

SKRIPSI

**SIMULASI NUMERIK PENGARUH PENGGUNAAN
MATERIAL PCM TERHADAP EFISIENSI SISTEM PEMANAS
AIR TENAGA MATAHARI PADA PLAT ABSORBER
BERBENTUK DATAR**

Disusun dan diajukan oleh

**ANDI ZULKIFLI
D021 19 1091**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**SIMULASI NUMERIK PENGARUH PENGGUNAAN
MATERIAL PCM TERHADAP EFISIENSI SISTEM PEMANAS
AIR TENAGA MATAHARI PADA PLAT ABSORBER
BERBENTUK DATAR**

Disusun dan diajukan oleh

ANDI ZULKIFLI

D021 19 1091

Telah dipertahankan dihadapan panitia ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 20 Februari 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Prof. Dr.Eng. Ir. Jalaluddin.,ST.,MT
NIP 19720825 200003 1 001

Pembimbing Pendamping,



Prof. Dr. Rusan Tarakka., ST., MT
NIP 19750827 200501 1 002

Ketua Program Studi



Prof. Dr.Eng. Ir. Jalaluddin.,ST.,MT
NIP 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Andi Zulkifli
NIM : D021 19 1091
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul :

Simulasi Numerik Pengaruh Penggunaan Material PCM Terhadap Efisiensi Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari Pada Plat Absorber Berbentuk Datar

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasikan oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari dosen pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil dari karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 20 Februari 2024

Yang menyatakan


Andi Zulkifli

ABSTRAK

ANDI ZULKIFLI (D021191091). *Simulasi Numerik Pengaruh Penggunaan Material PCM Terhadap Efisiensi Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari Pada Plat Absorber Berbentuk Datar.* (dibimbing oleh Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT. dan Prof. Dr. Rustan Tarakka, ST., MT.)

Peningkatan pertumbuhan manusia mengakibatkan tingginya kebutuhan akan energi, dimana hal ini mengakibatkan eksplorasi energi secara besar-besaran dilakukan terutama energi fosil. Penggunaan energi fosil secara terus-menerus mengakibatkan kondisi lingkungan yang semakin buruk. Salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan menggunakan energi baru terbarukan seperti energi matahari. Alat seperti kolektor surya digunakan untuk mengumpulkan energi panas radiasi matahari yang kemudian energi panas tersebut diteruskan ke dalam air yang mengalir di dalamnya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode simulasi numerik menggunakan *CFD (Computational Fluid Dynamic)* adalah simulasi dari sistem fluida menggunakan pemodelan (formulasi matematika dan fisika) dan metode numerik, untuk menguji pengaruh variasi ketebalan dan pengaruh variasi waktu penyinaran *Phase Change Material (PCM)* sebagai *thermal storage* terhadap efisiensi sistem pemanas air tenaga matahari, percobaan yang dilakukan masing - masing menggunakan PCM dengan variasi ketebalan 4mm, 7mm dan 12mm sebagai *thermal storage* dengan parameter *flowrate* yaitu 10 liter/jam, dan penggunaan intensitas radiasi konstan yaitu 1000 m/W^2 . Hasil penelitian menunjukkan perbandingan efisiensi kolektor dengan variasi ketebalan PCM yaitu 4 mm, 7 mm dan 12 mm . Dimana dari 3 model variasi ketebalan PCM yang telah disimulasikan diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa kolektor dengan ketebalan PCM Storage 7 mm (SFP + PCM 7mm) lebih baik dalam meningkatkan efisiensi dibandingkan 2 model lainnya. Nilai efisiensi yang diperoleh SFP + PCM 7mm sebesar 84,58%. Dan dari 3 variasi waktu penyinaran PCM sebagai thermal storage yaitu 60, 120, dan 180 menit, diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa performa penyerapan panas pada kolektor memperoleh hasil yang efisien pada menit ke 180, dimana SFP + PCM 7mm merupakan efisiensi kolektor tertinggi sebesar 84,58%.

Kata Kunci: Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari, Efisiensi, SFP, *Phase Change Material*, *Computational Fluid Dynamic* , *Thermal Storage*.

ABSTRACT

ANDI ZULKIFLI (D021191091). Numerical Simulation of the Effect of PCM Material Use on the Efficiency of Solar Water Heating System on Flat Shaped Absorber Plate. (Supervised by Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT. and Prof. Dr. Rustan Tarakka, ST., MT.)

Increased human growth has resulted in a high demand for energy, which has led to massive energy exploration, especially of fossil fuels. The continuous use of fossil fuels has resulted in worsening environmental conditions. One way to overcome this is to use new renewable energy such as solar energy. Tools such as solar collectors are used to collect solar radiation heat energy which is then passed on to the water flowing in it. The method used in this research is a numerical simulation method using CFD (Computational Fluid Dynamic) is a simulation of fluid systems using modelling (mathematical and physical formulations) and numerical methods, to test the effect of thickness variations and the effect of variations in Phase Change Material (PCM) irradiation time as thermal storage on the efficiency of solar water heating systems, experiments conducted each using PCM with thickness variations of 4mm, 7mm and 12mm as thermal storage with flowrate parameters of 10 litres / hour, and the use of constant radiation intensity of 1000 m / W². The results showed a comparison of collector efficiency with PCM thickness variations of 4 mm, 7 mm and 12 mm. Where from 3 models of PCM thickness variations that have been simulated, the results show that collectors with a PCM Storage thickness of 7 mm (SFP + PCM 7mm) are better at increasing efficiency than the other 2 models. The efficiency value obtained by SFP + PCM 7mm is 84.58%. And from 3 variations of PCM irradiation time as thermal storage, namely 60, 120, and 180 minutes, the results show that the performance of heat absorption in the collector obtained efficient results at minute 180, where SFP + PCM 7mm is the highest collector efficiency which obtained an efficiency value of 84.58%.

Keywords: Solar Water Heating System, Efficiency, SFP, Phase Change Material, Computational Fluid Dynamic, Thermal Storage.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR SINGKATAN ARTI SIMBOL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
KATA PENGANTAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari.....	5
2.2 Pelat Absorber.....	6
2.3 PCM (<i>Phase Change Material</i>)	7
2.4 Tahapan Perhitungan Efisiensi Kolektor	11
2.5 <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD)	17
BAB III METODE PENELITIAN.....	22
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	22
3.2 Peralatan dan Bahan yang Digunakan	22
3.3 Prosedur Pengambilan Data Simulasi Numerik.....	24
3.4 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	42
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Perhitungan Efisiensi Kolektor.....	43
4.2 Pembahasan	48

