



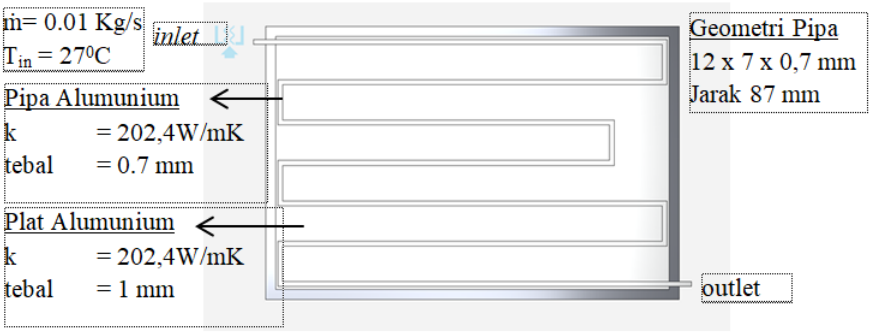
Gambar 3.4. Geometri variasi tinggi

3.4 Metode CFD

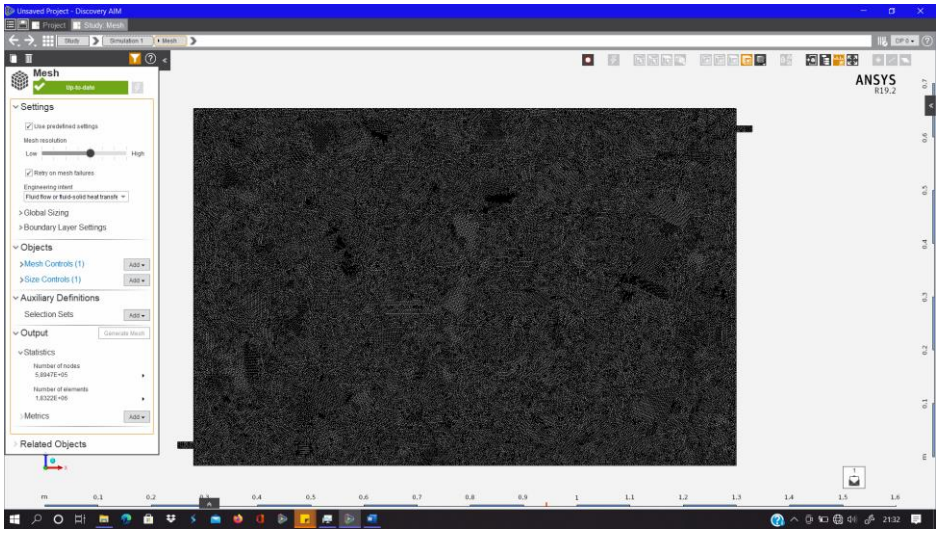
Proses simulasi yang dilakukan menggunakan *software* CFD yaitu *Ansys Discovery Aim* versi 19.2. Tahap simulasi yang akan dilakukan meliputi *Pre-processing*, *solution* dan *post-processing*.

3.4.1 *Pre-processing*

Pada tahap ini penulis menginput geometri yang telah dirancang pada *software Autodesk Inventor* kedalam *Ansys.* Langkah utama yang dilakukan yaitu memberikan penamaan serta penentuan material pada setiap geometri dimulai dari fluida kerja (Water), pipa alumunium, plat *absorber* hingga panle surya. Dilanjutkan dengan proses *meshing* dengan menggunakan jenis *meshing tetrahedron* dan ukuran *meshing* 2,5 mm dengan hasil *number of elements* sebesa ± 1,8 jt.



