



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



# ANALISIS POTENSI ENERGI LISTRIK SOLAR KOLEKTOR JENIS *PARABOLIC TROUGH* TERINTEGRASI *ORGANIC* *RANKINE CYCLE* (ORC) DI RIAU

## TUGAS AKHIR

Dijadikan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada  
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi



UIN SUSKA RIAU

Oleh:

MUHAMMAD AZLAN

11655103689

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU  
PEKANBARU

2023



**LEMBAR PERSETUJUAN**

**ANALISIS POTENSI ENERGI LISTRIK SOLAR KOLEKTOR JENIS  
PARABOLIC THROUGH TERINTEGRASI ORGANIC  
RANKINE CYCLE (ORC) DI RIAU**

**TUGAS AKHIR**

Oleh :

**MUHAMMAD AZLAN**  
**11655103689**

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Prodi Teknik Elektro di Pekanbaru, pada tanggal 11 Juli 2023

**Ketua Program Studi**

**Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T.**  
**NIP. 19721021 200604 2 001**

**Pembimbing I**

**Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc.**  
**NIK. 130517054**

UIN SUSKA RIAU

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

# LEMBAR PENGESAHAN

## ANALISIS POTENSI ENERGI LISTRIK SOLAR KOLEKTOR JENIS PARABOLIC THROUGH TERINTEGRASI ORGANIC RANKINE CYCLE (ORC) DI RIAU

### TUGAS AKHIR

Oleh :

**MUHAMMAD AZLAN**

**11655103689**

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau  
di Pekanbaru, pada tanggal 11 Juli 2023

Pekanbaru, 11 Juli 2023

Mengesahkan,

Ketua Program Studi

**Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T.**  
NIP:19721021 200604 2 001

Dekan

**Dr. Hariono, M.Pd.**  
NIP:19640301 199203 1 003

### DEWAN PENGUJI :

**Ketua** : Ahmad Faizal, S.T., M.T.

**Sekretaris I** : Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc.

**Anggota I** : Dr. Liliana, S.T., M.Eng

**Anggota II** : Nanda Putri Miefthawati, B.Sc., M.Sc.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : MUHAMMAD AZLAN  
NIM : 11655103689  
Tempat/Tgl. Lahir : Naumbai, 12 Juni 1998  
Fakultas/Pascasarjana : Sains dan teknologi  
Prodi : Teknik Elektro

Judul Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya\*:

Analisis Potensi Energi Listrik Solar Kolektor Jenis Parabolik  
Trough Terintegrasi Organic Rankine Cycle (ORC) Di Riau

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa :

1. Penulisan Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya\* dengan judul sebagaimana tersebut di atas adalah hasil pemikiran dan penelitian saya sendiri.
2. Semua kutipan pada karya tulis saya ini sudah disebutkan sumbernya.
3. Oleh karena itu Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya\* saya ini, saya nyatakan bebas dari plagiat.
4. Apa bila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penulisan Disertasi/Thesis/Skripsi/(Karya Ilmiah lainnya)\* saya tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan.

Demikianlah Surat Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun juga.

Pekanbaru, 11 Juli 2023.

Yang membuat pernyataan



Muhammad Azlan  
NIM: 11655103689.

\*pilih salah satu sesuai jenis karya tulis

## LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia dipergustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan dengan mengikuti kaidah pengutipan yang berlaku.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh tugas akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan tugas akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, 11 Juli 2023  
Yang membuat pernyataan,

MUHAMMAD AZLAN  
NIM. 11655103689

UIN SUSKA RIAU

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang

Barang siapa yang menghendaki kehidupan dunia, maka wajib baginya berilmu, dan barang siapa yang menghendaki kehidupan akhirat, maka wajib baginya berilmu, dan barang siapa yang menghendaki keduanya, maka wajib baginya berilmu.

(HR.Tirmidzi)

Sembah sujud serta syukurku kepada-Mu ya Allah, zat yang maha pengasih serta maha penyayang. Engkau zat yang maha membolak-balikkan hati dan jiwa. Usaha tidak akan pernah mengkhianati hasil walaupun banyak rintangan suatu saat pasti akan ada jalannya, begitu juga perjalanan menuntut ilmu hingga aku bisa menyelesaikan menuju gerbang sarjana. Ini semua tidak akan terjadi jikalau Allah tidak mengizinkan, maka semua rasa syukur ini kupersembahkan kepadamu Ya Allah.

*“orang-orang yang berusaha dengan sungguh-sungguh untuk (mencari keridaan) kami benar-benar akan kami tunjukkan kepada mereka jalan-jalan kami. Sesungguhnya Allah benar-benar bersama orang-orang yang berbuat kebaikan ”*

(QS. Al Ankabut: 69)

Ku persembahkan karya ini untuk kedua orang tuaku yaitu ibu dan ayah tercinta, yang selama ini telah memberikan kasih sayang, segala dukungan dan do'a yang tiada hentinya, apa yang telah ku terima selama ini tidak mungkin mampu membalasnya dengan karya ini semoga menjadi langkah awal untuk membuat ibu dan ayah bahagia serta adik tercinta, seluruh keluarga serta sahabat dan seluruh keluarga besar teknik elektro UIN SUSKA RIAU yang doanya senantiasa mengiringi setiap derap langkahku untuk menggapai kesuksesan.

*“Barang siapa yang menempuh suatu jalan untuk mencari ilmu, maka Allah memudahkan untuknya jalan menuju surga ”*

(HR. Bukhari dan Musli)



# ANALISIS POTENSI ENERGI LISTRIK SOLAR KOLEKTOR JENIS *PARABOLIC TROUGH* TERINTEGRASI *ORGANIC* *RANKINE CYCLE (ORC)* DI RIAU

MUHAMMAD AZLAN  
NIM: 11655103689

Tanggal Sidang: 11 Juli 2023

Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau  
Jl. Soebrantas KM 15 No. 155 Pekanbaru

## ABSTRAK

Peningkatan penggunaan bahan bakar fosil dan emisi polutan di Provinsi Riau dapat dikurangi melalui penggunaan sistem pembangkit listrik yang menggunakan energi matahari. Salah satu inovasi menarik adalah penggunaan *Parabolic Trough Collector* (PTC) dalam pembangkit listrik tenaga surya termal. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis potensi energi listrik yang dapat dihasilkan oleh Solar PTC dengan menggunakan metode Siklus Rankine Organik dan menerapkan prinsip hukum termodinamika pertama. Penelitian ini, hasil menunjukkan bahwa intensitas radiasi yang diterima oleh PTC adalah sebesar 259,61 W/m<sup>2</sup>. Total energi radiasi yang diterima oleh PTC adalah sebesar 17.975,396 Watt. Energi kalor yang masuk ke PTC mencapai 15.883,06 Watt, sementara energi kalor yang hilang sebesar 2.382,46 Watt. Dengan demikian, energi kalor yang bermanfaat dari PTC adalah sebesar 12.150,54 Watt atau setara dengan 12,15 kW. Dalam simulasi menggunakan perangkat lunak EES, energi listrik yang dihasilkan dari konversi energi kalor PTC yang terintegrasi dengan Siklus Rankine Organik (ORC) adalah sebesar 5.799 kW. Dengan menggunakan PTC terintegrasi ORC, potensi energi matahari dapat menghasilkan listrik di Provinsi Riau dengan menginstalasi 173 unit PTC untuk mencapai kapasitas pembangkit sebesar 1 MWatt.

**Kata Kunci:** Energi Matahari, Energi Listrik, Solar Kolektor, *Parabolic Trough Collector*, *Organic Rankine Cycle*

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

Hak cipta milik UIN Suska Riau

Hak cipta milik UIN Suska Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





© **ANALYSIS OF POTENTIAL ENERGY ELECTRICITY SOLAR  
COLLECTOR PARABOLIC TROUGH INTEGRATED  
ORGANIC RANKINE CYCLE IN RIAU**

**MUHAMMAD AZLAN**  
**NIM: 11655103689**

*Date of final exam: 11 July 2023*

*Department of Electrical Engineering  
Faculty of Science and Technology  
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau  
Soebrantas St. No. 155 Pekanbaru – Indonesia*

**ABSTRACT**

*Increased use of fossil fuels and pollutant emissions in Riau Province can be reduced through the use of power generation systems that use solar energy. One interesting innovation is the use of the Parabolic Trough Collector (PTC) in a solar thermal power plant. The purpose of this study is to analyze the potential of electrical energy that can be generated by Solar PTC using the Organic Rankine Cycle method and applying the principles of the first law of thermodynamics. In this study, the results showed that the radiation intensity received by the PTC was 259.61 W/m<sup>2</sup>. The total radiation energy received by the PTC is 17,975,396 Watts. The heat energy that enters the PTC reaches 15,883.06 Watts, while the heat energy that is lost is 2,382.46 Watts. Thus, the useful heat energy from PTC is 12,150.54 Watts or equivalent to 12.15 kW. In a simulation using EES software, the electrical energy generated from the PTC heat energy conversion integrated with the Organic Rankine Cycle (ORC) is 5.799 kW. By using ORC integrated PTC, solar energy potential can generate electricity in Riau Province by installing 173 PTC units to achieve a generating capacity of 1 MWatt.*

**Key Words:** *Solar Energy, Electrical Energy, Solar Collector, Parabolic Trough Collector, Organic Rankine Cycle*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Assalammu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.*

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam juga penulis haturkan kepada baginda Rasulullah SAW, sebagai seorang sosok pemimpin dan suri tauladan bagi seluruh umat di dunia yang patut di contoh dan di teladani bagi kita semua. Atas ridho Allah SWT penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “**Analisis Potensi Energi Listrik Solar Kolektor Jenis Parabolic Trough Terintegrasi Organic Rankine Cycle (ORC) Di Riau**”.

Melalui proses bimbingan dan pengarahan yang disumbangkan oleh orang-orang yang berpengetahuan, dorongan, motivasi, dan juga do'a orang-orang yang ada disekeliling penulis sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan penuh kesederhanaan. Sudah menjadi ketentuan bagi setiap Mahasiswa yang ingin menyelesaikan studinya pada perguruan tinggi Uin Suska Riau harus membuat karya ilmiah berupa Tugas Akhir guna mencapai gelar sarjana:

1. Allah Swt yang dengan rahmat-Nya memberikan semua yang terbaik dan yang dengan Hidayah-Nya memberikan petunjuk sehingga dalam penyusunan laporan ini berjalan lancar.
2. Kepada ayahanda tercinta Helpami dan ibunda tercinta Budi Yarni, yang selalu memberikan motivasi dan doa yang tiada henti – hentinya.
3. Kepada saudara kandung, Mulia Marsita, Hafiza, Zahira Umairo yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Prof. Dr. Hairunas, M.Ag. selaku Rektor Uin Suska Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya.
5. Bapak Dr. Hartono, M.Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Uin Suska Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
6. Ibu Zulfatri Aini ST.,MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

7. Ibu Marhama Jelita S.Pd., M.Sc, selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dan sabar dalam memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Ibu Dr. Liliana ST., M.Eng dan Ibu Nanda Putri Miefthawati, B.Sc., M.Sc, selaku dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.
9. Ibu Nanda Putri Miefthawati, B.Sc., M.Sc selaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan penulis dari semester 1 hingga akhir semester.
10. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan arahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Dan juga kepada teman-teman yang lain seperti; Mufadal, Rifki, Firman, Famel dan lepay yang telah memberikan dukungan, semangat, dan motivasi serta pengalaman hidup kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
12. Garundang b16, Energi 2016 serta teman-teman teknik elektro angkatan 2016 lainnya yang juga telah memberikan banyak dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini serta teman-teman penulis lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga bantuan yang telah diberikan baik moril maupun materil mendapat balasan pahala dari Allah SWT, dan sebuah harapan dari penulis semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca semua pada umumnya.