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	59
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari.....	6
Gambar 2.	Ilustrasi Rangkaian Tahanan Termal Pada Kolektor	13
Gambar 3.	Proses CFD	17
Gambar 4.	Jenis <i>Mesh Hexahedral</i>	19
Gambar 5.	Contoh Hasil <i>Meshing</i>	20
Gambar 6.	Contoh Hasil <i>Post Processor</i>	21
Gambar 7.	Laptop	22
Gambar 8.	Logo <i>Software Ansys 2022</i>	22
Gambar 9.	Logo <i>Software Autodesk Fusin 360</i>	23
Gambar 10.	Objek penelitian pemanas air tenaga matahari 1 Pipa dengan PCM storage.....	23
Gambar 11.	Hasil <i>Mesh</i> dan Jumlah cell	25
Gambar 12.	Detail <i>Mesh</i>	25
Gambar 13.	Tampilan Proses Setup.....	26
Gambar 14.	Tampilan Tahapan General.....	27
Gambar 15.	Tampilan Tahapan Pengaktifan Persamaan Energi	28
Gambar 16.	Tampilan Tahapan Pemilihan Jenis Aliran	28
Gambar 17.	Tampilan Tahapan Radiation Model	29
Gambar 18.	Tampilan Tahapan Pengaktifan Solidifikasi Dan Pelelehan.....	29
Gambar 19.	Tampilan Sifat-Sifat Air	30
Gambar 20.	Tampilan Sifat – Sifat Udara	31
Gambar 21.	Tampilan Sifat – Sifat Tembaga	31
Gambar 22.	Tampilan Sifat – Sifat Steel	32
Gambar 23.	Tampilan Sifat – Sifat <i>Paraffin Wax</i>	32
Gambar 24.	Tampilan Sifat – Sifat Kaca.....	33
Gambar 25.	Tampilan Sifat – Sifat Gypsum	33
Gambar 26.	Tampilan <i>Cell Zone Conditions</i> untuk Part Air	34
Gambar 27.	Tampilan Bagian <i>Boundary Conditions</i>	35
Gambar 28.	Tampilan Bagian <i>Boundary Conditions</i> Untuk Part Kaca.....	35
Gambar 29.	Tampilan <i>References Value</i>	36
Gambar 30.	Tampilan Perintah <i>Solution Methodes</i>	38
Gambar 31.	Tampilan Perintah <i>Solution Controls</i>	38
Gambar 32.	Tampilan Perintah <i>Solution Initialization</i>	39
Gambar 33.	Tampilan Perintah <i>Run Calculation</i>	40
Gambar 34.	Tampilan Perintah Mengolah Data oleh <i>Software</i>	40
Gambar 35.	<i>Flowchart</i> Penelitian.....	42
Gambar 36.	Grafik Perbandingan Variasi Waktu Terhadap Temperatur Pelat Kolektor.	48
Gambar 37.	Kontur Temperatur Plat Kolektor dengan tebal PCM <i>Storage</i>	

4mm	49
Gambar 38. Kontur Temperatur Plat Kolektor dengan tebal PCM <i>Storage</i>	
7mm	50
Gambar 39. Kontur Temperatur Plat Kolektor dengan tebal PCM <i>Storage</i>	
10mm	50
Gambar 40. Grafik Perbandingan Variasi Waktu Terhadap Temperatur Air <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i>	51
Gambar 41. Kontur Temperatur Air dalam Pipa Kolektor dengan tebal PCM <i>Storage</i> 4mm.....	52
Gambar 42. Kontur Temperatur Air dalam Pipa Kolektor dengan tebal PCM <i>Storage</i> 7mm.....	52
Gambar 43. Kontur Temperatur Air dalam Pipa Kolektor dengan tebal PCM <i>Storage</i> 10mm.....	53
Gambar 44. Grafik Perbandingan Variasi Waktu Terhadap Temperatur PCM	54
Gambar 45. Kontur Temperatur PCM pada Kolektor dengan tebal PCM <i>Storage</i> 4mm.....	55
Gambar 46. Kontur Temperatur PCM pada Kolektor dengan tebal PCM <i>Storage</i> 7mm.....	55
Gambar 47. Kontur Temperatur PCM pada Kolektor dengan tebal PCM <i>Storage</i> 10mm.....	56
Gambar 48. Grafik Perbandingan Variasi Waktu Terhadap Efisiensi Kolektor	57

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Konduktivitas Termal Beberapa Bahan Kolektor Matahari tertentu	6
Tabel 2.	Jenis – Jenis PCM.....	8
Tabel 3.	Sifat Termofisik <i>Paraffin Wax</i>	9
Tabel 4.	Titik Leleh Dan Panas Peleburan Laten Beberapa Non <i>Paraffin</i>	10
Tabel 5.	Kondisi Batas Penelitian.....	26

DAFTAR SINGKATAN ARTI SIMBOL

Simbol	Arti Singkatan
V_w	Kecepatan Angin
ρ	Densitas Air
C_p	Panas Spesifik
A_c	Luas Permukaan Benda
\dot{V}	Laju Aliran Massa
C	Celsius
FPC	Flat Pelate Collector
PCM	Phase Change Material
T	Temperatur
TES	Thermal Energy <i>Storage</i>
ν	Visikositas Kinematik
W	Watt
Σ	konstanta Stefan-Boltzman = $5,6697 \times 10^{-8}$
R	Radiation / Radiasi
IT	Intensitas Cahaya
L/h	Liter per hour
J	Joule
Liquid	Cairan
Solid	Padatan
SWH	Solar Water Heater
SFP	Solar Flat Plate
ExSFP	Experimental Solar Flat Plate
g	Percepatan Gravitasi
m	Meter
mm	Milimeter
ICS	Integral Collector <i>Storage</i>
Kg	Kilogram
S	Radiasi Per Satuan Luas
Qu	Energi yang Berguna
η	Efisiensi
K	Kelvin
α	Absorbsivitas rata-rata
ϵ_p	Emisivitas Pelat Absorber
ϵ_c	Emisivitas Kaca
τ	Transmivisitas Kaca Penutup

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Properties of misoellaneous material.....	62
Lampiran 2. Tabel Properties of insulating material.....	63
Lampiran 3. Tabel properties of air at 1 atm pressure.....	64
Lampiran 4. Tabel Properties of saturated water.....	65
Lampiran 5. Tabel Pengambilan Data PCM 4 mm	66
Lampiran 6. Tabel Pengambilan Data PCM 7 mm	67
Lampiran 7. Tabel Pengambilan Data PCM 10 mm	68
Lampiran 8. Tabel Hasil Perhitungan Data PCM 4 mm.....	69
Lampiran 9. Tabel Hasil Perhitungan Data PCM 7 mm.....	70
Lampiran 10. Tabel Hasil Perhitungan Data PCM 10 mm.....	71

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim

Puji Syukur senantiasa kita panjatkan kehadirat Allah Subhanahu wata'ala, karena atas kehendak-Nya penulisan tugas akhir ini dapat terselesaikan. Tak lupa pula shalawat beserta salam kepada junjungan kita Nabi Muhammad Shallallahu 'alaihi wasallam, manusia yang menjadi panutan kita menjalani kehidupan di dunia ini. Dengan izin dan rahmat dari Allah semata penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul : **“Simulasi Numerik Pengaruh Penggunaan Material PCM Terhadap Efisiensi Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari Pada Plat Absorber Berbentuk Datar”** untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan studi serta dalam rangka memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Penghargaan dan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin ,ST., MT selaku Pembimbing Utama dan Bapak Prof. Dr. Rustan Tarakka, ST., MT selaku Pembimbing Pendamping yang telah banyak membantu baik dalam penulisan maupun pemikiran pada skripsi ini. Serta penghargaan dan terima kasih pula kepada kedua dosen penguji saya yaitu Bapak Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, ST., MT dan Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST., MT yang telah banyak memberikan masukan baik dalam hal penulisan skripsi maupun dalam membimbing saya selama proses perkuliahan. Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Almarhum H. Andi Zainuddin dan Ibu Hj. Hariyani, S.Ag beserta saudara tercinta Andi Zulfahmi yang telah menjadi sumber semangat dan motivasi penulis selama ini.
2. Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
3. Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah menyetujui dan menerima tugas akhir penulis.