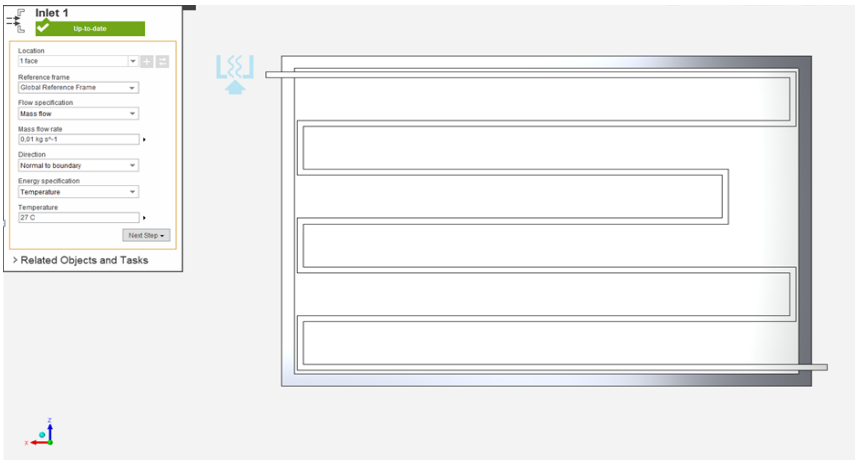
Gambar 3.5. Desain kolektor surya



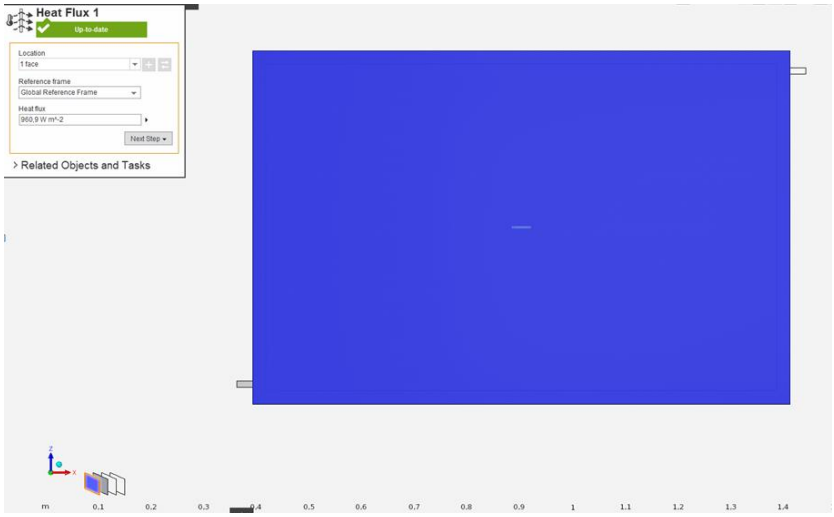
Gambar 3.6. Hasil *meshing*

3.4.2 *Solution*

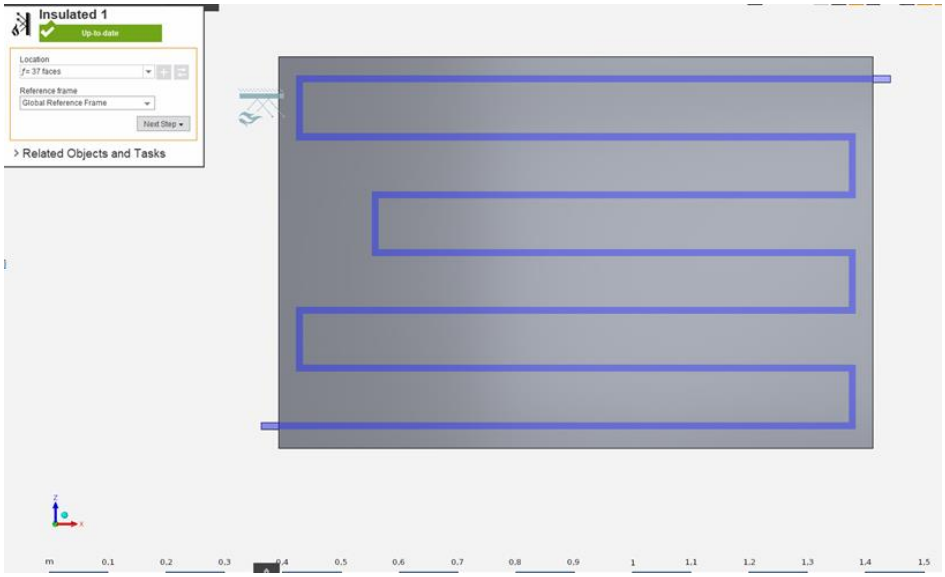
Pada tahap *solution* ada banyak hal yang harus dilakukan kaitannya dengan penentuan kondisi batas dalam sebuah simulasi CFD. Proses ini merupakan proses sangat penting karena hampir semua parameter diproses pada tahapan ini yang mencakup beberapa tahap diantaranya melakukan input *inlet* dengan nilai temperatur 27^{o}C serta *mass flow rate* 0,01 kg/s, kemudian menentukan permukaan *heat flux* dan menginput nilai panas yang digunakan 960,9 W/m^2 serta melakukan isolasi termal (*insulated*) pada bagian pipa alumunium. Simulasi yang dilakukan menggunakan batasan konvergen dengan iterasi sebanyak 100 kali serta penyajian data hasil simulasi yang memiliki keteliatan sebesar 0,0001