Semua kekurangan hanya datang dari penulis dan kesempurnaan hanya milik Allah SWT. Hal ini yang membuat penulis menyadari bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan, pengalaman, dan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharap kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat positif dan membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

*Wassalamu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh*

Pekanbaru, 11 Juli 2023

Penulis,

Muhammad Azlan  
Nim. 11655103689



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL</b> .....	iii
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	I-1
1. Rumusan Masalah .....	I-5
1. Tujuan Penelitian .....	I-6
1. Batasan masalah .....	I-6
 <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2. Penelitian Terkait .....	II-1
2. Matahari .....	II-3
2.2.1 Profil Matahari .....	II-3
2.2.2 Jenis-Jenis Energi Matahari .....	II-5
2. Kolektor Surya .....	II-5
2.3.1 <i>Flat Plate Collector</i> (FPC) .....	II-5
2.3.2 <i>Parabolic Trough Collector</i> (PTC) .....	II-6
2.3.3. <i>Concentric Solar Collectors</i> (CSC) .....	II-8
2.3.4. <i>Evacuated Solar Collectors</i> (ESC) .....	II-8
2. Termodinamika .....	II-9
2.4.1 Bunyi Hukum Termodinamika (0,1, & 2) .....	II-10
2.4.2 Proses-Proses Termodinamika .....	II-14



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.4.3 Siklus-Siklus Termodinamika .....	II-16
2.5. Analisis Teknis .....	II-18
2.5.1. Intensitas Radiasi Matahari .....	II-18
2.5.2. Energi Panas Radiasi Total Yang Diterima Kolektor .....	II-20
2.5.3. Energi Panas Radiasi Yang Diserap Kolektor .....	II-20
2.5.4. Energi Panas Radiasi Yang Digunakan Kolektor .....	II-22
2.5.5. Analisis PLTS PTC Terintegrasi Siklus Rankine .....	II-23
2.6 <i>Engineering Equation Solver</i> (EES) .....	II-24

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1. Prosedur Penelitian .....	III-1
3.2. Tahap Perencanaan .....	III-2
3.3. Studi Literatur .....	III-2
3.4. Pengumpulan Data .....	III-2
3.4.1 Data Radiasi Matahari .....	III-3
3.4.2 Propertis Termodinamika .....	III-3
3.4.3 Spesifikasi Kolektor Surya .....	III-4
3.5. Menghitung Kalor Kolektor Surya .....	III-4
3.5.1 Intensitas Radiasi Matahari .....	III-4
3.6. Menghitung Laju Energi Kalor Pada Kolektor .....	III-5
3.7. Menghitung Potensi Energi Listrik Terintegrasi SRO Dengan Menggunakan <i>Software EES</i> .....	III-5
3.7.1 Pemrograman <i>Engineering Equation Solver</i> .....	III-6
3.7.2 Proses Siklus Rankine .....	III-9
3.8. Analisis Potensi .....	III-9
3.8.1. Energi Matahari .....	III-9
3.8.2. Energi Kalor .....	III-9
3.8.3. Energi Listrik .....	III-9

**BAB IV HASIL DAN ANALISA**

4.1. Perhitungan Intensitas Radiasi Matahari .....	IV-1
4.2. Perhitungan Laju Energi Kalor Pada Kolektor .....	IV-4
4.3. Menghitung Potensi Energi Listrik Terintegrasi SRO Dengan Menggunakan <i>Software EES</i> .....	IV-5
4.4. Analisis Potensi .....	IV-12

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan..... V-1  
5.2 Saran..... V-1

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1 <i>Flat Plate Collector</i> (FPC) .....	II-6
Gambar 2.2 <i>Parabolic Trough Collector</i> .....	II-6
Gambar 2.3. <i>Parabolic Trough Solar Collector</i> (PTC) Tipe LS-3 .....	II-7
Gambar 2.4 Kolektor Surya Konsentrik .....	II-8
Gambar 2.5 Kolektor Tabung Terevakuasi .....	II-9
Gambar 2.6. Hukum Ke Enol Termodinamika .....	II-10
Gambar 2.7. Koservasi Energi .....	II-11
Gambar 2.8 Perubahan Fase Untuk Air Dari Fase Padat Ke Fase Uap .....	II-12
Gambar 2.9 Neraca Laju Massa .....	II-13
Gambar 2.10 Diagram Skematik Dari Hukum Pertama Untuk Analisis Volume atur ..	II-14
Gambar 2.11 Proses <i>Isobarik</i> .....	II-15
Gambar 2.12 Proses <i>Isotermal</i> .....	II-15
Gambar 2.13 Proses <i>Adiabatik</i> .....	II-15
Gambar 2.14 Proses <i>Isokhorik</i> .....	II-16
Gambar 2.15 Prinsip Kerja Dan Heat Tranfer Dari Sistem Tenaga Uap Sederhana.....	II-16
Gambar 2.16 Permukaan Horizontal Dan Permukaan Miring .....	II-19
Gambar 2.17 PTC Terintegrasi Siklus Rankine .....	II-23
Gambar 3.1 <i>Flowcart</i> Tahapan Penelitian .....	III-1
Gambar 3.2 <i>Flow Chart</i> Validasi <i>Software EES</i> .....	III-6
Gambar 3.3 <i>Icon Preferences</i> .....	III-6
Gambar 3.4 Penginputan Data .....	III-7
Gambar 3.5 Algoritma Persamaan .....	III-8
Gambar 3.6 Hasil Pemrograman .....	III-8
Gambar 3.7 Error .....	III-8
Gambar 4.1 Unit Sistem EES .....	IV-6
Gambar 4.2 Penginputan Nilai T1 dan x1 .....	IV-6
Gambar 4.3 Untuk Menentukan P1 .....	IV-7
Gambar 4.4 Nilai Tekanan untuk P1 .....	IV-7
Gambar 4.5 Nilai <i>Enthalpy</i> untuk h1.....	IV-8
Gambar 4.6 Nilai <i>Entropy</i> untuk s1 .....	IV-8

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

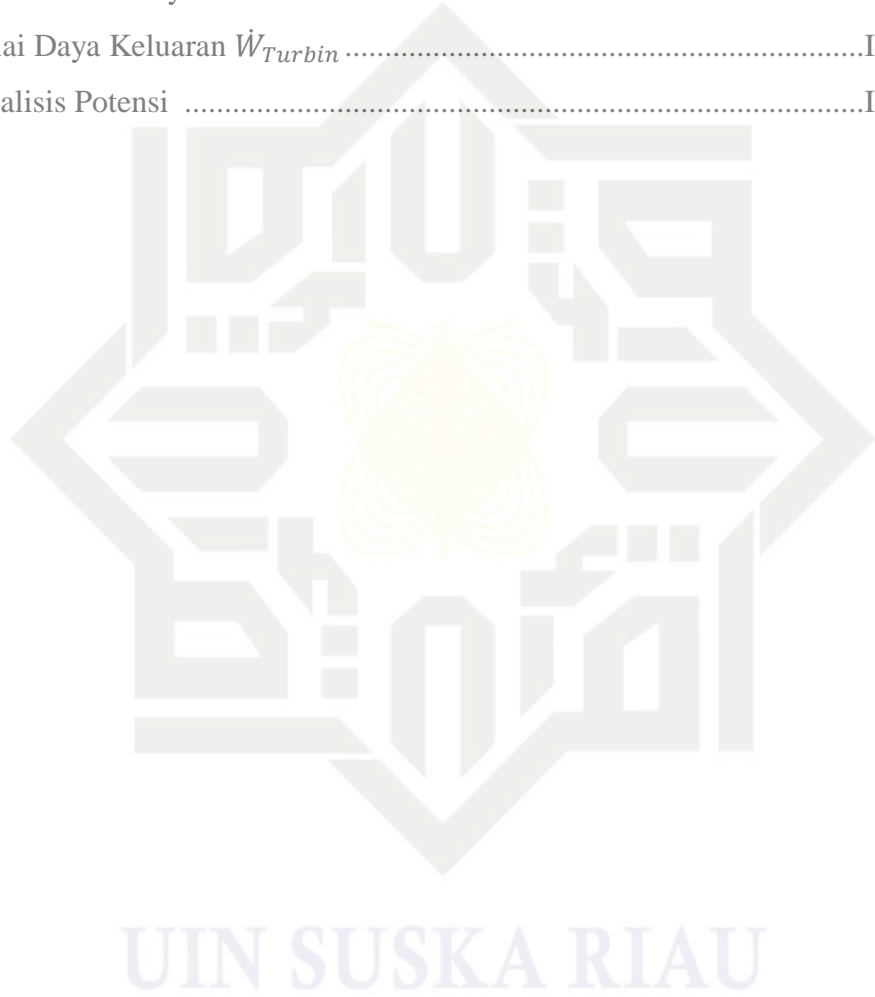
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Gambar 4.7 Nilai <i>Enthalpy</i> untuk $h_2$ .....	IV-9
Gambar 4.8 Nilai <i>Entropy</i> untuk $s_3$ .....	IV-9
Gambar 4.9 Nilai <i>Enthalpy</i> untuk $h_3$ .....	IV-9
Gambar 4.10 Penginputan Persamaan Pada <i>Solution</i> .....	IV-10
Gambar 4.11 Nilai Persamaan Pada <i>Solution</i> .....	IV-10
Gambar 4.12 Menentukan Daya keluaran .....	IV-11
Gambar 4.13 Nilai Daya Keluaran $\dot{W}_{Turbin}$ .....	IV-11
Gambar 4.14 Analisis Potensi .....	IV-12





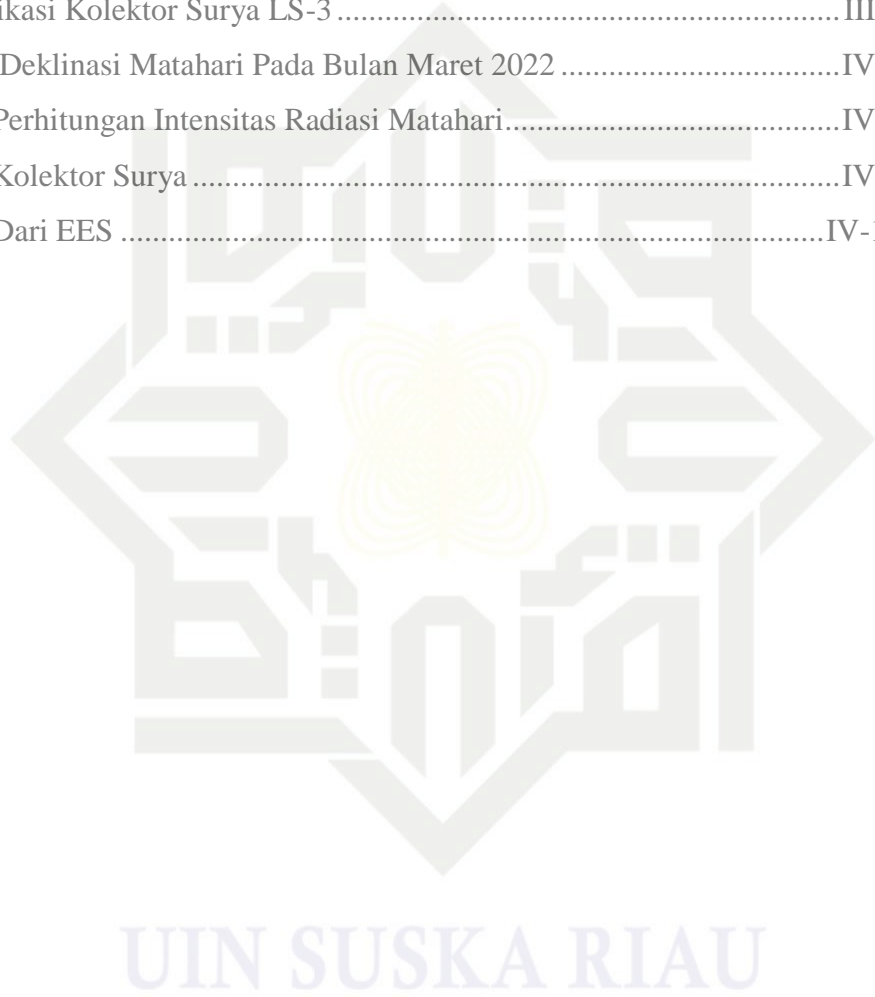


Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Nilai n Berdasarkan Bulan.....	II-20
Tabel 3.1 Data Radiasi Matahari .....	III-3
Tabel 3.2 Spesifikasi Kolektor Surya LS-3 .....	III-4
Tabel 4.1 Sudut Deklinasi Matahari Pada Bulan Maret 2022 .....	IV-1
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Intensitas Radiasi Matahari.....	IV-3
Tabel 4.3 Hasil Kolektor Surya .....	IV-5
Tabel 4.4 Hasil Dari EES .....	IV-12



## BAB I PENDAHULUAN

### 1. Latar Belakang

Berdasarkan Direktorat Jenderal Kependudukan dan Pencatatan Sipil (Dukcapil) Kementerian Dalam Negeri (Kemendagri) tercatat jumlah penduduk Indonesia sebanyak 172,23 juta jiwa pada tahun 2021. Jumlah penduduk bertambah 879 ribu jiwa dari 171,35 juta jiwa pada posisi akhir 2020. Jawa Timur merupakan provinsi dengan jumlah penduduk terbanyak, yakni mencapai 47,59 juta jiwa. Sementara Kalimantan Utara merupakan provinsi dengan jumlah penduduk paling sedikit, yaitu hanya 692,24 ribu jiwa. Sebanyak 56,01% penduduk Indonesia masih terkonsentrasi di Jawa. Kemudian sebanyak 21,67% berdomisili di Sumatera, 6,14% berada Kalimantan, 7,42% di Sulawesi, 5,57% di Bali dan Nusa Tenggara, 2,02% di Papua, dan 1,17% di Maluku [1].

Pulau Sumatera merupakan pertumbuhan penduduk terbesar kedua di Indonesia setelah pulau Jawa. Salah satu provinsi di Sumatera yaitu provinsi Riau. Menurut Dukcapil Kemendagri terjadi peningkatan jumlah penduduk di provinsi Riau sebesar 5%, yaitu tahun 2020 tercatat 6,39 juta jiwa dan berjumlah 6,45 juta jiwa pada 2021. Riau yang memiliki luas wilayah 87.023 km<sup>2</sup> yang terbagi menjadi 10 kabupaten dan 2 kota [2].