5. Seluruh dosen Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah mendidik, mengajarkan, dan membagikan ilmu serta pengetahuannya sehingga penulis semakin paham akan bidang ilmu Teknik terkhusus pada bidang Teknik mesin
6. Staf Departemen Teknik Mesin, terkhusus Kak Yaya, Kak Sita dan juga Pak Arham yang telah banyak membantu.
7. HMM FT-UH yang menjadi tempat belajar dan bermain selama proses perkuliahan maupun dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Tim Anggota Riset Laboratorium Energi Terbarukan (Bapak Basri Katjo, Bapak Hasan Basri dan Kanda Muhammad Anis Ilahi R, ST., MT.)
9. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Energi Terbarukan yang setia menemani selama masa pengambilan data dan penulisan tugas akhir.
10. Saudara-saudara seperjuangan mahasiswa Departemen Teknik Mesin BRUZHLEZZ 2019 yang telah memberi semangat, dukungan, maupun doa dan kerja sama yang sudah dijalani selama ini semoga kiranya keselamatan, kesehatan, dan kesuksesan selalu menyertai teman-teman sekalian.
11. Pemilik NIM E021191018 terimakasih atas kesabaran dan pengertiannya saat saya terlihat stress dan frustrasi dalam menulis skripsi. Terima kasih selalu ada di samping saya dan memberikan dukungan yang tak terhingga.
12. Terakhir, penulis hendak menyapa setiap nama yang tak sempat penulis cantumkan satu per satu, terima kasih atas doa yang senantiasa mengalir tanpa sepengetahuan penulis. Terima kasih sebanyak-banyaknya kepada orang yang turut bersukacita atas keberhasilan penulis menyelesaikan skripsi ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan dan kekeliruan penulis serta masih jauh akan kata sempurna. Segala kekurangan dan kekeliruan berasal dari penulis yang hanya seorang manusia biasa dan Semua kebenaran berasal dari Allah SWT semata, Tulisan ini masih butuh akan sentuhan kritik, dan saran. Maka dari itu penulis memohon maaf atas kesalahan didalamnya dan semoga kebenaran yang ada dapat membantu untuk penelitian penelitian selanjutnya.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan pertumbuhan manusia mengakibatkan tingginya kebutuhan akan energi, dimana hal ini mengakibatkan eksplorasi energi secara besar-besaran dilakukan terutama energi fosil. Disamping energi fosil yang terus berkurang, penggunaan energi fosil secara terus-menerus mengakibatkan kondisi lingkungan yang semakin buruk. Ada beberapa strategi untuk menanggulangi emisi gas rumah kaca (GHG) seperti penghijauan dan pengembangan energi terbarukan. Energi matahari merupakan salah satu energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Indonesia merupakan negara tropis yang mempunyai potensi energi matahari yang tinggi, besarnya potensi radiasi yang dapat di manfaatkan sebesar 4,5 kWh/m² /hari. (Ambarita *et al.*, 2020)

Pemanfaatan energi matahari yang paling banyak yaitu untuk pemanas. Misalkan untuk pengeringan, untuk memanaskan air, untuk pertumbuhan tanaman dan lain sebagainya. Salah satu pengaplikasian penghasil termal yang banyak digunakan yaitu penggunaan kolektor surya sebagai penghasil air panas. Jenis alat pemanas air tenaga surya yang banyak digunakan yaitu kolektor plat datar, dimana kolektor ini sangat disukai dikarenakan pengoperasiannya yang mudah dan biaya yang dibutuhkan murah. Untuk mendapatkan pemanas air tenaga surya yang optimum banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mendapatkan efesiensi optimum dari pemanas air tenaga matahari. (Ambarita *et al.*, 2020)

Karena Indonesia memiliki sumber energi matahari yang besar dan membutuhkan energi untuk menghasilkan air panas, energi matahari dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk menghasilkan air panas. Teknologi yang digunakan untuk menghasilkan air panas dari energi surya ini biasa dikenal dengan sistem pemanas air tenaga matahari.

Berbagai komponen telah dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi termal pemanas air tenaga surya, salah satunya dengan memodifikasi pelat absorber dari kolektor surya. Jalaluddin, dkk (2016) mempelajari dua sistem pemanas air tenaga surya yaitu pelat datar dan pelat V. Kedua pemanas air tenaga surya tersebut diuji pada kecepatan aliran rendah 0,5 L/menit dan laju aliran tinggi 2 L/menit.

Sistem pemanas air tenaga surya dengan plat absorber berbentuk V ditemukan 3,6-4,4% lebih efisien daripada sistem dengan plat datar karena kemampuannya menyerap panas.

Penelitian terkait penyimpanan energi panas juga dilakukan oleh Andi Syahrinaldy Syahrudin (2020) untuk menganalisis kinerja pemanas air tenaga surya menggunakan panel kolektor yang terintegrasi dengan penyimpanan PCM. Ditemukan bahwa efisiensi meningkat sebesar 3,25% karena peningkatan penyerapan panas pelat absorber.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Garnier et al (2018) mempresentasikan analisis *computational fluid dynamics* (CFD) dengan profil aliran internal dan perpindahan panas dalam kolektor, dan membandingkan kinerjanya dengan prototipe yang dikembangkan sebelumnya melalui pengujian eksperimental. Studi simulasi pemanas air tenaga surya juga dipelajari oleh Badiei et al (2019) dengan kolektor pelat datar terintegrasi dengan lapisan PCM dan distribusi suhu yang diperoleh juga dianalisis selama dua hari yang berbeda, pada musim panas dan musim dingin di Shiraz, Iran. Hasil menunjukkan bahwa meskipun sistem dengan PCM memiliki suhu *outlet* yang lebih rendah di pagi hari, air panas dapat dialirkan lebih lama di malam hari selama penggunaan.

Berdasarkan kajian yang telah dibahas sebelumnya dapat disimpulkan bahwa simulasi numerik dengan analisa *computational fluid dynamic* (CFD) sangat penting dilakukan sebelum menghadirkan sebuah *prototipe* dari suatu alat. Pada penelitian kali ini, penyimpanan panas pada pemanas air tenaga matahari dilakukan dengan memanfaatkan media penyimpanan berbasis *phase change material* (PCM), seperti *paraffin wax* disimulasikan dan diteliti secara komputasi. Dengan penggunaan material ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi sistem pemanas air tenaga matahari.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka akan dilakukan penelitian dengan judul: **“SIMULASI NUMERIK PENGARUH PENGGUNAAN MATERIAL PCM TERHADAP EFISIENSI SISTEM PEMANAS AIR TENAGA MATAHARI PADA PLAT ABSORBER BERBENTUK DATAR”**

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi volume ketebalan PCM sebagai *thermal storage* pada pelat absorber berbentuk datar terhadap efisiensi sistem pemanas air tenaga matahari?
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu penyinaran PCM sebagai *thermal storage* pada pelat absorber berbentuk datar terhadap efisiensi sistem pemanas air tenaga matahari?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk menganalisis pengaruh variasi ketebalan PCM sebagai *thermal storage* pada pelat absorber berbentuk datar terhadap efisiensi sistem pemanas air tenaga matahari.
2. Untuk menganalisis pengaruh variasi waktu penyinaran PCM sebagai *thermal storage* pada pelat absorber berbentuk datar terhadap efisiensi sistem pemanas air tenaga matahari.