a. Inlet



b. *Heat flux* 960,9 W/m^2

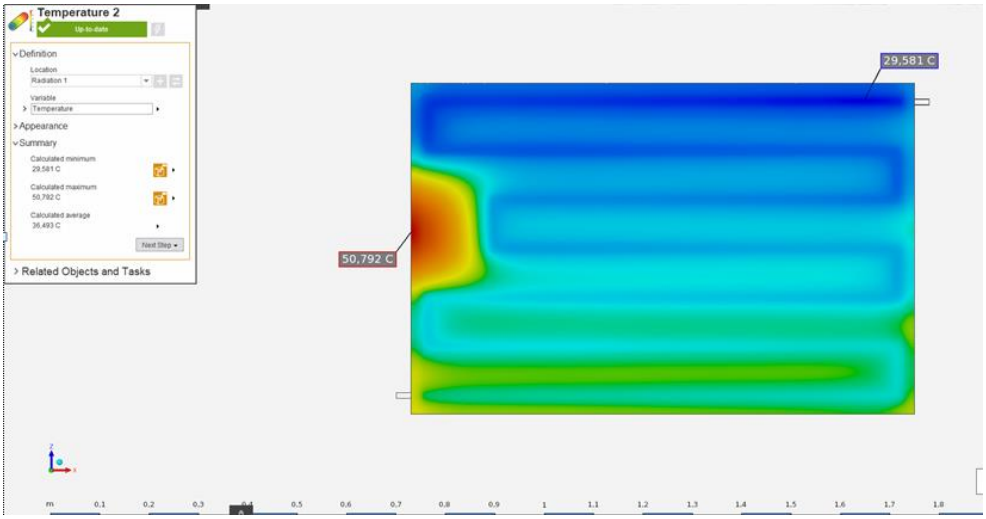


c. *Insulated*

Gambar 3.7. *Set up bondary condition*

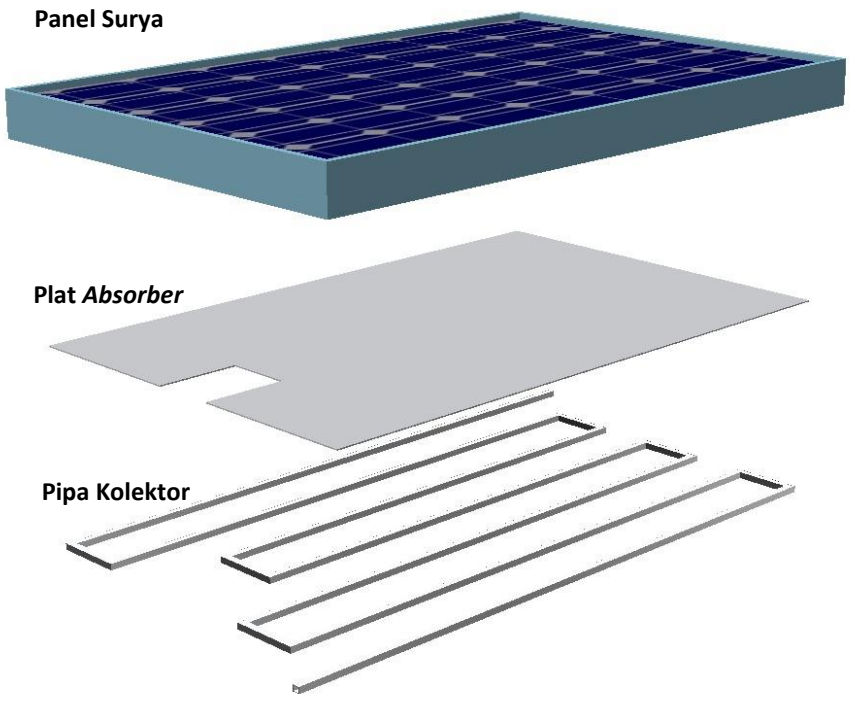
3.4.3 *Post Processing*

Post-Processing adalah tahap akhir dari simulasi, yaitu tahap yang menyajikan hasil akhir dari proses simulasi. Dengan menampilkan kontur warna yang nantinya dapat di analisis dan dikembangkan.