Peningkatan pertumbuhan penduduk di provinsi Riau menyebabkan pemakaian energi juga ikut meningkat. Kebutuhan energi meningkat dari 795 juta SBM pada tahun 2016 diperkirakan pada tahun 2050 menjadi 4.569 juta SBM. Pada tahun 2050, pangsa kebutuhan energi final terbesar adalah Bahan Bakar Minyak (BBM) yakni sebesar 40,1%, diikuti oleh listrik (21,3%), gas (17,7%), batubara (11,0%), dan sisanya LPG, Bahan Bakar Nabati (BBN) dan biomassa masing-masing di bawah 4%. Permintaan listrik selalu tumbuh lebih tinggi dibandingkan dengan jenis energi lainnya. Pertumbuhan permintaan listrik diproyeksikan mencapai 2.214 TWh (BaU), 1.918 TWh (PB), 1.626 TWh (RK) pada tahun 2050 atau naik hampir 9 kali lipat dari permintaan listrik tahun 2018 sebesar 254,0 TWh. Laju pertumbuhan permintaan listrik rata-rata pada ketiga skenario sebesar 7% (BaU) pertahun [3].

Permintaan listrik pembangkit energi listrik di Provinsi Riau tahun 2018 di suplai oleh pembangkit perusahaan PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) (Persero) sekitar 917 MW dengan persentase 57%, dan Non PT PLN (Persero) sekitar 691 MW dengan persentase 43% dengan total 1.608 MW. Adapun berdasarkan jenisnya pembangkit tersebut

1. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

didominasi oleh Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) sekitar 557 MW dengan persentase 35,9%, Pembangkit Listrik Tenaga Minyak dan Gas (PLTMG) sekitar 309 MW dengan persentase 19,2%. Pembangkit Listrik Tenaga Uap batu bara (PLTU) sekitar 296 MW dengan persentase 18,4%, Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) sekitar 141 MW dengan persentase 8,7%. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) sekitar 119 MW dengan persentase 7,4% , Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) sekitar 114 MW dengan persentase 7,1%, Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) sekitar 26 MW dengan persentase 1,6%. Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (P LTBg) sekitar 24 MW dengan persentase 1,5%, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sekitar 1 MW dengan persentase 0,1%. Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTHybrid) sekitar 0,3 MW dengan persentase 0,02%, dan Pembangkit Listrik Tenaga Hidro (PLTMH) sekitar 0,1 MW dengan persentase 0,01% [4].

Energi listrik di provinsi Riau 55,3% di suplai oleh pembangkit listrik yang bersumber dari bahan bakar fosil sisanya di suplai oleh pembangkit energi terbarukan. Masalah dalam suplai energi pada pembangkit dari Bahan Bakar Fosil (BBF) yaitu pencemaran lingkungan terutama pada udara yang mengakibatkan polusi udara. Ketersediaan bahan baku yang sudah menipis dan pemulihannya memerlukan jangka panjang [5].

BBF untuk pembangkit listrik di provinsi Riau disediakan dari ekspor dan produksi dalam negeri. Sebagai negara yang mempunyai cadangan batubara terbesar ke-5 di dunia (39,9 miliar ton), batu bara masih menjadi andalan sumber energi terutama untuk pembangkit listrik dan sebagian untuk sektor industri. Dengan demikian, seluruh penyediaan batu bara dipenuhi dari produksi dalam negeri. Pada tahun 2050, ekspor batu bara akan menjadi 44 MTOE (BaU), 55,8 MTOE (PB), 67,6 MTOE (RK) atau turun dari 170,3 MTOE pada tahun 2018. Proyeksi perbandingan ekspor terhadap produksi batu bara juga mengalami penurunan dari 64% pada tahun 2018 menjadi 18% (BaU), 23% (PB), 28% (RK) pada tahun 2050. Cadangan gas di dalam negeri menunjukkan penurunan dengan belum ditemukannya cadangan gas baru, akibatnya berpengaruh terhadap penurunan produksi gas dari 75,4 MTOE tahun 2018 menjadi 66,3 MTOE pada tahun 2050 [5].

Selain masalah ketersediaan bahan baku BBF, masalah lain yang ditimbulkan dari pemanfaatan BBF ini adalah pencemaran lingkungan. Pada tahun 2009 emisi GRK di Provinsi Riau dari pembangkit thermal yang dimiliki dan bekerja sama dengan PLN

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

sebesar 16,1 (1,610%) juta ton CO<sub>2</sub> terus meningkat 10 tahun kedepan. Tahun 2015 sampai 2020 sebagai tahun dasar emisi dari pembangkit thermal sebesar 7,7 (770%) juta ton CO<sub>2</sub>, dengan tingkat pertumbuhan 15,724%. Pada pembangkit PLTD, di tahun dasar emisi yang dikeluarkan sebesar 0,7 juta ton CO<sub>2</sub> dan mengalami peningkatan di tahun 2016 menjadi 1 juta ton CO<sub>2</sub> hingga 2018. Hal ini disebabkan oleh PLTD merupakan tipe *base load* (beban dasar) karena dipergunakan untuk memasok listrik pada daerah *isolate*. Di tahun 2019 sampai 2020 menurun menjadi 1,5 (150%) juta ton. Hal ini disebabkan oleh beban Provinsi Riau telah terpenuhi oleh PLTU dan PLTGU. Pada pembangkit PLTG/MG emisi pertahunnya terus mengalami penurunan dikarenakan oleh aktifnya pembangkit PLTU dan PLTG menggantikan PLTG/MG. Penggantian pembangkit ini menyebabkan emisi pada tahun 2017 turun 0,28% menjadi 3,4 juta/ton CO<sub>2</sub>. PLTU dan PLTGU memiliki efisiensi yang lebih baik dibandingkan PLTG/MG sehingga bahan bakar yang digunakan lebih sedikit dan menyebabkan penurunan emisi [4].

Untuk mengurangi dampak penggunaan BBF sebagai bahan baku pembangkit listrik di provinsi Riau, maka perlu beralih ke penggunaan Energi Baru Terbarukan (EBT). EBT dapat dipakai tanpa memikirkan pasokannya akan habis dan juga energi terbarukan dapat dipakai dengan gratis. EBT ini dikenal sangat ramah lingkungan karena tidak menghasilkan limbah yang dapat merusak lingkungan.

Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) di Provinsi Riau terdiri dari 2 (dua) jenis, yaitu EBT yang bisa dimanfaatkan sebagai energi listrik sebesar ± 5.950 MW dengan kapasitas terpasang 848,90 MW atau mencapai 14,27% dari total potensi EBT yang ada. Sedangkan EBT non energi listrik yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar nabati (bioresel) sebesar 7.797.981 ton tandan buah sawit (TBS) dan produksi 3.336.302 ton atau mencapai 42,78%. Rasio pemanfaatan terhadap potensi EBT menjadi dasar rencana pengembangan EBT paling sedikit 31,22% dari total bauran energi primer pada tahun 2025 dan paling sedikit 47% dari total bauran energi primer pada tahun 2050 [6].

EBT yang dimanfaatkan menjadi energi listrik di provinsi Riau bersumber dari panas bumi potensi 20 MW, Air potensi 961,84 MW, Bioenergi terbagi 3 jenis bahan bakar nabati potensi 7.797.981 ton biomassa dan biogas potensi 328.844 MW. Potensi energi surya 753-1.700 MW (4,80 kWh/m<sup>2</sup>/day), Angin potensi 5 MW (3-6 m/s), Laut potensi 241 MW dengan total potensi 5.950 MW. Energi surya memiliki potensi terbesar ketiga di Riau untuk kapasitas yang terpasang 1,28 MW dan pemanfaatannya 0,02% [6].

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Energi surya ada dua yaitu energi intensitas atau cahaya matahari dan termal, Energi intensitas yang dikonversi atau diubah menjadi energi listrik melalui *Photo Volataic* (PV). Sedangkan untuk energi panas yang dikonversi atau diubah menjadi energi listrik melalui kolektor surya. Kolektor surya adalah suatu alat yang dibutuhkan untuk untuk mengubah energi radiasi matahari kebentuk energi panas untuk berbagai keperluan, kolektor surya berbagai beberapa tipe, kolektor surya terbagi beberapa tipe, *Flat Plate Collector* (FPC), *Parabolic Trough Collector* (PTC), dll. Pada penelitian ini menggunakan PTC karena kolektor ini menggunakan reflektor parabola untuk memusatkan sinar matahari pada penyerap panas yang berada di dalam tabung kaca. PTC muncul sebagai salah satu teknologi yang paling menjanjikan dalam pembangkit listrik tenaga surya termal. PTC telah menjadi sorotan dalam bidang energi terbarukan karena kemampuannya yang unik untuk mengubah sinar matahari menjadi energi panas yang bermanfaat. PTC mengubah intensitas radiasi matahari rata-rata sebesar  $480.241 \text{ W/m}^2$  menjadi energi panas dengan temperatur fluida rata-rata  $84.14 \text{ }^\circ\text{C}$  [7].

Keunggulan PTC terletak pada efisiensi konversinya yang tinggi dan kemampuannya untuk menghasilkan suhu yang lebih tinggi dibandingkan kolektor surya termal lainnya. Hal ini membuka peluang besar untuk memanfaatkannya dalam pembangkit listrik tenaga surya termal. Panas yang dihasilkan oleh PTC dapat digunakan untuk menghasilkan uap yang kemudian menggerakkan turbin dan menghasilkan energi listrik. Dalam skala besar, PTC dapat menjadi salah satu solusi untuk mendiversifikasi dan mengintegrasikan energi terbarukan dalam grid listrik nasional, membantu mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang merugikan lingkungan [7].

Berdasarkan penelitian berjudul *Optimization Of A Small Scale Concentrated Solar Power Plant Using Rankine Cycle*. Tujuan dari penelitian ini optimisasi pembangkit listrik menggunakan *Concentrated Solar* berbagai fluida kerja dengan metode siklus rankine. Hasil menunjukkan bahwa, di antara cairan ini, benzena memiliki performa terbaik dari segi efisiensi (26,55%) tetapi dengan total sistem tertinggi biaya (76 0000 USD) diikuti oleh pentana, R123, isopentane, butane dan R245fa. Butane memiliki efisiensi terendah (13,37%) dan R245fa memiliki total biaya terendah 34 000 USD [8].

Berdasarkan penelitian [11] penelitian ini akan mengkaji potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya menggunakan solar kolektor dengan jenis *parabolic through* di provinsi Riau. Kajian potensi ini meliputi penilaian intensitas radiasi matahari, kajian energi kalor pada kolektor surya jenis *parabolic through* dan energi listrik yang dihasilkan oleh solar

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

kolektor *parabolic through*. Penilaian intensitas radiasi matahari, akan dihitung total radiasi matahari yang diterima oleh solar kolektor jenis *parabolic through*. Energi pada kolektor surya yang akan dikaji meliputi energi kalor dan efisiensi kolektor surya. Kajian potensi energi listrik yang dihasilkan oleh solar kolektor jenis *parabolic trough* meliputi daya listrik yang dihasilkan dan efisiensi pembangkit listrik. Daya dan efisiensi listrik yang dihasilkan oleh solar kolektor jenis *parabolic trough* pada penelitian menggunakan metode *Organic Rankine cycle* (ORC). Siklus Rankine adalah suatu model operasi mesin uap panas yang secara umum sering dijumpai pada pembangkit listrik. Fluida pada siklus *rankine* mengikuti aliran yang tertutup dan digunakan secara konstan dan terus menerus. Beberapa jenis fluida dapat digunakan pada siklus ini, namun umumnya air dipilih karena berbagai karakteristik yang paling ideal pada proses siklus tersebut. Siklus Rankine merupakan siklus yang ideal untuk siklus tenaga uap. Karena energi panas yang dihasilkan dari PTC rendah, jadi yg cocok *Organic Rankine cycle* (ORC). Adapun fluida kerja yang dipilih pada penelitian ini adalah fluida kerja yang terbaik berdasarkan penelitian [11] yaitu benzene.

Untuk membantu perhitungan energi listrik ORC dengan menggunakan prinsip hukum termodinamika 1, pada penelitian ini menggunakan *Software Equation Engineering Solver* (EES). EES adalah program yang memecahkan sistem aljabar *linear* atau *nonlinear* atau persamaan diferensial secara numerik. Ini memiliki perpustakaan besar fungsi properti termodinamika bawaan serta fungsi matematika dan memungkinkan pengguna untuk menyediakan data properti tambahan. Pada perhitungan energi listrik ORC menggunakan software EES akan diperoleh daya dan efisiensi listrik solar kolektor surya jenis *parabolic trough*.