1.4 Batasan Masalah

1. Pemodelan geometri yang disimulasikan berbentuk potongan simetri dari bentuk aslinya yang masing-masing terdiri dari satu buah pipa, satu buah plat absorber dengan PCM *storage*.
2. Intensitas radiasi matahari yang digunakan 1000 w/ms^2 .
3. Material pelat absorber yang digunakan adalah pelat tembaga dengan ketebalan 0,5 mm.
4. Penggunaan material pada *thermal storage* yang digunakan berbasis PCM (*Phase Change Material*) dengan jenis *paraffin wax* yang berdimensi 30 x 26,4 cm dengan ketebalan 4 mm, 7mm, 10mm.
5. Laju aliran yang di gunakan 10 liter per jam
6. *Software* yang digunakan adalah *Ansys Fluent* dan *Autodesk Fusion 360*.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Menjadi referensi untuk penelitian serupa kedepannya.
2. Memberikan informasi tentang simulasi numerik sebuah sistem pemanas air tenaga matahari dengan modifikasi pelat absorber berbentuk datar.

3. Memberikan informasi mengenai perbandingan sebuah eksperimen yang dilakukan di lapangan dengan hasil simulasi numerik yang dilakukan secara komputasi.
4. Memberikan penjelasan bagaimana sebuah *thermal storage* berpengaruh pada efisiensi sistem pemanas air tenaga matahari.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari

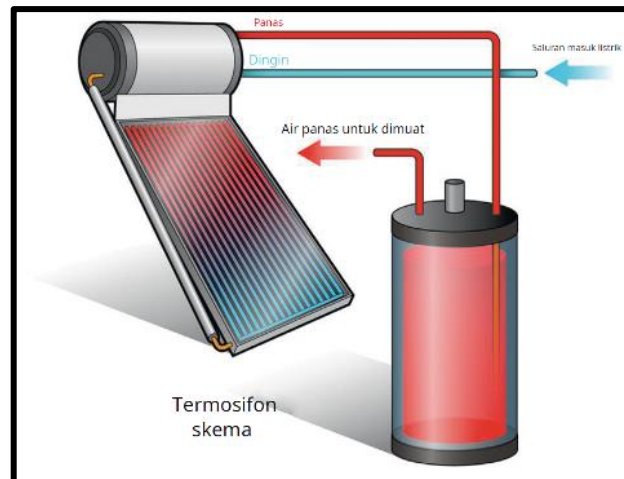
Sistem pemanas air tenaga matahari adalah suatu jenis pemanas air yang mengandalkan matahari sebagai sumber energi untuk memanaskan air. Sistem pemanas air tenaga matahari sering kita lihat sudah terinstal di berbagai rumah, karena pemanas dengan tipe atau jenis ini dikenal lebih hemat energi dibandingkan dengan pemanas yang menggunakan listrik sebagai sumber energinya (Gihon Matondang, Azridjal Aziz, 2016)

Sistem pemanas air tenaga matahari merupakan cara termurah dan ramah lingkungan untuk mendapatkan air panas dan mengkonsumsi sekitar 20% dari total konsumsi energi keluarga. Sistem pemanas air tenaga matahari digunakan untuk mengubah energi matahari menjadi energi panas melalui berbagai jenis kolektor panas matahari untuk mendapatkan energi panas, bukan listrik (Kalogirou, 2004).

Sistem pemanas air tenaga matahari yang banyak digunakan umumnya adalah jenis kolektor pelat datar dengan komponen utamanya pipa pemanas (riser) dan pelat absorber. Pipa pemanas dan pelat absorber umumnya terbuat dari tembaga, absorber berfungsi untuk menambah luasan penerima panas dari energi matahari (berfungsi sebagai sirip bagi pipa pemanas). Pipa pemanas direkatkan pada pelat absorber dengan cara dilas/solder. Pemanas air tenaga matahari jenis pelat datar yang terbuat dari pipa dan pelat tembaga mempunyai efisiensi yang baik untuk kondisi cuaca di Indonesia, hal ini disebabkan karena tembaga merupakan bahan dengan sifat hantar panas yang baik (Sambada, 2019).

Prinsip kerja sistem pemanas air tenaga matahari dengan menggunakan plat datar, yaitu bahwa air yang masuk ke dalam kolektor melalui pipa distribusi yang akan mendapatkan panas yang baik melalui radiasi langsung matahari maupun konveksi. Hal ini disebabkan energi radiasi matahari di dalam kolektor yang dibatasi kaca bening tembus cahaya. Terjadinya perpindahan panas terhadap pipa pipa distribusi maka temperatur air di dalam pipa tersebut akan secara langsung bertambah, hal tersebut mengakibatkan adanya perbedaan massa jenis. Air yang bersuhu tinggi memiliki massa jenis yang lebih kecil, sehingga cenderung akan

mengalir ke arah yang lebih tinggi. Sebaliknya air yang bersuhu rendah memiliki massa jenis yang lebih besar dan cenderung akan bergerak ke bawah, sehingga terjadi konveksi secara alami (Junianto and Slamet, 2019). Sistem pemanas air tenaga matahari ditampilkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari (Hudon, 2013)

2.2 Pelat Absorber

Untuk memaksimalkan terjadinya perpindahan panas yang baik dari absorber ke pipa-pipa pemanas, bahan dasar absorber harus mempunyai konduktivitas termal yang baik. Beberapa bahan dasar yang dapat dipakai sebagai absorber diberikan seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Konduktivitas termal beberapa bahan kolektor matahari tertentu

Bahan	Konduktivitas termal (k), W/(m.K)
Tembaga	385.0
Aluminium	211.0
Timah putih	66.0
Baja, 1% karbon	45.0
Baja tahan karat	16.0

Lembaran kaca transparan digunakan sebagai penutup permukaan kolektor. Penutup kaca ini berfungsi sebagai alat pelindung kolektor dari kerusakan oleh faktor luar (misalnya debu dan hujan), tetapi juga karena sifatnya sebagai penjebak panas atau gelombang inframerah. Seperti diketahui bahwa kaca memiliki sifat transparan terhadap gelombang ultraviolet dan cahaya tampak (kedua jenis gelombang cahaya ini mendominasi radiasi matahari), tetapi tidak transparan

terhadap gelombang sinar inframerah sebagaimana yang terjadi pada efek rumah kaca, sehingga kerugian panas akibat radiasi dari permukaan absorber keluar kolektor dapat diminimalkan. Meskipun demikian masih terdapat kerugian panas ke permukaan karena pengaruh konveksi udara yang bergerak di dalam ruang antara pelat absorber dan kaca. Kerugian panas konveksi ini pada kenyataannya justru mengambil porsi yang terbesar sekitar 70 % - 80 % dari total kerugian panas ke permukaan, menyebabkan efisiensi termal kolektor menjadi rendah sekitar 20 % - 40 % (A. Samanci and A. Berber, 2011)