Gambar 3.8. *Results*

3.5 Proses Perpindahan Panas pada Simulasi

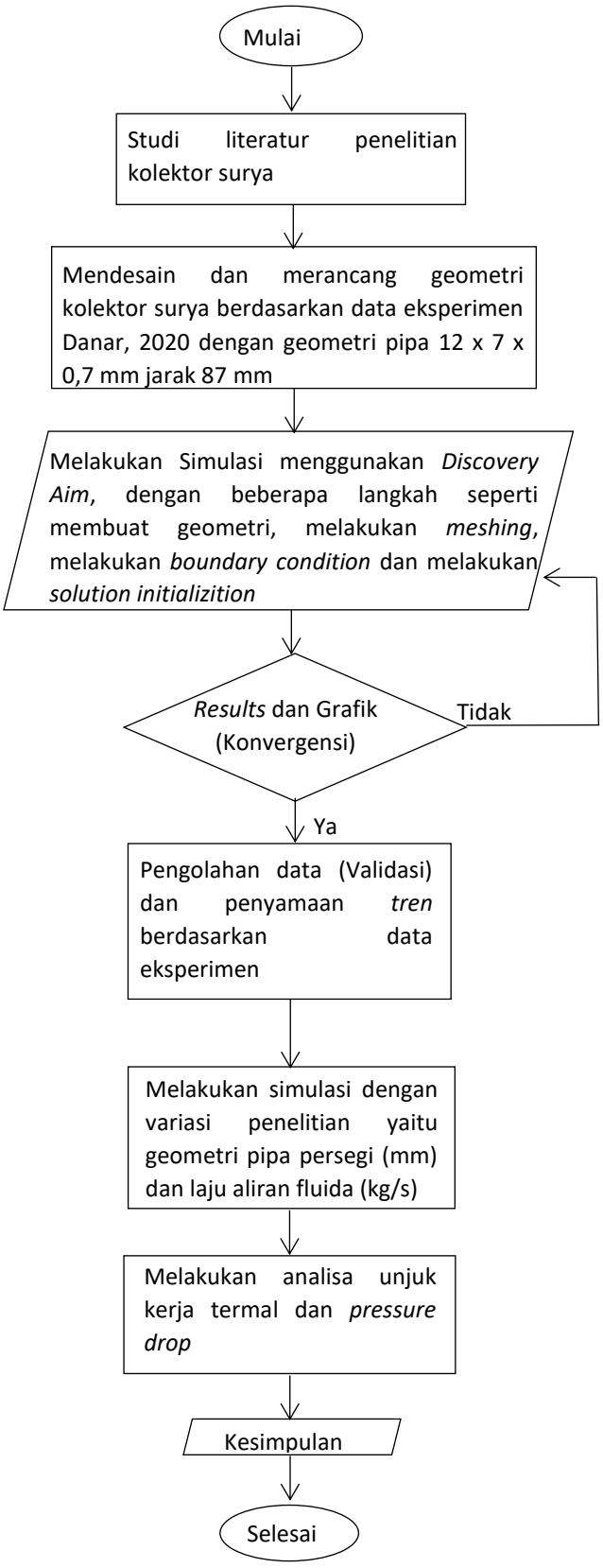


Gambar 3 9. Stuktur geometri kolektor surya

Pada gambar 3.9, Lapisan pertama merupakan panel surya yang menerima energi panas berupa *heat flux* sebesar 960,9 W/m^2. Selanjutnya energi panas pada