Berdasarkan latar belakang diatas, peneliti tertarik melakukan penelitian tentang **“Analisis Potensi Energi Listrik Solar Kolektor Jenis *Parabolic Trough* Terintegrasi *Organic Rankine Cycle* (ORC) (Studi Kasus: Provinsi Riau).”**

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan Latar Belakang diatas, rumusan masalah penelitian ini adalah :

1. Berapa potensi intensitas radiasi matahari di provinsi Riau?
2. Berapa potensi energi kalor yang dihasilkan solar kolektor jenis *parabolic through* di provinsi Riau?
3. Berapa potensi energi listrik yang dihasilkan solar kolektor jenis *parabolic through* terintegrasi ORC di provinsi Riau?



**3. Tujuan Penelitian**

1. Menganalisis potensi intensitas radiasi matahari di provinsi Riau.
2. Menganalisis potensi energi kalor yang dihasilkan solar kolektor jenis *parabolic through* di provinsi Riau.
3. Menganalisis potensi energi listrik yang dihasilkan solar kolektor jenis *parabolic through* terintegrasi ORC di provinsi Riau.

**4. Batasan masalah**

1. Analisis aliran energi PLTS PTC dianggap dalam keadaan *stasionary*.
2. Analisis aliran energi menggunakan hukum termodinamika dan prosesnya dianggap *reversible*.
3. Energi kinetik dan energi potensial dianggap konstan selama proses pada pembangkit termal.
4. Potensi energi matahari yang digunakan untuk PLTS menggunakan *collektor* merupakan energi panas.
5. Fluida kerja pada ORC menggunakan fluida organik.
6. Tidak membahas tentang distribusi atau transmisi.
7. Analisis teknis pada penelitian hanya parameter energi listrik adalah energi panas dari PTC dan energi yang dibangkitkan oleh pembangkit termal.
8. Hanya mengkaji analisis aspek teknis dan potensi energi listrik.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Penelitian Terkait

Penelitian terkait ini dilakukan secara studi literatur yang mencari teori, referensi didapat dari jurnal dan sumber lainnya. Yang dibahas pada bab ini adalah penelitian yang berhubungan dengan pengkonversi energi surya dengan menggunakan kolektor surya tipe parabolic.

Penelitian yang berjudul Rancang Bangun Kolektor Surya Tipe Parabolic Trough untuk Menguapkan Air Laut berbahan Stainless dan Tembaga dengan Luas Tangkapan Cahaya 1 M<sup>2</sup>. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan rancangan kolektor surya tipe parabolic trough berbahan stainless dan tembaga untuk menguapkan air laut. Metode yang dilakukan perancangan dengan pemilihan bahan dan mengolah bahan sesuai bentuk dimensi yang diinginkan lalu menggabungkannya ke kolektor. Hasil dari penelitian dilihat dari tabel hasil pengujian didapat debit air adalah 80 ml/jam (0.000022 kg/s), intensitas radiasi matahari rata-rata sebesar 480.241 W/m<sup>2</sup>, jumlah air yang berhasil diuapkan adalah 355 ml/5 jam atau 71 ml/jam. Temperatur rata-rata di dalam kolektor adalah 84.14 °C [7]

Penelitian berjudul Unjuk Kerja Solar Cooker Type Parabolic dengan diameter 100 cm Tinggi 50 cm Tujuan dari penelitian untuk mendapatkan data secara eksperimental sebagai perbandingan dan pembuktian kebenaran dan kekurangan dari *software* yang dibuat. Metode yang digunakan pengambilan data pada penelitian ini dilakukan untuk mengamati perubahan temperatur pada panci dan kolektor parabola termokope, pelaksanaan rancang bangun alat akan dilaksanakan selama 1 bulan. Hasil dari penelitian ini, pengujian pertama dengan temperature panci tertinggi 101 °C dan terendah 27 °C, dengan rata-rata 67 °C. Temperatur air tertinggi 106 °C dan terendah 28 °C, dengan rata-rata 68 °C [9].

Penelitian berjudul Sistem Pemanas Air Energi Surya Menggunakan Kolektor Palung Parabola Posisi Timur-Barat. Tujuan dari penelitian untuk menentukan volume air yang dihasilkan rata-rata berapa liter dalam sehari selama 6 jam pengamatan. Metode yang digunakan dengan menggunakan metode eksperimen yaitu membuat alat pemanas air menggunakan kolektor palung parabola posisi timur barat dari matahari terbit. Kolektor palung parabola memiliki komponen yaitu reflektor dan pipa penyerap. Hasil pengamatan secara keseluruhan dari penelitian ini ditampilkan dalam bentuk tabel data dan grafik. Data



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

ditampilkan adalah nilai rata-rata dari 14 hari pengamatan setiap selang waktu 60 menit selama 6 jam setiap satu hari, kemudian dari data tersebut dibuat grafik hubungan yang terdapat pada data terhadap waktu pengamatan [8].

Penelitian berjudul *Optimization Of A Small Scale Concentrated Solar Power Plant Using Rankine Cycle*. Tujuan dari penelitian ditujukan untuk meningkatkan efisiensi total pabrik dengan mengembangkan baru mengontrol metodologi, melakukan analisis teknis-ekonomi, memahami materi baru dan mengoptimalkan masukan parameter sistem. Beberapa siklus daya dapat diintegrasikan dalam pembangkit CSP, yaitu siklus *Joule-Brayton*, Siklus pengadukan dan siklus *Rankine* organik. Hasilnya variasi daya keluaran turbin dalam hal daya masukan surya laju aliran massa yang berbeda. Untuk tujuan ini, sistem terdiri dari kolektor, reservoir panas, turbin, generator uap dan katup pengatur arah diusulkan. Dengan menggunakan katup kontrol arah, empat siklus tertutup dapat dibentuk menghasilkan listrik atau menyimpan panas. Hasil menunjukkan bahwa, di antara cairan ini, benzena memiliki performa terbaik dari segi efisiensi (26,55%) tetapi dengan total sistem tertinggi biaya (76 0000 USD) diikuti oleh pentana, R123, *isopentane*, butane dan R245fa. Butane memiliki efisiensi terendah (13,37%) dan R245fa memiliki total biaya terendah 34 000 USD [10]

Penelitian berjudul *Heat Transfer Analysis On Parabolic Trough Absorber For Various Materials By Numerical Study*. Tujuan dari penelitian untuk menghasilkan pemanas air dengan temperatur yang relatif lebih tinggi. Metode yang digunakan dengan menggunakan Kekuatan COMSOL *Multiphysics* adalah produk mandiri melalui antarmuka pengguna grafis yang fleksibel, atau dengan pemrograman skrip dalam bahasa Skrip COMSOL atau dalam bahasa MATLAB. Dengan menggunakan mode aplikasi ini, ia dapat melakukan berbagai jenis analisis. Mereka adalah analisis stasioner dan tergantung waktu, analisis linier dan nonlinier dan frekuensi Eigen dan analisis modal. Hasil Simulasi ini dapat menunjukkan secara pasti nilai suhu saluran keluar air untuk setiap panjang tabung dengan waktu [11].

Setelah dilakukan studi literatur, pada penelitian [8] membahas tentang Rancang Bangun Kolektor Surya Tipe *Parabolic Trough* untuk Menguapkan Air Laut berbahan Stainless dan Tembaga dengan Luas Tangkapan Cahaya 1 M<sup>2</sup> yang bertujuan untuk rancangan kolektor surya tipe *parabolic trough* berbahan stainless dan tembaga untuk menguapkan air laut. Penelitian [9] membahas tentang Unjuk Kerja Solar *Cooker Type Parabolic* dan menghasilkan temperature keluaran dari kolektor. Penelitian [10] membahas

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Sistem Pemanas Air Energi Surya Menggunakan Kolektor Palung Parabola Posisi Timur-Barat, untuk mendapatkan untuk menentukan Volume air yang dihasilkan rata-rata berapa liter dalam sehari selama 6 jam. Penelitian [11] membahas tentang Evaluasi Termodinamika Dan Ekonomi Siklus *Rankine* Organik Skala Kecil Terintegrasi Dengan Kolektor Surya Terkonsentrasi, hasil menunjukkan bahwa, di antara cairan ini, benzena memiliki performa terbaik dari segi efisiensi (26,55%) tetapi dengan total sistem tertinggi biaya (76 0000 USD) diikuti oleh pentana, R123, isopentane, butane dan R245fa. Butane memiliki efisiensi terendah (13,37%) dan R245fa memiliki total biaya terendah 34 000 USD. Penelitian [12] membahas tentang analisis perpindahan panas pada absorber parabola untuk berbagai bahan dengan studi numerik, untuk menghasilkan pemanas air dengan temperatur yang relatif lebih tinggi yang menunjukkan hasil secara pasti nilai suhu saluran keluar air untuk setiap panjang tabung dengan waktu.

Penelitian yang mendekati yaitu penelitian [11], penelitian mengkaji, fluida kerja yang optimal pada CSP. Dimana penelitian ini menggunakan fluida kerja terbaik pada penelitian [11], yaitu benzena. Penelitian ini mengkaji Potensi Energi Listrik Siklus *Rankine* Organik. Pada penelitian ini akan mengkaji Analisis Potensi Energi Listrik Solar Kolektor Jenis *Parabolic Trough* Terintegrasi *Organic Rankine Cycle* (ORC) Provinsi Riau. Analisis aspek teknis pada penelitian ini menghitung intensitas radiasi yaitu  $I_b$  dan  $I_d$ , menghitung kalor  $Q$  pada kolektor dan energi listrik (SRO) dengan bantuan EES yang memakai metode hukum 1 termodinamika.

## 2.2 Matahari

### 2.2.1 Profil Matahari

Matahari merupakan salah satu bintang dalam jagat raya yang bertindak sebagai pusat pada sistem tata surya kita. Matahari termasuk kategori bintang karena dapat menghasilkan cahaya sendiri. Apabila dibandingkan dengan bintang lainnya, cahaya matahari lebih terang sehingga pada waktu siang hari tidak akan terlihat bintang lain. Matahari termasuk ke dalam bintang deret utama G (G2V) atau lebih dikenal sebagai katai kuning karena spektrum radiasinya kuning-merah [12].

Matahari adalah bintang yang bentuknya hampir sempurna dengan perbedaan diameter antara kutub dan khatulistiwa sebesar 10 km. Diameter matahari sekitar 1.392.684 km atau kira-kira 109 kali diameter bumi dan massanya sekitar  $2 \times 10^{30}$  kg yang mewakili 99,86% massa total tata surya. Sekitar 92,1% massa matahari berupa hidrogen dan 7,8% helium serta terdapat elemen lain berupa oksigen, karbon, neon, besi, dan lain-



1. Diarung mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

lain. Kepadatan massa matahari adalah 1,41 berbanding dengan massa air. Berdasarkan model yang telah dibuat diperkirakan besar energi fusi pada pusat matahari mencapai  $76,5 \text{ Watt/m}^3$ . Sementara itu, perpindahan energi pada matahari membutuhkan waktu 30 juta tahun yang melibatkan foton dalam kesetimbangan termodinamik dengan zat lain yang ada di matahari. Daerah inti matahari terdapat zona radiatif atau zona radiasi, yaitu suatu zona tempat energi dialirkan ke bagian luar melalui radiasi dalam bentuk gelombang elektromagnetik berupa foton. Zona radiatif berada pada  $0,2R - 0,7R$  dari pusat matahari. Materi yang ada di dalam zona radiasi sangat padat sehingga memungkinkan foton menempuh jarak yang singkat sebelum disebarkan oleh partikel lain [12].

Selanjutnya terdapat zona konvektif atau zona konveksi yang merupakan suatu zona tempat energi dialirkan melalui proses konveksi. Zona konvektif terletak di luar zona radiatif (berada di  $0,7R - R$ ) dan di antara kedua zona tersebut terdapat pemisah berupa lapisan transisi yang disebut takhoklin. Lapisan ini merupakan lapisan tempat terjadinya perubahan fenomena yang menghasilkan perbedaan kondisi antara rotasi seragam di zona radiatif dan rotasi diferensial di zona konvektif. Zona radiatif menyusun 32% dari volume matahari dan 48% dari massanya, sedangkan zona konvektif menyusun 66% dari volume matahari dengan hanya 2% dari massanya [12].

Pada keadaan cuaca cerah, permukaan bumi menerima sekitar 1000 watt energi matahari per-meter persegi. Kurang dari 30 % energi tersebut dipantulkan kembali ke angkasa, 47% dikonversikan menjadi panas, 23 % digunakan untuk seluruh sirkulasi kerja yang terdapat di atas permukaan bumi, sebagian kecil 0,25 % ditampung angin, gelombang dan arus dan masih ada bagian yang sangat kecil 0,025 % disimpan melalui proses fotosintesis di dalam tumbuh-tumbuhan yang akhirnya digunakan dalam proses pembentukan batu bara dan minyak bumi (bahan bakar fosil, proses fotosintesis yang memakan jutaan tahun) yang saat ini digunakan secara ekstensif dan eksploratif bukan hanya untuk bahan bakar tetapi juga untuk bahan pembuat plastik, formika, bahan sintesis lainnya. Sehingga bisa dikatakan bahwa sumber segala energi adalah energi matahari [12].