2.3 PCM (*Phase Change Material*)

Penyimpanan energi bisa dilakukan dalam bentuk panas sensibel, panas laten, atau hasil energi kimia yang dapat balik (*reversibel*). Energi yang disimpan tersebut tidak hanya digunakan untuk memanaskan suatu fluida, tetapi juga mampu untuk mendinginkan atau mempertahankan temperatur suatu fluida agar tetap konstan. Penyimpanan energi kimia belum digunakan secara praktis. Hal ini disebabkan biaya dan penggunaannya memerlukan perhatian khusus. Saat ini, penelitian tentang material penyimpan panas dipusatkan pada panas sensibel dan panas laten. Panas laten merupakan suatu bahan akan mengalami perubahan temperatur bila terjadi perpindahan panas antara benda dengan lingkungannya. Pada suatu situasi tertentu, aliran panas ini tidak merubah temperaturnya. Hal ini terjadi bila bahan mengalami perubahan fasa. Misalnya padat menjadi cair (mencair), cair menjadi uap (mendidih) dan perubahan struktur kristal (zat padat). Energi yang diperlukan disebut panas transformasi atau biasa juga disebut kalor transformasi. Kalor yang diperlukan untuk merubah fasa dari materi bermassa m adalah (A. Sharma, 2007) :

Adapun cara untuk merubah fasa dari materi bermassa m , maka digunakan persamaan berikut :

$$Q = m L_e \quad (1)$$

Dimana: Q : Kalor laten zat (J)
 L_e : Kapasitas kalor spesifik laten (J/kg)
 M : Massa zat (kg)

PCM diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu organik dan non organik. PCM organik merupakan PCM dari golongan hidrokarbon, asam/ester atau garam, alkohol, freon, dan polimer. Keuntungan penggunaan PCM organik adalah sifat fisik dan kimia yang stabil dan perilaku termal material yang baik. Kerugian penggunaan PCM ini adalah konduktifitas termal rendah, massa jenis rendah, titik lebur rendah, kelembapan tinggi, mudah terbakar, dan perubahan volume. PCM non organik merupakan campuran unsur metal pembentuk garam. Keuntungan penggunaan PCM non organik adalah penyimpanan energi yang tinggi, konduktifitas termal tinggi, dan tidak mudah terbakar. Kerugian penggunaan PCM ini adalah mudah menyebabkan pengkaratan, pemisahan unsur ketika terjadi perubahan fasa, dan penurunan temperatur yang drastic (M. Chaabane,2013).

A. PCM Organik

PCM organik dapat berupa alifatik atau organik lain. Umumnya PCM organik mempunyai rentang temperatur yang rendah. PCM organik mahal dan mempunyai rata – rata panas laten per satuan volume serta densitas yang rendah. Sebagian besar PCM organik mudah terbakar di alam. PCM organik dapat dibedakan sebagai *paraffin* dan *non paraffin*, seperti yang ditunjukkan **Tabel 2** mengenai jenis-jenis PCM.

Tabel 2. Jenis-Jenis PCM

Jenis PCM	Titik leleh (°C)	Panas peleburan laten (kJ/kg)
<i>Paraffin</i>	47,5	232
Azobenzene	67,1	121
Acetic acid	16,7	184
K ₂ HPO ₄ ·6H ₂ O	14	109
Galium	30	80,3
CaCl ₂ ·MgCl ₂ ·6H ₂ O	14,4	140

1) *Paraffin Wax*

Paraffin wax digunakan pada pengaplikasian titik didih zat cair yang rendah karena biayanya yang rendah dan sifat fisik kimianya, diantaranya pengering, pemanas, dan pemanas air rumah tangga. Kerugian utamanya dikarenakan rendahnya konduktivitas termal yaitu sebesar 0.2 W/mK. Solusi untuk ini adalah dengan

menggabungkan PCM dengan material konduktivitas termal yang tinggi seperti aluminium, tembaga, dan lain-lain. Sifat-sifat termofisik *paraffin wax* dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Sifat termofisik *paraffin wax*

Sifat Termofisik	Nilai	
	Solid	Cair
Densitas, g/cm ³	0,861	0,778
Panas Spesifik	1900	2300
Titik Leleh, °C	47,5	
Panas Laten	200 ± 10	

Paraffin wax adalah campuran senyawa hidrokarbon alkane $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)-CH}_3$. Kristalisasi CH_3 melepaskan sejumlah panas laten. Titik leleh dan panas peleburan laten meningkat dengan semakin panjangnya rantai. Kualifikasi *paraffin* sebagai bahan penyimpanan panas laten disebabkan oleh rentang temperaturnya yang sangat luas. lilin *paraffin* aman digunakan, dapat diprediksi, rendah biaya, dan tidak korosif. Sifat kimianya stabil dibawah temperatur 500 °C, yang menunjukkan perubahan volume kecil untuk melelehkan dan memiliki tekanan uap rendah dalam bentuk leleh. Untuk sifatnya, *paraffin* menggunakan sistem yang biasanya memiliki siklus beku-leleh yang sangat panjang. Sifat termal dari beberapa tingkatan campuran *paraffin* tidak benar-benar murni. Titik leleh dari kenaikan alkana dengan menaikkan jumlah atom karbon. Sebagian dari beberapa karakteristik umum *paraffin* seperti pelelehan kongruen dan sifat nukleasi yang baik. *paraffin* menunjukkan sifat yang tidak diinginkan seperti : konduktivitas termal yang rendah, tidak cocok dengan bahan yang mengandung plastik, dan mudah terbakar. Semua efek yang tidak diinginkan sebagiannya dapat dieliminasi dengan sedikit memodifikasi lilin dan penyimpanannya (A. Reyes, 2013).