permukaan panel merambat secara konduksi menuju lapisan kedua berupa plat *absorber*. Kemudian panas diteruskan pada lapisan ketiga secara konduksi ke pipa alumunium yang menempel pada *absorber*. Selanjutnya panas pada pipa alumunium diserap oleh fluida kerja yang mengalir didalam pipa persegi secara konveksi. Sehingga, hasil akhir yang diperoleh berupa temperatur keluaran fluida.

3.6 Diagram Alir



Gambar 3.10. Diagram alir penelitian

3.7 Validasi dan Simulasi

Setelah simulasi dilakukan maka proses selanjutnya yaitu validasi apakah hasil simulasi mendekati iata ekperimen. Kemudian setelah validasi selesai selanjutnya dilakukan simulasi menggunakan variasi geometri yang telah didesain sebelumnya metode CFD untuk mengetahui unjuk kerja termal dan *pressure drop* kolektor surya pelat datar.

3.7.1 Validasi Simulasi

Validasi simulasi dilakukan dengan cara membandingkan data hasil simulasi dengan data eksperimen oleh Danar (2020), berdasarkan parameter yaitu temperatur fluida keluar, temperatur permukaan pelat dan *pressure drop*.

1. Perbandingan temperatur fluida keluar (*outlet*)

   Pada penelitian ini digunakan variasi temperetur eksperimen sebanyak 4 buah yaitu 27℃, 32℃, 37℃, 42℃ setelah di uji dengan besaran radiasi sebesar 960,0 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.

2. Perbandingan distribusi temperatur permukaan pelat

   Pada data eksperimen didapatkan hasil pengukuran temperatur pelat menggunakan termometer. Pengukuran dibagi menjadi 16 titik dengan tujuan untuk mempermudah melihat perbandingan antara hasil simulasi dengan data eksperimen.

3. Perbandingan tekanan

   Simulasi dilakukan dengan cara memvariasikan laju aliran massa fluida dengan tujuan melihat kesamaan tekanan dengan data eksperimen. Variasi laju

aliran massa fluida tersebut tentu berdasarkan data eksperimen sebelumnya yaitu 0,01 kg/s.

3.7.2 Simulasi Unjuk Kerja Kolektor

Setelah dilakukan validasi hasil simulasi terhadap data eksperimen kemudian dilakukan simulasi menggunakan metode CFD untuk mengetahui unjuk kerja termal dan tekanan. Adapun simulasi unjuk kerja kolektor yang dilakukan berdasarkan: variasi geometri penampang pipa (mm).

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Validasi serta simulasi yang dilakukan menggunakan *Ansys Discovery Aim* menghasilkan beberapa data penelitian yang digunakan untuk menganalisa unjuk kerja termal dan *pressure drop* kolektor surya menggunakan metode CFD. Berikut adalah beberapa poin yang dapat ambil sebagai kesimpulan dari hasil analisa:

1. Hasil yang didapatka dari Ansys Discovery Aim memiliki kecenderungan yang serupa dengan hasil eksperimen sehingga dapat dikatakan bahwa hasil yang didaptkan telah valid.
2. Pengembangan peneletian dengan mengubah jarak antar pipa pada kolektor surya menghasilkan nilai T_{out} fluida pada variasi jarak 43,5 mm hanya mampu menghasilkan temperatur fluida keluaran lebih tinggi ± 2^{o}C dari variasi laiinya serta menyebabkan pemborosan penggunaan daya pompa dikarenakan *pressure drop* yang dihasilkan cukup tinggi 605,66 Pa.
3. Perpindahan panas pada kolektor surya menjadi lebih baik ketika lebar pipa persegi ditambah yang ditandai dengan fluida keluaran yang memiliki temperature lebih tinggi. Temperatur keluaran fluida tertinggi dihasilkan oleh jarak 24 mm sehingga mampu menghasilkan efiensi termal sebesar 69,56% serta menghasilkan nilai *pressure drop* yang rendah yaitu 171,65 Pa.
4. Pengembangan penelitian dengan mengubah dimensi tinggi pipa persegi juga menampilkan kecenderungan nilai yang mengalami peningkatan T_{out} fluida seiring bertambahnya dimensi tinggi pipa persegi. Hal ini dipengaruhi oleh diameter hidrolik pipa yang semakin besar sehingga membantu penurunan kecepatan alir pada fluida kerja.

5. Pengembangan penelitian menggunakan *Discovery Aim* dengan memvariasikan dimensi geometri pipa persegi yang cukup optimal untuk diaplikasikan yaitu menggunakan variasi tinggi 14 mm dengan nilai T_{out} fluida 37,944^{o}C yang menghasilkan efisiensi termal sebesar 69,77% serta nilai *pressure drop* cukup rendah 155,34 Pa. Sehingga mampu menghemat daya pompa dalam pendistribusian fluida kerja.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan menggunakan *software Ansys Discovery Aim,* maka penulis menyarakan untuk menvalidasikan data penelitian pengembangan simulasi dengan penelitian secara eksperimen serta menambahkan variasi penggunaan material lain agar dapat meningkatkan efisiesi termal dengan cukup baik.

DAFTAR PUSTAKA

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

Allan , James. D. Zahir dan Mauricette, 2015. *Performance Testing Of Thermal and Photovoltaic Thermal Solar Collectors*. Inggris: School of Engineering and Design Brunel University.

Chow TT, Hand JW, Strachan PA. 2003. *Building-integrated PV and thermal applicationsin a subtropical hotel building*. doi.org/10.1016/S1359-4311(03)00183-2.

Duffie, J.A. dan W.A, Beckman. 2013. *Solar Emgineering of Thermal Processes*. New York: John Wiley and Sons.

EN 12975-2.2006. *Thermal solar system and components solar part 2 test methods*. Bressels: CEN.

H, Haloui. 2015. *Analysis of a Hybrid Solar Collector Photovoltaic Thermal (PVT)*. Universite Hadj Lakhdar. Algeria.

Incropera, F.P. 2007. *Fundamental of Heat and Mass Transfer. Sixth Edition*. Jhon Wiley and Sons. New york

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

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

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

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

Mahdi, M.A. dan A. Smaili. 2017. *Numerical investigations og thermal behaviour of a HAWT nacelle using Ansys fluent*. Berlin: Elsevier Ltd.

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

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

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

Pahlevi, Reza. 2014. *Pengujian Karakteristik Panel Surya Berdasarkan Intensitas Tenaga Surya*. Skripsi Teknik Elektro. Universitas Muhammadiyah Sukarta. Solo.

Sasongko, Amrizal Danur. 20019. *Unjuk Kerja Termal dan Pressure Drop Kolektor Hybrid PV/T Menggunakan CFD Berdasarkan Perubahan Penampang dan Penggunaan Nano Fluida*. Skripsi Teknik Mesin Universitas Lampung. Lampung.

Sumarsono, M. 1998. *Perancangan Dimensi Kolektor Datar Pemanas Udara dengan Metoda Whillier*. Samarinda: Prosiding Seminar Peningkatan Daya Saing Produk Kayu MElalui Pengembangan Teknologi Pengeringan.

Tibob, Aji. 2017. *Tinjauan Pustaka Sel Surya (fotovoltaik)*. Palembang: Politeknik Sriwidjaja.

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.

Wahyono, Danar Sri. 2020. *Peningkatan Unjuk KErja Kolektor Surya Photovoltaic/Termal (PV/T) Menggunakan Saluran Pipa Persegi*. Skripsi Teknik Mesin Universitas Lampung. Lampung

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