Energi matahari dapat dimanfaatkan dengan berbagai cara yang berlainan bahan bakar minyak adalah hasil fotosintesis, tenaga hidro elektrik adalah hasil sirkulasi hujan tenaga angin adalah hasil perbedaan suhu antar daerah dan sel surya (*sel fotovoltaik*) yang menjanjikan masa depan yang cerah sebagai sumber energi listrik. Karena sel surya sanggup menyediakan energi listrik bersih tanpa polusi, mudah dipindah, dekat dengan pusat beban sehingga penyaluran energi sangat sederhana serta sebagai negara tropis,

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Indonesia mempunyai karakteristik cahaya matahari yang baik (intensitas cahaya tidak fluktuatif) dibanding tenaga angin seperti di negara-negara 4 musim, utamanya lagi sel surya relatif efisien, tidak ada pemeliharaan yang spesifik dan bisa mencapai umur yang panjang serta mempunyai keandalan yang tinggi. Dalam keadaan cuaca yang cerah, sebuah sel surya akan menghasilkan tegangan konstan sebesar 0.5 V sampai 0.7 V dengan arus sekitar 20 mA dan jumlah energi yang diterima akan mencapai optimal jika posisi sel surya tegak lurus) terhadap sinar matahari selain itu juga tergantung dari konstruksi sel surya itu sendiri. Ini berarti bahwa sebuah sel surya akan menghasilkan daya  $0.6 \text{ V} \times 20 \text{ mA} = 12 \text{ mW}$  [12].

### 2.2.2 Jenis-Jenis Energi Matahari

Jenis-jenis energi matahari ada dua yaitu energi cahaya atau intensitas matahari dan energi panas matahari

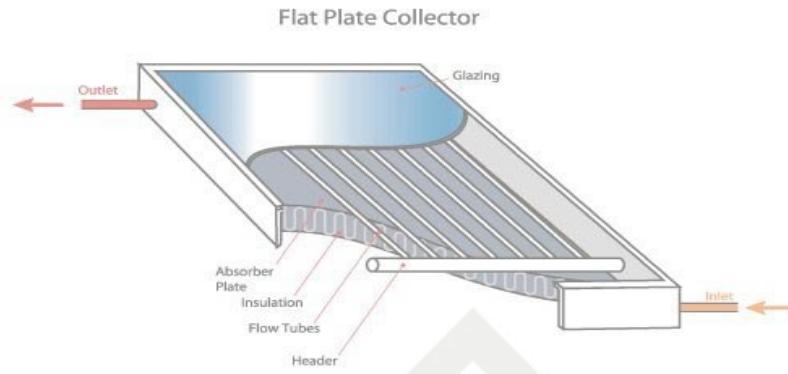
- a. Energi intensitas (cahaya) matahari
- b. Energi termal (panas) matahari

### 2.3 Kolektor Surya

Kolektor surya pada umumnya terdiri dari satu lembar bahan konduktif yang di sebut dengan plat penyerap yang terhubung langsung dengan pipa – pipa pembawa fluida yang dalam hal ini adalah air. Plat penyerap akan menyerap energi radiasi matahari dan mengkonversikannya menjadi energi termal, pada umumnya plat penyerap pada kolektor surya berwarna hitam agar penyerapan energi radiasi matahari lebih maksimal. Parameter yang dapat mempengaruhi terhadap kemampuan kolektor surya dalam mengkonversikan energi radiasi matahari menjadi energi termal yaitu warna pada plat penyerap, lapisan penutup kolektor dan lapisan dinding kolektor (isolator) [13].

#### 2.3.1 Flat Plate Collector (FPC)

Kolektor plat datar merupakan sebuah media yang digunakan untuk memanaskan fluida kerja yang mengalir dengan mengkonveksi energi radiasi matahari menjadi energi termal. Fluida yang dipanaskan yaitu oli, minyak, air dan udara, kolektor surya plat datar menghasilkan temperatur keluaran dibawah  $95^{\circ}\text{C}$ . Dalam aplikasinya kolektor plat datar digunakan untuk memanaskan udara dan air [13].

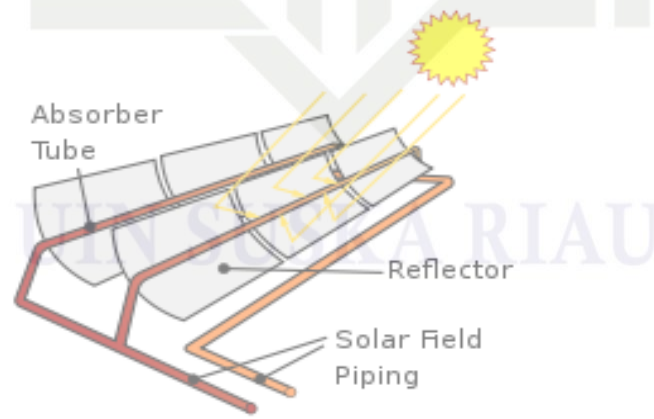


Gambar 2.1 Flat Plate Collector (FPC) [13].

Pada gambar 2.4 terlihat adanya temperatur masuk dan temperatur keluar untuk fluida kerja, plat penyerap dan di tutup dengan kaca transparan untuk memaksimalkan penyerapan energi radiasi matahari dan memperbesar aliran fluida kerja [13].

### 2.3.2 Parabolic Trough Collector (PTC)

Parabolic trough collector merupakan jenis lain dari kolektor solar thermal. Tipe ini terdiri dari seri dari trough seperti saluran talang air hujan dengan tabung kosong yang bergerak sepanjang kolektor tersebut. Cahaya matahari yang dipantulkan oleh cermin dan dikonsentrasikan pada tabung. Fluida perpindahan panas, pelumas dalam sistem Lup mengalir melalui tabung untuk menyerap panas dari cahaya matahari yang telah dikonsentrasikan [13].



Gambar 2.2 Parabolic Trough Collector [13].

#### 2.3.2.1. CSP

CSP menggunakan cermin atau lensa untuk memusatkan area yang luas dari sinar matahari ke area kecil untuk memanaskan cairan dalam kolektor pada suhu tinggi. Tidak seperti sel *photovoltaik* (PV) atau kolektor panas matahari pelat datar, proses konversi

energi CSP terdiri dari tiga bagian: (1) konsentrasi energi matahari, (2) konversi energi matahari menjadi energi panas yang berguna, dan (3) konversi panas menjadi listrik. Konversi panas menjadi listrik umumnya direalisasikan dengan turbin uap konvensional. Ada empat teknologi CSP yang tersedia: PTC, kolektor *Fresnel linier*, menara surya, dan cermin parabola. Teknologi PTC adalah yang paling berkembang dan dikomersialkan di banyak belahan dunia [14].

Saat ini, sekitar 90% pembangkit listrik CSP di seluruh dunia menggunakan teknologi PTC. PTC, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.16, terdiri dari cermin, penerima panas tabung, dan penyangga struktural. Cermin parabola dibentuk oleh lembaran datar bahan reflektif, diproduksi dalam bentuk parabola, yang memusatkan sinar matahari langsung ke garis penerima fokus. Saluran penerima dibuat dari amplop kaca dalam bor bertube di dalam. Cairan *heat transfer* disirkulasikan melalui tabung penerima untuk menyerap sebagian besar energi matahari dan menukarnya di generator uap atau penyimpanan energi panas. Sebagian besar PTC komersial yang ada menggunakan oli sintetis sebagai fluida perpindahan panas yang bersirkulasi di dalam *receiver* [14].



Gambar 2.3. *Parabolic Trough Solar Collector* (PTC) Tipe LS-3 [14].

Jenis kolektor yang dipilih dalam penelitian ini adalah kolektor LS-3. Kolektor ini dipilih karena merupakan kolektor desain yang paling umum dan terkenal di pembangkit listrik tenaga surya. Ini memiliki dimensi yang lebih besar daripada kolektor LS-1 dan LS2, dan ukurannya telah membuktikan kinerja, terutama di pabrik CSP yang lebih besar. Ini beroperasi pada sumbu horizontal utara-selatan dan melacak dari arah timur ke arah paling barat. Kubus vertikal terbuat dari baja tahan karat dan disatukan dengan lapisan listrik untuk meningkatkan absorptivitasnya terhadap radiasi yang masuk. Penerima juga

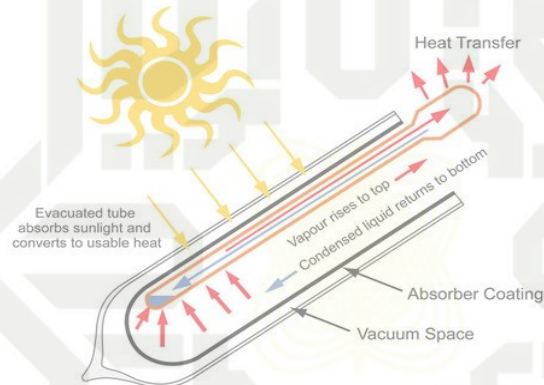
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

ditutup dengan tabung kaca yang dievakuasi dengan diameter dalam 66 mm untuk mengurangi kehilangan panas konvektif [14].

### 2.3.3. Concentric Solar Collectors (CSC)

Kolektor surya konsentrik, kolektor jenis ini di aplikasikan pada temperatur  $100^{\circ}$ - $300^{\circ}$  dan mampu men fokuskan energi radiasi matahari pada satu titik atau receiver, sehingga dapat menaikkan kuantitas energi panas yang diserap oleh absorber. Spesifikasi jenis ini dapat dikenali dari adanya komponen konsentrator yang terbuat dari material dengan transmisivitas tinggi. Berdasarkan komponen absorbernya jenis ini di kelompokkan menjadi dua jenis yaitu *point focus* dan *line focus* [13].



Gambar 2.4 Kolektor Surya Konsentrik [13].

Pada gambar diatas terdapat cermin cekung. Untuk matahari yang berjarak tak hingga maka cahaya yang menabrak cermin cekung akan tepat paralel. Sebagai pembentuk bayangan yang tajam maka cahaya harus dipantulkan ke satu titik. Seperti di gambar 2.3 memperlihatkan pantulan matahari agar difokuskan terhadap tabung *absorber* [13].

### 2.3.4. Evacuated Solar Collectors (ESC)

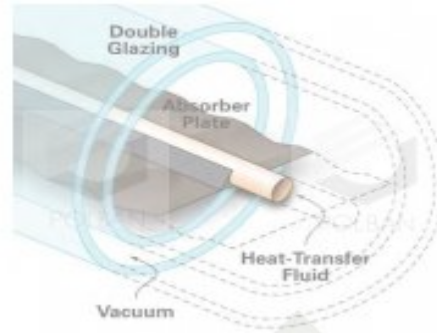
Kolektor Surya terevakuasi, kolektor ini disusun dari tabung–tabung kaca yang terevakuasi. Setiap tabung terdiri dari plat penyerap tipis terdapat pada bagian bodi pipa yang ada didalam tabung kaca. Keadaan vakum dalam tabung kaca mencegah kehilangan panas dan temperatur air yang dipanaskan pada kolektor ini dapat menghasilkan suhu diatas  $100^{\circ}\text{C}$ . Biasanya air panas yang dihasilkan dapat digunakan untuk proses industri [13].

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.5 Kolektor Tabung Terevakuasi [13].

## 2.4 Termodinamika

Termodinamika merupakan bagian dari cabang Fisika yang namanya Termofisika (*Thermal Physics*). Termodinamika adalah ilmu yang mempelajari hubungan antara energi dan kerja dari suatu sistem. Termodinamika hanya mempelajari besaran-besaran yang berskala besar (*makroskopis*) dari sistem yang dapat diamati dan diukur dalam eksperimen. Besaran-besaran yang berskala kecil (*mikroskopis*) dipelajari dalam teori kinetik gas (*Kinetic Theory of Gas*) atau fisika statistik (*Statistical Physics*). Termodinamika juga dapat diartikan sebagai ilmu yang menjelaskan kaitan antara besaran fisis tertentu yang menggambarkan sikap zat di bawah pengaruh kalor. Besaran fisis ini disebut koordinat *makroskopis* sistem. Kaitan atau rumus yang menjelaskan hubungan antar besaran fisis diperoleh dari eksperimen dan kemudian dapat digunakan untuk meramalkan perilaku zat di bawah pengaruh kalor. Jadi, termodinamika merupakan ilmu yang berlandaskan pada hasil hasil eksperimen [15].