2) *Non Paraffin*

PCM dari bahan *non paraffin* merupakan PCM yang banyak ditemui dengan variasi sifat yang cukup banyak. Masing – masing bahan ini mempunyai karakteristik / sifat khusus tidak seperti *paraffin* yang mempunyai sifat hampir sama. Jenis ini merupakan kategori terbanyak dari PCM. Diantara bahan – bahan *non paraffin*

tersebut yang paling banyak adalah jenis ester, asam lemak, alkohol dan jenis – jenis glikol. Kelompok ini sering kali dibedakan menjadi kelompok asam lemak dan organik *non paraffin* lain. Bahan – bahan ini umumnya mudah menyala dan tidak boleh dibiarkan pada temperatur tinggi, dekat nyala dan bahan pengoksidasi. Penjelasan mengenai PCM *non paraffin* dan PCM asam lemak dapat dilihat pada **Tabel 4.**

Tabel 4. Titik leleh dan panas peleburan laten beberapa non parafin

Material	Titik Leleh (°C)	Panas Laten (kJ/kg)
Formic Acid	7,8	247
Caprylic Acid	16,3	149
Glycerin	17,9	198,7
a-Lactic acid	26	184
Methyl palmitat	29	205
Phenol	41	120
Bee Wax	61,8	177
Gyolic Acid	63	109
Azobenzene	67,1	121
Acrylic Acid	68,0	115
Glutaric Acid	97,5	156
Catechol	104,3	207
Quenon	115	171
Benzoic Acid	124	167
Benzamide	127,2	169,4
Oxalate	54,3	178
Alpha Naphtol	96	163

Dari penjelasan mengenai PCM di atas, dapat kita simpulkan bahwa pemilihan PCM yang tepat untuk penggunaan pemanas air tenaga matahari merupakan metode yang sangat penting untuk dilakukan pada penelitian mengenai pemanas tenaga matahari terkhusus untuk *system thermosifon*. Pernyataan ini sejalan dengan hasil penelitian yang pernah ada yaitu pengintegrasian *paraffin wax* dan air sebagai material

penyimpanan kalor yang telah dilakukan secara eksperimental pada pemanas air tenaga matahari jenis *thermosifon* dimana penggunaan PCM tersebut mengindikasikan bahwa alat penukar kalor cukup efektif sehingga memberi keuntungan secara termal (M. Nadjib, 2016).

2.4 Tahapan Perhitungan Efisiensi Kolektor

Untuk kondisi *steady*, kinerja sebuah kolektor ditentukan oleh kesetimbangan energi melalui distribusi energi matahari sebagai sumber kalor (*energi gain*), kehilangan termal (*thermal losses*), dan kehilangan optikal (*optical losses*). Besarnya energi yang berguna pada kolektor dinyatakan dengan persamaan (Beckman et al., 2021):

A. Laju Aliran air yang bekerja dalam system

Untuk mengkonversi satuan laju aliran massa yang bekerja dalam sistem dari L/h ke m³/s maka digunakan persamaan (Beckman et al., 2021) :

$$\dot{V} = \frac{F}{t} \quad (2)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \text{Laju Aliran Massa (m}^3\text{/s)} \\ F &= \text{Laju Aliran (L/h)} \\ t &= \text{Waktu (s)} \end{aligned}$$

B. Kalor yang berguna pada kolektor

Adapun untuk mengetahui kalor yang berguna pada kolektor maka digunakan persamaan berikut (Beckman et al., 2021) :

$$Qu = A_c \cdot [S - U_L(T_{pm} - T_a)] \quad (3)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} Qu &= \text{Kalor yang berguna (kW)} \\ A_c &= \text{Luas Kolektor (m}^2\text{)} \\ S &= \text{Radiasi Cahaya yang diserap per satuan luas (kW/m}^2\text{)} \\ U_L &= \text{Koefisien Perpindahan panas (kW/m}^2\text{.K)} \\ T_{pm} &= \text{Temperatur rata-rata pelat (K)} \end{aligned}$$

T_a = Temperatur Ambien (K)

Selain itu, besarnya energi berasal dari fluida kerja melalui perbedaan temperatur masuk dan keluar pada kolektor dapat diketahui melalui persamaan berikut :

$$Qu = \dot{m} \cdot Cp \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (4)$$

Dimana:

Qu = Kalor yang berguna (kW)

\dot{m} = Laju aliran massa air (kg/s)

Cp = Panas spesifik air (kJ/kg.K)

T_{in} = Temperatur air masuk ke kolektor (K)

T_{out} = Temperatur air keluar dari kolektor (K)

C. Efisiensi Teoritis Kolektor

Adapun efisiensi kolektor pada periode waktu yang konstan dapat ditentukan dengan persamaan (Beckman et al., 2021) :

$$\eta = \frac{Qu}{I_T \cdot A_c} \quad (5)$$

Dimana:

η = Efisiensi (%)

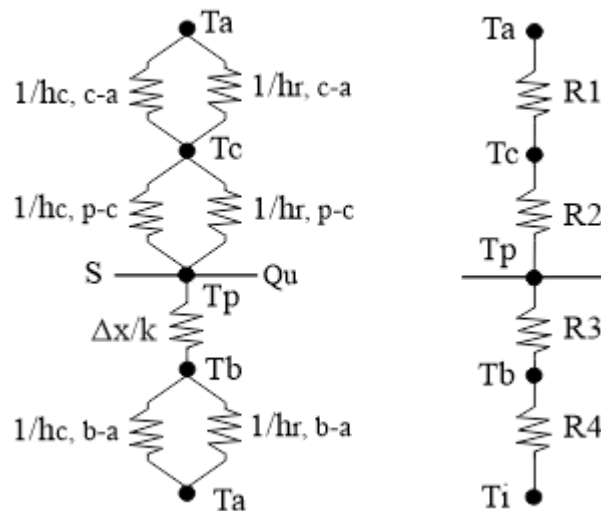
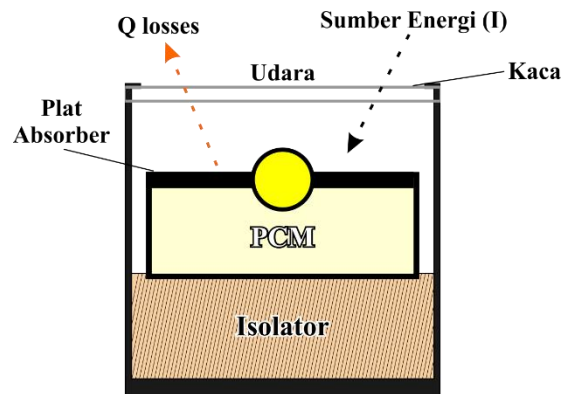
I_T = intensitas matahari total pada periode waktu sama (kW/m²)

Qu = panas yang berguna (kW)

A_c = Luas Kolektor (m²)

Adapun tahap perhitungan dalam mencari kerugian kalor sebagai berikut:

1. Analisis perpindahan panas



Gambar 2. Ilustrasi Rangkaian Tahanan Termal pada Kolektor

A. Koefisien perpindahan panas konveksi antara kaca penutup dengan udara luar. Koefisien perpindahan panas konveksi oleh kaca penutup transparan udara luar, didasarkan pada hembusan angin diatas penutup transparan (Munahar,2015) :

$$h_w = 0,86Re^{1/2}Pr^{1/3} \quad (6)$$

Dimana:

Re = Bilangan Reynolds

Pr = Bilangan Prandtl

B. Koefisien perpindahan panas radiasi antara kaca penutup dengan udara luar. Koefisien perpindahan panas antara kaca penutup dan udara luar dapat dihitung melalui persamaan (Holman, 1981) :

$$h_{r_{c-a}} = \varepsilon_c \sigma (T_c^2 + T_s^2) (T_c + T_s) \quad (7)$$

$$T_s = 0,5552 T_a^{1,5} \quad (8)$$

Dimana:

$h_{r_{c-a}}$ = koefisien perpindahan panas radiasi (penutup dan udara luar) (W/m².K)

ε_c = Emisivitas penutup

σ = konstanta Stefan-Boltzman ($5,6697 \times 10^{-8}$, W/m²k⁴)

T_c = temperatur penutup (K)

T_s = temperatur sky (K)

T_a = temperatur lingkungan (K)

C. Koefisien perpindahan panas konveksi antara pelat absorber dengan kaca penutup.

Koefisien perpindahan panas konveksi antara pelat absorber dengan penutup didekati dengan persamaan berikut (Munahar,2015) :

$$h_{c_{p-c}} = \frac{Nu \cdot K}{L} \quad (9)$$

$$Nu = 1 + 1,44 \left[1 - \frac{1708(\sin 1,8\beta)^{1,6}}{Ra \cos \beta} \right] \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right]^+ + \left[\left(\frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right] \quad (10)$$

Dimana:

Ra = Bilangan Rayleigh

β = sudut kemiringan (°)

L = panjang karakteristik penutup (m)

D. Koefisien perpindahan panas radiasi pelat dan penutup.

Koefisien perpindahan panas radiasi pelat dan penutup dapat dihitung melalui persamaan berikut (Holman, 1981) :

$$h_{r_{p-c}} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad (11)$$

Dimana:

$h_{r_{p-c}}$ = Koefisien perpindahan panas radiasi pelat-penutup
(W/m².K)

ε_c = emisivitas penutup

ε_p = emisivitas pelat

T_p = temperatur pelat

T_c = temperatur penutup

E. Koefisien perpindahan panas total kolektor.

Koefisien perpindahan panas total kolektor dapat dihitung melalui persamaan berikut (Munahar, 2015) :

$$U_t = \left(\frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} + \frac{1}{h_w + h_{r,c-a}} \right)^{-1} \quad (12)$$

$$U_b = \frac{1}{\frac{L_c}{k_c} + \frac{L_{pcm}}{k_{pcm}} + \frac{L_{Besil}}{k_{Besil}} + \frac{L_i}{k_i}} \quad (13)$$

$$U_L = U_t + U_b \quad (14)$$

Dimana:

U_t = koefisien perpindahan panas bagian atas kolektor atas (W/m².K).

U_b = koefisien perpindahan panas bagian bawah kolektor (W/m².K).

U_L = koefisien perpindahan panas total kolektor (W/m².K).

L_c = ketebalan pelat tembaga penutup material penyimpan panas (m).

k_c = konduktivitas pelat tembaga penutup material penyimpan panas
(W/m.K).

L_{pcm} = ketebalan material *Paraffin Wax* (m).

k_{pcm} = konduktivitas termal *Paraffin Wax* (W/m.K).

L_{Besi} = ketebalan pelat besi *casing* material penyimpan panas (m).

k_{Besi} = konduktivitas pelat besi *casing* material penyimpan panas (W/m.K).

L_i = ketebalan isolator (m).

k_i = konduktivitas termal isolator (W/m.K).

F. Kerugian panas kolektor

Kerugian panas kolektor dapat dihitung melalui persamaan (Munahar, 2015) :

$$Q_{loss} = U_L(T_i - T_a) \quad (15)$$

Dimana:

Q_{loss} = Panas yang terbuang (W/m²)

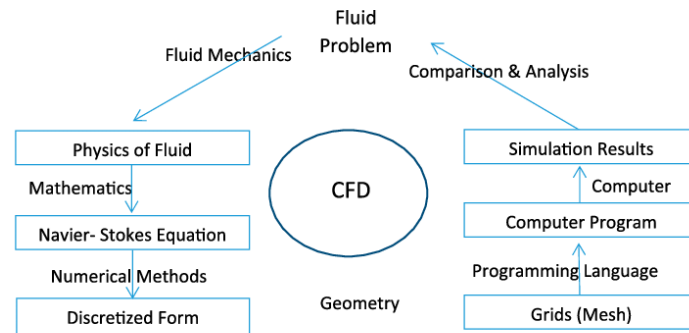
U_L = koefisien perpindahan panas total kolektor (W/m².K).

T_i = temperatur *inlet* (K).

T_a = temperatur Udara (K).

2.5 Computational Fluid Dynamics (CFD)

CFD adalah simulasi dari sistem fluida menggunakan pemodelan (formulasi matematika dan fisika) dan metode numerik. Proses dari CFD dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Proses dari CFD (W. Zuo, 2005)

Proses dari CFD terkait dengan penyelesaian persamaan kontinuitas, momentum dan energi mengenai dinamika fluida menggunakan simulasi berbasis komputer, dapat dilihat sebagai berikut :

- 1) Pertama-tama kita memiliki permasalahan fluida.
- 2) Mengetahui properti fisik dari fluida tersebut menggunakan Mekanika Fluida.
- 3) Menggunakan persamaan matematika untuk menjelaskan properti fisik ini, yaitu persamaan Navier-Stokes.
- 4) Menyelesaikan persamaan Navier-Stokes menggunakan komputer, dengan cara menerjemahkannya kedalam bentuk diskret (terpisah-pisah), menggunakan metode diskritisasi numerik, seperti *Differensial* Hingga, Elemen Hingga, dan Metode Volume Hingga.
- 5) Membagi keseluruhan permasalahan menjadi bagian-bagian yang lebih kecil (*meshing*), karena pendiskreditan bergantung pada bagian-bagian kecil tersebut.
- 6) Kemudian permasalahan tersebut diselesaikan oleh program setelah melakukan serangkaian perhitungan.
- 7) Memperoleh hasil simulasi
- 8) Membandingkan dan menganalisis hasil eksperimen dan komputasi
- 9) Mengulangi proses simulasi apabila terdapat ketidakkonsistenan hasil. (W. Zuo, 2005)

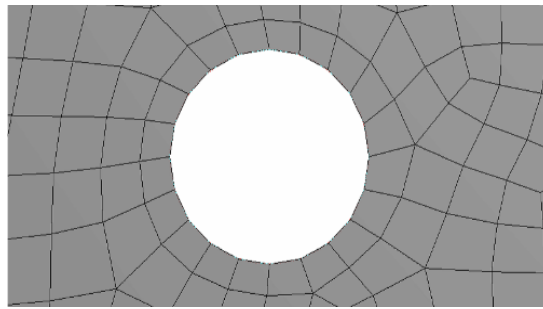
Secara garis besar, proses melakukan simulasi menggunakan *software CFD* dibagi menjadi 3 proses utama, yaitu:

1) *Pre processor*

Pre processor merupakan tahapan awal analisa CFD dimana penentuan masalah, pemodelan awal, dan penginputan data, serta pendefinisian domain dan pendefinisian kondisi batas (*boundary condition*) dilakukan. Dengan mengasumsikan bahwa kolektor merupakan sebuah rangkaian sederhana dari kolektor pelat datar, kondisi batas seharusnya memiliki kedua mekanisme perpindahan panas konveksi dan radiasi, kecuali untuk permukaan bawah dan depannya. Sementara itu, kondisi batas utama pada pelat kolektor yang dimasukkan adalah intensitas radiasi matahari, temperatur lingkungan, dan laju aliran massa (*flow rate*) air di titik masuk dan keluarnya, adapun dinding sisi bawah dan samping pada sistem diperlakukan adiabatik, yang mana dimaksudkan material terisolasi untuk meminimalisir terjadinya kehilangan panas pada kolektor (Woyessa,2020)