Termodinamika dalam arti sempit merupakan salah satu ranting dari ilmu alam, ilmu hobi'ah, atau fisika yang mempelajari materi yang ada dalam keadaan setimbang terhadap perubahan temperatur, tekanan, volume, dan komposisi kimia. Termodinamika didasarkan pada empat konsepsi empiris, yaitu: hukum ke nol, pertama (yang berkaitan dengan kerja suatu sistem), kedua, dan ketiga termodinamika. Oleh karena itu, sebagian ahli menyatakan, termodinamika merupakan ranting fisika yang mempelajari hubungan antara kalor dan kerja. Ada dua pendapat mengenai pemanfaatan termodinamika. Versi pertama datang dari fisikawan dan kimiawan. Mereka lebih condong menggunakan Termodinamika untuk meramalkan dan menghubungkan berbagai sifat zat di bawah pengaruh kalor dan mengembangkan data termodinamis. Versi kedua berasal dari para insinyur (*Engineer*). Mereka lebih condong menggunakan data termodinamis dan gagasan dasar ketetapan energi serta produksi entropi untuk menganalisis perilaku sistem yang kompleks [15].



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Secara umum Termodinamika dapat dimanfaatkan untuk :

1. Menjelaskan kerja beberapa sistem termodinamis.
2. Menjelaskan mengapa suatu sistem termodinamis tidak bekerja sesuai dengan yang diharapkan.
3. Menjelaskan mengapa suatu sistem termodinamis sama sekali tidak mungkin dapat bekerja.
4. Landasan teoritis para Insinyur perencana dalam mendisain suatu sistem termodinamis; misalnya: motor bakar, pompa termal, motor roket, pusat pembangkit tenaga listrik, turbin gas, mesin pendingin, kabel transmisi superkonduktor, laser daya tinggi, dan mesin pemanas surya [15].

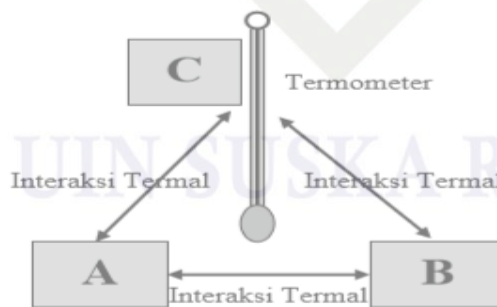
Termodinamika memusatkan perhatiannya pada paham mengenai:

1. Ketetapan energi.
2. Ketetapan entropi, dalam arti, proses yang menghasilkan entropi mungkin dapat terjadi, namun proses yang menghapuskan entropi mustahil terjadi.
3. Entropi yang dapat digunakan untuk menentukan jumlah daya berguna maksimum yang dapat diperoleh dari berbagai sumber energi untuk melakukan kerja [15].

#### 2.4.1 Bunyi Hukum Termodinamika (0,1, & 2)

##### 2.4.1.1 Hukum Termodinamika ke nol (0)

Yang berbunyi “Jika dua sistem berada dalam kesetimbangan termal dengan system ketiga, ketiga sistem tersebut berada dalam kesetimbangan termal satu sama lain”



Gambar 2.6. Hukum Ke Enol Termodinamika [16].

Maksudnya apabila sistem A berada dalam kesetimbangan termal dengan sistem C, sedangkan sistem B dalam kesetimbangan termal dengan C, A dalam kesetimbangan termal B. dari hukum ini dapat kita simpulkan bahwa untuk menentukan apakah dua sistem mempunyai dua suhu yang sama, tidak perlu kedua sistem tersebut ditentukan [16].



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**4.4.12 Hukum Termodinamika ke satu (1)**

“Hukum pertama berisi postulat bahwa  $W_{ad}$  mempunyai harga yang sama untuk semua lintasan-lintasan adiabatic antara dua keadaan yang sama”

Dengan menggantikan  $-W_{ad}$  dengan  $E_2 - E_1$ , kita peroleh:

$$E_2 - E_1 = JQ - W \tag{2.1}$$

Maka persamaan (2-1) mempunyai bentuk yang lebih sederhana:

$$E_2 - E_1 = Q - W \tag{2.2}$$

Atau dituliskan

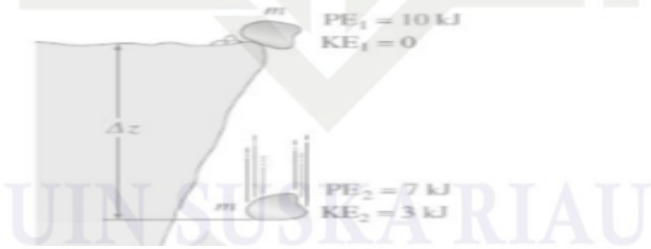
$$\Delta E = Q - W \tag{2.3}$$

Dimana:

Q = panas yang diterima atau dilepas

W = energi atau usaha

JQ dan W keduanya dapat dinyatakan dalam bentuk energi. JQ menyatakan aliran energi yang masuk ke sistem dan W menyatakan aliran yang keluar dari sistem pertambahan energi neto dari sistem ( $E_2 - E_1$ ) sama dengan JQ yang mengalir masuk ke sistem sebagai kalor dikurangi energi yang keluar sebagai usaha. Persamaan (2-1) merupakan pernyataan dari prinsip kekekalan energi yang menyatakan bahwa aliran kalor masuk kedalam sistem berarti terdapat aliran energi yang masuk ke sistem [16].



Gambar 2.7. Koservasi Energi [16].

**4.4.12.1. Sifat-Sifat Bebas Dari Zat Murni**

Konsep zat murni adalah keadaan zat murni didefinisikan oleh dua sifat bebas, misalkan uap bermassa tetap berada dalam bejana yang dilengkapi peralatan sedemikian rupa sehingga tekanan, volume, dan suhunya dapat diukur dengan mudah. Jika volumenya kita tetapkan pada suatu harga suhu tertentu yang kita pilih, nilai tekanan tidak dapat diubah. Sekali kita telah menetapkan harga volume dan suhu, harga tekanan dalam kesetimbangan diperoleh secara alami. Jadi diantara tiga koordinat termodinamik p, V dan T hanya dua yang merupakan sifat bebas [16].

**4.4.1.2.2. Fase**

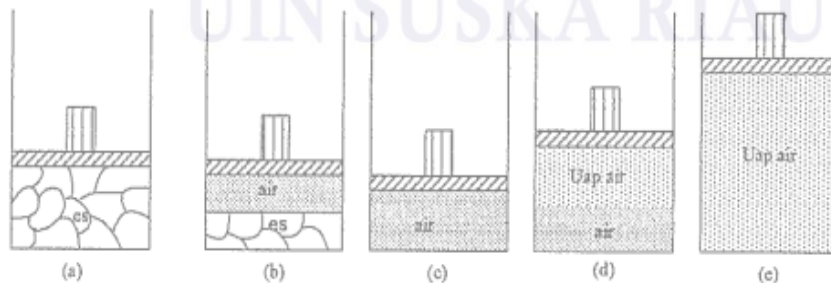
Fase adalah kuantitas zat yang mempunyai struktur fisika dan komposisi kimia yang seragam. Struktur fisika dikatakan seragam apabila zat terdiri dari gas saja, cair saja, dan padat saja. Sistem terdiri dari dua fase yaitu cair dan gas. Komposisi zat dikatakan seragam apabila suatu zat hanya terdiri dari satu bahan kimia yang dapat berbentuk cair, padat, dan gas atau campuran dari dua atau tiga dari bentuk tersebut. Campuran gas seperti udara atmosfer dianggap senyawa tunggal [16].

Zat murni mempunyai komposisi kimia yang seragam dan tidak berubah. Zat murni dapat berada dalam beberapa fase yaitu: [16]

1. Fase padat biasanya dikenal dengan es
2. Fase cair
3. Fase uap
4. Campuran kesetimbangan fase cair dan uap
5. Campuran kesetimbangan fase padat dan cair
6. Campuran kesetimbangan fase padat dan uap

**4.4.1.2.3. Perubahan Fase**

Peristiwa perubahan zat murni dapat dilihat pada gambar (2.7) Meskipun perubahan fase cair menjadi uap menjadi perhatian utama dalam termodinamika. Seperti, disini digunakan sebuah silinder yang dilengkapi penghisap, silinder mula-mula berisi 1 kg es dengan tekanan 100 kPa kemudian dipanaskan secara perlahan pada tekanan konstan hingga seluruh es berubah menjadi uap [16].



Gambar 2.8 Perubahan Fase Untuk Air Dari Fase Padat Ke Fase Uap [16]

Prinsip-prinsip yang digunakan untuk memecahkan proses aliran tunak yaitu:

- a. Kekekalan massa Volume atur atau Kontrol

Volume atur merupakan volume dalam ruang (daerah) yang diselidiki yang dibatasi oleh permukaan atur. Ukuran dan bentuk volume atau benar-benar sembarang, dan

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
 2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



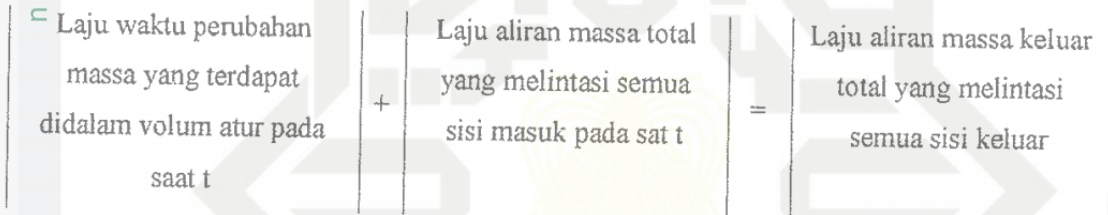
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

definisikan berdasarkan kebutuhan analisis. Akan tetapi yang lazim ditemui adalah volume atur yang bentuk dan ukurannya tetap dan kedudukannya tetap terhadap suatu acuan. Pada ujung-ujung terbuka permukaan batasnya imajiner sehingga massa, kalor, dan usaha dapat mengalir melalui permukaan atur [16].

Untuk persamaan laju aliran massa:

$$\frac{dm_{cv}}{dt} = \sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_o \tag{2.4}$$

Persamaan (2.4) disebut sebagai neraca laju massa untuk volume atur dengan beberapa sisi masuk dan sisi keluar



Gambar 2.9 Neraca Laju Massa [16]

- b. kekekalan energi volume atur atau kontrol [16]

kita tulis hukum pertama,

$$E_2 - E_1 = Q - W \tag{2.5}$$

Laju perpindahan kalor dalam selang waktu  $\Delta t$

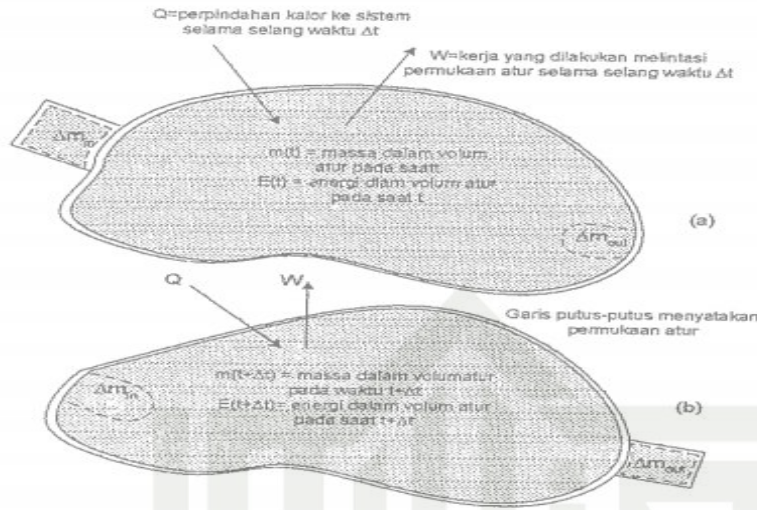
$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{E_2 - E_1}{\Delta t} + \frac{W}{\Delta t} \tag{2.6}$$

$E_2 - E_1$  adalah perubahan energi sistem.

Pada gambar 2.10 memperlihatkan volume atur yang mempunyai massa tetap m yang mengisi daerah yang berbeda pada waktu t dan kemudian t +  $\Delta t$

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.10 Diagram Skematik Dari Hukum Pertama Untuk Analisis Volume atur [16]

Untuk persamaan kekekalan energi dalam volume atur:

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q}_{cv} - \dot{W} + \sum \dot{m}_i \left( h_i + \frac{V_{in}^2}{2} + gz_i \right) - \sum \dot{m}_o \left( h_o + \frac{V_o^2}{2} + gz_o \right) \quad (2.7)$$

Persamaan (2-6) juga disebut persamaan kekekalan energi dalam volume atur. Bila tidak ada aliran masaa masuk atau keluar volume atau persamaan (2-8) menjadi:

$$\dot{Q} = \frac{dE}{dt} + \dot{W} \quad (2.8)$$

Persamaan ini merupakan bentuk persamaan laju aliran kalor dari hokum pertama untuk sistem [16].

**2.4.1.3 Hukum Termodinamika Ke Dua (2)**

Hukum termodinamika ke dua memberikan batasan mengenai konversi beberapa bentuk energy menjadi bentuk lain. Ada dua bentuk energi yang palig banyak mendapatkan perhatian, yaitu kalor (*heat*) dan kerja (*work*). Sehingga hukum kedua termodinamika tidaklah membantah kesetaraan dalam konversi itu berlangsung. Kerja adalah komoditas yang penting. Hal ini disebabkan karena kerja dapat dikonversikan seluruhnya dan secara terus menerus menjadi kalor, tetapi sebaliknya kalor tidak dapat dikonversikan seluruhnya dan secara terus menerus menjadi kerja [17].