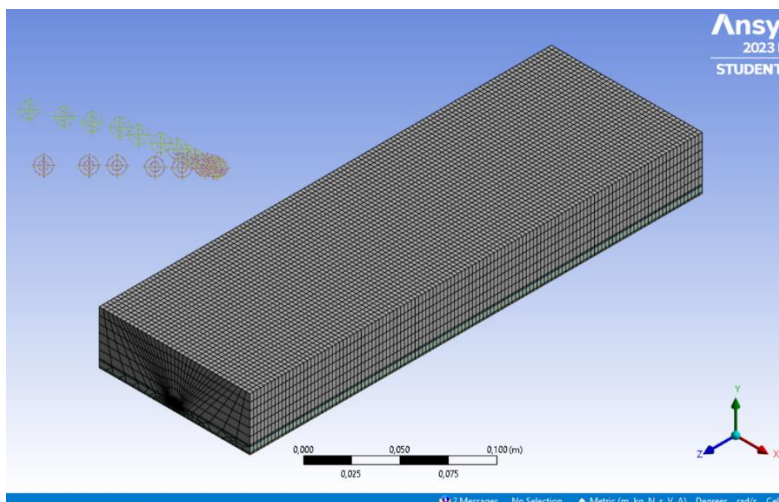
Seperti halnya pada simulasi numerik pada penelitian – penelitian yang sudah ada sebelumnya, simulasi numerik pada penelitian ini menggunakan temperatur lingkungan (T_a) dan laju aliran massa air hasil pengambilan data eksperimen. Begitu pula pada permukaan / dinding bawah dan sisi keliling dari kolektor tidak dimasukkan pada kondisi batas karena didefenisikan sebagai isolasi akan tetapi untuk sisi kiri dan kanan pelat absorber didefenisikan sebagai dua sisi simetris karena pelat absorber yang disimulasikan merupakan potongan satu pipa dari tiga pipa pada kolektor yang diuji secara eksperimental.

Selanjutnya pada tahapan *pre processor* ini, sebuah benda atau model yang akan dianalisa dibagi-bagi dalam jumlah *grid* tertentu yang terdiri dari sejumlah node N pada setiap volume kontrol, proses ini biasanya dikenal dengan istilah *meshing*. Jenis *mesh* yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Jenis *mesh hexahedral*

Gambar 4 menampilkan jenis *mesh hexahedral*, *mesh hexahedral* adalah generalisasi 3D dari *mesh* segi empat 2D, namun tidak harus dengan susunan titik kubik (yaitu Cartesian). Dengan kata lain, *mesh* Cartesian adalah bagian dari *mesh* heksahedral, tetapi tidak sebaliknya. Sebaliknya, *mesh* heksahedral memberikan kebebasan untuk memperkirakan kurva atau tikungan pada permukaan datar dengan memvariasikan sudut antara permukaan segi empat di sepanjang *mesh*. Semakin kecil ukuran *mesh* akan menghasilkan hasil komputasi yang lebih detail dan akurat, namun akan menambah jumlah elemennya, sehingga akan membutuhkan *effort* komputasi yang lebih tinggi. Jumlah total node N dalam *grid* yang dihasilkan dibatasi oleh kapasitas memori komputer dan waktu operasi CPU. Waktu dan keakuratan simulasi juga bergantung pada ukuran dan jumlah *grid*. Jumlah *grid* yang tinggi akan menghasilkan akurasi yang baik begitu pula sebaliknya. Namun, jumlah *grid* yang tinggi akan membuat waktu yang diperlukan untuk simulasi akan semakin lama sehingga waktu beroperasi CPU juga akan meningkat, begitu juga dengan banyaknya kapasitas memori komputer yang digunakan akan semakin besar. Hal ini membuat proses *meshing* menjadi sebuah tantangan tersendiri dalam melakukan proses simulasi numerik berbasis CFD dikarenakan sangat bergantung pada spesifikasi komputer yang digunakan. Pada **Gambar 5** di bawah ini, kita bisa melihat contoh dari hasil proses *meshing* dengan metode CFD (Wiratama,2021).



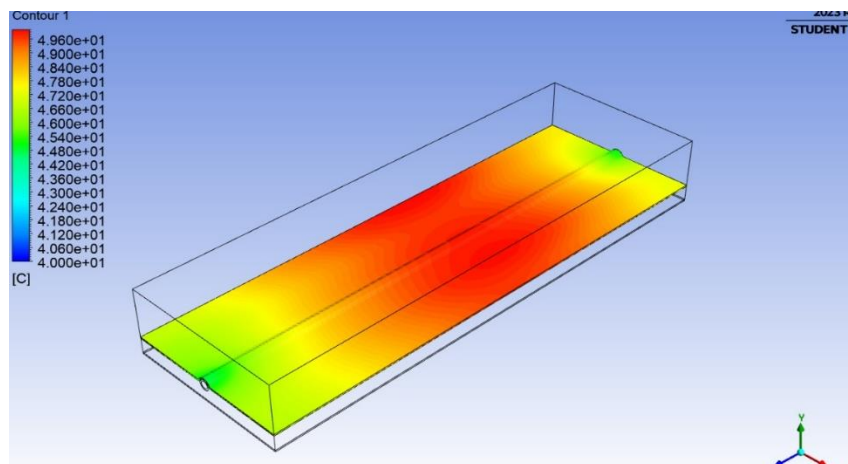
Gambar 5. Contoh hasil *meshing*

2) *Processor*

Pada tahap ini dilakukan proses penghitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya penghitungan dilakukan hingga hasil menuju eror terkecil atau sering disebut konvergen. Penghitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap volume kontrol dengan proses integrasi persamaan didiskritkan dan dipecahkan secara iteratif untuk setiap volume atur. Hasilnya adalah aproksimasi dari nilai setiap variabel pada titik tertentu dalam domain. Dengan cara ini didapatkan gambaran penuh perilaku aliran yang diinginkan (Wiratama,2021).

3) *Post Processor*

Post processor merupakan hasil perhitungan simulasi yang kemudian diinterpretasikan kedalam bentuk gambar, grafik, atau bahkan animasi dengan pola-pola warna tertentu. Pola warna ini memiliki maknanya masing-masing, misalnya bagian yang bertemperatur tinggi digambarkan dengan warna kuning hingga merah, dan bagian yang memiliki temperatur lebih rendah digambarkan dengan warna hijau hingga biru seperti **Gambar 6** (Wiratama, 2021)



Gambar 6. Contoh hasil *post processor*

Hingga saat ini, *software* CFD tidak hanya digunakan oleh *designer* atau analis dengan ilmu dasar mengenai numerik, melainkan setiap orang bisa menggunakannya karena tersedia dan dapat diakses pada laman pencarian internet. *Software* CFD yang umum digunakan diantaranya ANSYS CFX, FLUENT, STAR-CD, FEMLAB, FEATLOW, dan masih banyak lagi seiring dengan perkembangan kebutuhan teknologi.