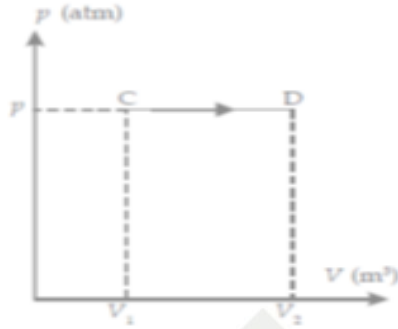
**2.4.2 Proses-Proses Termodinamika**

Ada empat proses-proses termodinamika: [17]

1. Proses *Isobarik* (Tekanan konstan)

Proses Isobarik adalah suatu proses perubahan sistem pada tekanan tetap. Jadi volume sistem berubah, sedangkan tekanannya tetap.

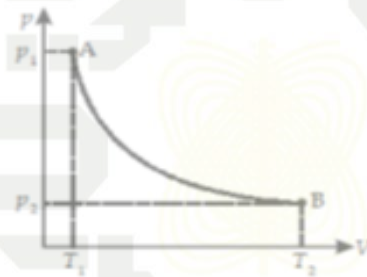
- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.11 Proses *Isobarik* [17]

2. Proses *Isotermal* (Temperatur konstan)

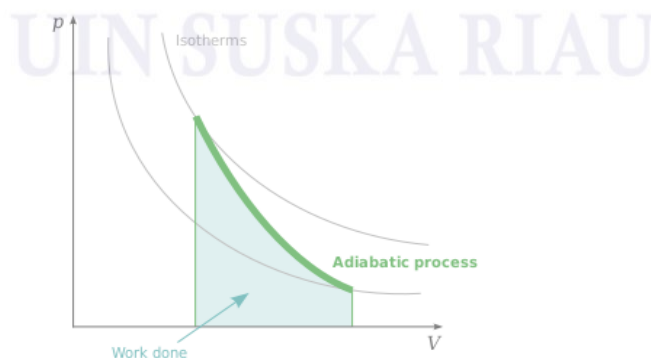
Proses Isotermal adalah suatu proses perubahan keadaan sistem pada suhu tetap. Dalam proses ini tekanan dan volume berubah sehingga tidak dapat langsung digunakan [17].



Gambar 2.12 Proses *Isotermal* [17]

3. Proses *Adiabatik* (Tidak ada kalor yang hilang)

Proses Adiabatik adalah suatu proses perubahan keadaan gas dimana tidak ada kalor ( $Q$ ) yang masuk atau keluar dalam sistem (Gas). Proses ini dapat dilakukan dengan cara mengisolasi sistem dengan menggunakan bahan yang tidak mudah menghantarkan kalor atau biasa disebut bahan adiabatik.



Gambar 2.13 Proses *Adiabatik* [17]

4. Proses *Isokhorik* (Volume konstan)

Proses Isokhorik adalah suatu proses perubahan keadaan sistem pada volume tetap.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



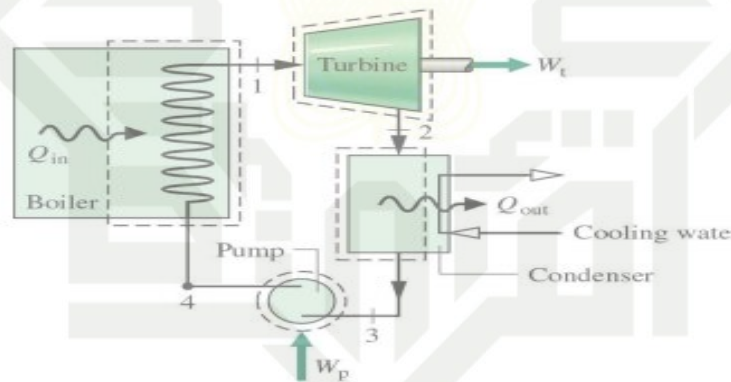
Gambar 2.14 Proses *Isokhorik* [17]

### 2.4.3 Siklus-Siklus Termodinamika

#### 2.4.3.1 Siklus Rankine

Prinsip kerja dari *heat transfer*

- a) *Heat transfer* antara sistem ke lingkungan dapat diabaikan
- b) Energi kinetik dan potensial diabaikan
- c) Setiap komponen beroperasi pada *steady state*
- d) Penggunaan bersama prinsip-prinsip kekekalan massa dan energi



Gambar 2.15 Prinsip Kerja Dan Heat Tranfer Dari Sistem Tenaga Uap Sederhana [18]

Pada state 1, uap dari boiler pada state 1 mengalami kenaikan temperatur dan tekanan, berekspansi melalui turbin untuk menghasilkan kerja dan kemudian dibuang ke kondensor. Di negara bagian 2, dengan tekanan rendah. *Heat transfer* dengan lingkungan dapat diabaikan, laju kesetimbangan massa dan energi untuk volume atur di sekitar turbin pada keadaan tunak memberikan: [18]

$$W_t \dot{m} = h_4 - h_3 \tag{2.9}$$

Keterangan :

$W_t$  = Kerja turbin (kJ/kg)

$\dot{m}$  = laju aliran massa fluida (kg/s)

$h_3$  = Entalpi pada titik 3 (kJ/kg)

$h_4$  = Entalpi pada titik 4 (kJ/kg)



1. Dianggap mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Di kondensor, perpindahan panas dari uap ke air pendingin mengalir dalam aliran emisahan. Uap yang terkondensasi dan suhu air pendingin meningkat dalam kondisi *steady state*, keseimbangan massa dan energi untuk volume atur:

$$Q_{out} \dot{m} = h_1 - h_4 \tag{2.10}$$

Keterangan:  
 $Q_{out}$  = Kesetimbangan kalor yang keluar (kW)  
 $h_1$  = Entalpi pada titik 1 (kJ/kg)

Dimana  $Q_{out} \dot{m}$  adalah laju energi yang dipindahkan oleh panas dari fluida kerja ke air pendingin per satuan massa fluida kerja melalui kondensor. Cairan kondensat yang meninggalkan kondensor pada titik ke 3 dipompa dari tekanan kondensor ke tekanan boiler, kemudian keseimbangan massa dan energi:

$$W_p \dot{m} = h_2 - h_1 \tag{2.11}$$

Keterangan:  
 $W_p$  = Kerja pompa (kJ/kg)  
 $h_2$  = Entalpi pada titik 2 (kJ/kg)

Dimana  $W_p \dot{m}$  adalah laju daya input per satuan massa yang melewati pompa. Fluida kerja dari su atu siklus seperti cairan yang meninggalkan pompa pada titik ke 4 disebut air umpan boiler, dipanaskan hingga jenuh dan diuapkan di dalam boiler. Dari keadaan 4 ke 1, keseimbangan massa dan laju energi:

$$Q_{in} \dot{m} = h_3 - h_2 \tag{2.12}$$

Keterangan:  
 $Q_{in}$  = Kesetimbangan kalor yang masuk (kW)

Dimana  $Q_{in} \dot{m}$  adalah laju *heat* transfer dari sumber energi ke fluida kerja per unit massa melalui boiler.

Langkah berikutnya mencari keluaran daya setelah mendapatkan proses 1 sampai 4, berikut perhitungannya:

$$W_{net} = W_t - W_p \tag{2.13}$$

Keterangan:  
 $W_{net}$  = Daya keluaran bersih (kW)

Efisiensi termal mengukur tingkat di mana input energi ke fluida kerja melalui boiler diubah menjadi *output* kerja total. Efisiensi termal dari siklus daya Gambar 2.7 adalah:

$$\eta = \frac{W_t - W_p}{Q_{in}} \times 100\% \tag{2.14}$$





Keterangan:

$\eta$  = Efisiensi PLTU (%)

Parameter lain yang digunakan untuk menggambarkan kinerja suatu pembangkit listrik adalah *Back Work Ratio* (BWR) yang didefinisikan sebagai perbandingan kerja input pompa dengan kerja yang dihasilkan turbin. Bwr untuk siklus daya:

$$\eta = \frac{w_p}{w_t} \dot{m} = (h_2 - h_1) (h_4 - h_3) \tag{2.15}$$

## 2.5. Analisis Teknis

### 2.5.1 Intensitas Radiasi Matahari

Intensitas radiasi matahari merupakan suatu energi radiasi matahari yang diterima oleh suatu permukaan persatuan luas dan persatuan waktu. Total energi radiasi matahari dapat dihitung dengan persamaan berikut ini: [19]

$$Q_{rad} \int_{t_{ss}}^{t_{rs}} I dt \tag{2.16}$$

Dimana :

$t_{rs}$  : waktu matahari terbit

$t_{ss}$  : waktu matahari terbenam

$I$  : intensitas radiasi matahari ( $W/m^2$ )

$dt$  : lama waktu penyinaran matahari

Jumlah intensitas radiasi matahari pada waktu tertentu dapat diprediksi dengan melakukan pertimbangan langsung (*beam/direct radiation*) dan radiasi yang dibelokkan (*diffuse radiation*). Radiasi langsung dan tidak langsung yang diteruskan ke permukaan bumi dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut : [19]

$$I_b = I_{on} \tau_b \cos \theta_z \tag{2.17}$$

Dimana :

$I_b$  : radiasi langsung

$I_{on}$  : radiasi yang diterima bumi

$\tau_b$  : fraksi radiasi matahari ke bumi

$\cos \theta_z$  : sudut azimut

*diffus radiation* yaitu refleksi radiasi matahari dari segala arah maka nilai nya bisa kita dapatkan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$I_d = I_{on} \tau_b \cos \theta_z (0,271 - 0,294 \tau_b) \tag{2.18}$$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

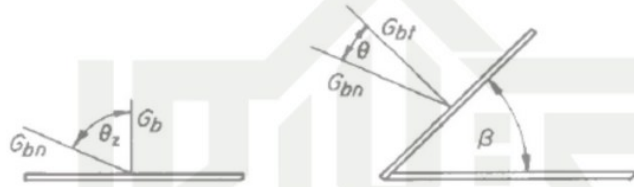
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Intensitas radiasi matahari diperoleh dari menjumlahkan radiasi langsung dengan radiasi yang dibelokkan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$I_b = I_d + I_{db} \tag{2.19}$$

Berikut ini adalah sudut datang intensitas matahari terhadap bidang kolektor horizontal dan bidang yang dimiringkan ditunjukkan gambar 2.17



Gambar 2.16 Permukaan Horizontal Dan Permukaan Miring [19]

Untuk menghitung intensitas radiasi matahari langsung pada sebuah permukaan miring dari data intensitas radiasi matahari pada sebuah permukaan horizontal dapat dihitung jika posisi matahari diketahui setiap saat. Posisi matahari juga digunakan untuk menentukan radiasi matahari yang diteruskan melalui kaca, di mana transmisivitasabsorpsivitasnya juga berubah-ubah sesuai dengan sudut matahari [19].

Sudut zenit adalah sudut antara zenit (z) dengan garis sudut tegak lurus sinar matahari terhadap permukaan horizontal yang ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\cos \theta_z = \sin \delta \times \sin \phi + \cos \beta \times \cos \delta \times \cos \omega \tag{2.20}$$

Untuk permukaan yang dimiringkan . Beberapa parameter pada persamaan diatas ditunjukkan pada persamaan dibawah ini :

1. Posisi Lintang ( $\phi$ )  
 $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$  (2.21)

2. Deklinasi ( $\delta$ )  
 Sudut posisi matahari pada siang hari pada katulistiwa ditentukan dengan  

$$\delta = 23,45 \sin \left( \frac{284+n}{365} \right)$$
 (2.22)

Dimana nilai didapatkan dari nilai hari keberapa dalam tersebut



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tabel 2.1 Nilai N Berdasarkan Bulan

Bulan	Nilai n pada hari
Januari	I
Februari	31+i
Maret	59+i
April	90+i
Mei	120+i
Juni	151+i
Juli	181+i
Agustus	212+i
September	243+i
Oktober	273+i
November	304+i
Desember	334+i

Dimana i tanggal berapa pada bulan melakukan penelitian

3. Kemiringan ( $\beta$ )

Sudut antara permukaan bidang bertemu dengan garis horizontal :

$$0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ \text{ atau } \beta > 90^\circ \tag{2.23}$$

4. Sudut matahari ( $\omega$ )

Pergeseran matahari dari garis bujur yang di akibatkan oleh rotasi bumi pada porosnya sebesar  $15^\circ$  per jam pagi negatif, siang positif. ( $\omega$ ) dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$(\omega) = (ts - 12) \times \frac{360}{24} \tag{2.24}$$

**2.5.2 Energi Panas Radiasi Total Yang Diterima Kolektor**

Total energi panas radiasi matahari yang diterima oleh suatu permukaan kolektor surya dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Q_{radiasi\ total} = I_{total} A \tag{2.25}$$

**2.5.3 Energi Panas Radiasi Yang Diserap Kolektor**

Untuk mengetahui energi panas radiasi yang dapat diserap kolektor surya dapat diketahui menggunakan persamaan berikut :

$$Q_{in} = Q_{radiasi\ total} \tau \alpha_{ave} \tag{2.26}$$



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Dimana :

$Q_{in}$  = radiasi total matahari selama satu siklus (Watt)

$Q_{radiasi\ total}$  = energi panas radiasi total yang diterima kolektor surya (Watt)

$A$  = luas permukaan kolektor yang terpapar sinar matahari ( $m^2$ )

$\alpha$  = adsorpsivitas plat kolektor yang berwarna hitam sebesar 0,94

$\alpha_g$  = adsorpsivitas kaca 0,94

Nilai *transmisivitas* dan *absorpsivitas* rata-rata kaca dan plat kolektor didapat dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\tau\alpha_{ave} = 0,96 \times (\tau\alpha)_b \tag{2.27}$$

Dimana :

$$(\tau\alpha)_b = 1,01 \times \pi \times \frac{\alpha}{\alpha_n} \tag{2.28}$$

$$\tau = \tau_r \times \tau_\alpha \tag{2.29}$$

Koefisien *transmisivitas* refleksi ( $\tau_r$ ) diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$(\tau_r) = \frac{1}{2} \left( \frac{1-r//}{1+r//} + \frac{1-r\perp}{1+r\perp} \right) \tag{2.30}$$

Nilai refleksi sejajar

$$r// = \frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_2 + \theta_1)} \tag{2.31}$$

$\theta_1$  = sudut datang matahari terhadap bidang vertikal

$\theta_1$  12:00 = 0° setiap 1 jam tambah 15°

$$\theta_2 = \text{sudut bias kaca, } \theta_2 = \sin^{-1} \left( \frac{n_1}{n_2} \times \sin \theta_1 \right) \quad \theta_2 = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \theta_1}{n} \right) \tag{2.32}$$

$n$  = indeks bias kaca rata-rata = 1,526

$$r\perp = \frac{\tan^2(\theta_2 - \theta_1)}{\tan^2(\theta_2 + \theta_1)} \tag{2.33}$$

Koefisien *absorpsivitas* refleksi ( $\tau_r$ ) diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$(\tau_r) = \exp \left( - \frac{KL}{\cos \theta_2} \right) \tag{2.34}$$

Dimana :

K: koefisien redam kaca =  $8m^{-1}$

L: tebal kaca = 5mm = 0,005m



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$\alpha_n = 0,94$ 

$$= 1 - 1,5789 \times 10^{-5}\theta_1 + 2,7314 \times 10^{-4}\theta_1^2 - 2,2306 \times 10^{-5}\theta_1^3 + 9,0244 \times 10^{-6}\theta_1^4 - 1,8 \times 10^{-8}\theta_1^5 + 1,7734 \times 10^{-10}\theta_1^6 + 6,9937 \times 10^{-13}\theta_1^7 \quad (2.35)$$

**2.5.4. Energi Panas Radiasi Yang Digunakan Kolektor**

Energi panas radiasi yang digunakan kolektor ( $Q_b$ ) , merupakan energi yang digunakan atau diserap adsorben untuk menaikkan temperatur kemudian disalurkan dan digunakan untuk ke dalam lemari bahan. Energi panas aktual yang digunakan kolektor dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut

$$Q_b = F'(Q_{in} - Q_{loss}) \quad (2.36)$$

Dimana :

$Q_b$  = laju energi panas yang digunakan kolektor surya (Watt)

$F'$  = faktor efisiensi kolektor diasumsikan 0,9

$Q_{loss}$  = kerugian panas total (Watt)

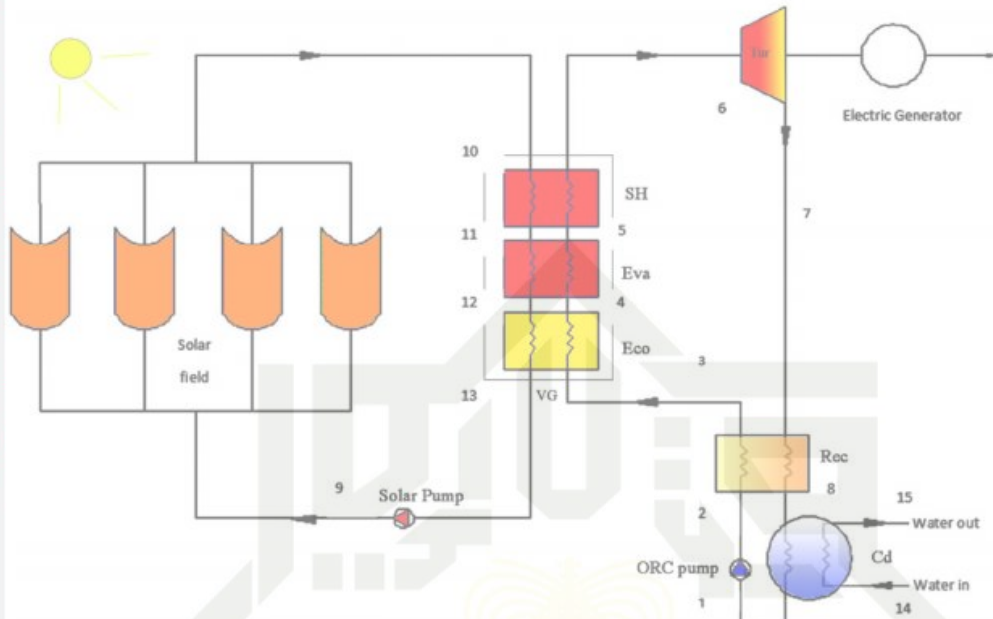
Menghitung kerugian Panas Total dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{loss} = \eta \cdot Q_{in} \quad (2.37)$$

Dimana:

$\eta$  = Efisiensi kolektor Surya (%)

### 5.5.5 Analisis PLTS PTC Terintegrasi Siklus Rankine



Gambar 2.17 PTC Terintegrasi Siklus Rankine [20]

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

a. Heat Exchanger

$$E_{in} = E_{out} + d \frac{dE_{cv}}{dt} \rightarrow \text{stasioner} = 0 \quad (2.38)$$

Maka

$$E_{in} = E_{out} \quad (2.39)$$

b. Solar Pump = keadaan 13-9

$$\dot{Q} = \dot{m}(h_9 - h_{13}) \quad (2.40)$$

c. Turbin = keadaan 6-7

$$E_6 = E_7 + \dot{W} \quad (2.41)$$

$$\dot{w} = h_6 - h_7 \quad (2.42)$$

d. Kondensor (Cd) = keadaan 14-15

$$\dot{Q}_{Cd} = \dot{m}_{14}h_{14} - \dot{m}_{15}h_{15} \quad (2.43)$$

e. Energi mekanis atau kerja keluaran bersih dari sistem:

$$W_{net} = W_{tur,a} - W_{pump,a} \quad (2.45)$$

Skema ORC surya disajikan pada Gambar 2.15. Cairan ORC dipompa melalui economizer dan dipanaskan hingga suhu jenuhnya. Kemudian masuk ke dalam evaporator campuran dua fase diubah menjadi uap murni secara konstan suhu, penukar panas ketiga



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

memanaskan cairan dan naikan suhu dalam tekanan konstan. Uap dalam keadaan 6 memasuki turbin dan mengirimkan daya, karena tingginya kandungan energi uap di negara bagian 7, kita dapat menggunakan kembali energinya memasukkan fluida ke *Recuperator* untuk memanaskan terlebih dahulu fluida *subcooled* yang masuk sebelum memasuki *economizer*. Cairan kerja memasuki kondensor pada keadaan 7 dan didinginkan hingga sepenuhnya cair. Kemudian, pompa menaikkan tekanannya ke tekanan *economizer* dan siklus selesai [20].

**2.6. Engineering Equation Solver (EES)**

Pemecah Persamaan Rekayasa (EES) adalah program yang memecahkan sistem aljabar *linier* atau *nonlinier* atau persamaan diferensial secara numerik. Ini memiliki perpustakaan besar fungsi properti termodinamika bawaan serta fungsi matematika, dan memungkinkan pengguna untuk menyediakan data properti tambahan. Tidak seperti beberapa perangkat lunak paket, EES tidak menyelesaikan masalah teknik, itu hanya memecahkan persamaan yang disediakan oleh pengguna [21].

Oleh karena itu, pengguna harus memahami masalah dan merumuskannya dengan menerapkan hukum dan hubungan fisik yang relevan. EES menghemat banyak waktu dan tenaga pengguna hanya dengan menyelesaikannya persamaan matematika yang dihasilkan. Ini memungkinkan untuk dicoba masalah teknik yang signifikan tidak cocok untuk perhitungan tangan, dan untuk melakukan studi parametrik dengan cepat dan nyaman [21].

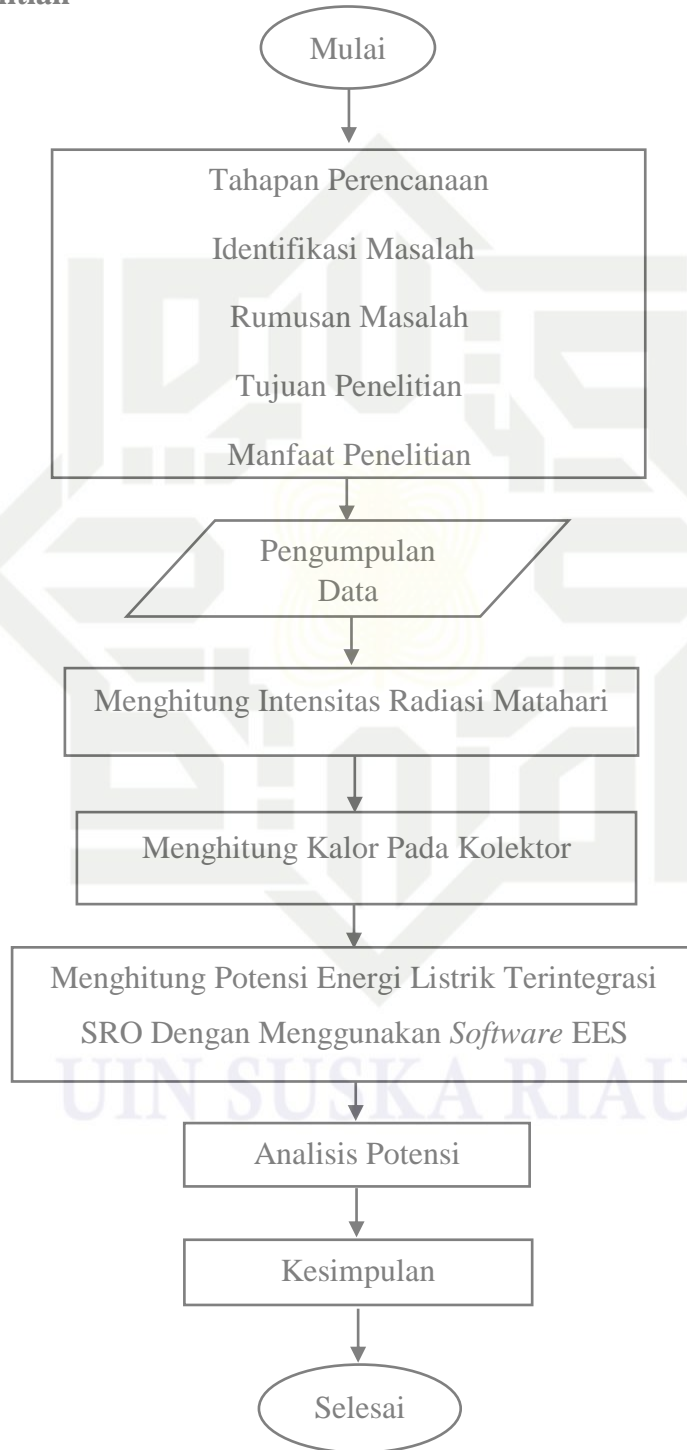
UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Prosedur Penelitian



Gambar 3.1 *Flowcart* Tahapan Penelitian





## 2. Tahap Perencanaan

Untuk pelaksanaan penelitian ini, tahap perencanaan adalah hal yang utama untuk mempersiapkan semua hal teknis yang di laksanakan tersusun dengan jelas dan untuk mempermudah penelitian sesuai rencana. Perencanaan tersebut yang disusun dalam penelitian ini yaitu:

### 1. Identifikasi Masalah

Langkah ini dilakukan untuk menentukan permasalahan yang terjadi di penelitian ini yaitu tentang kebutuhan energi meningkat yang dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk tercatat 6,39 juta jiwa meningkat menjadi 6,45 juta jiwa, lalu untuk *supply* energi yang ada pada saat ini masih didominasi oleh pembangkit berbahan bakar fosil yang mana ketersediaan bahan baku untuk bahan bakar fosil sudah menipis, dampak dari pemakaian bahan bakar yang berasal dari fosil meningkatnya CO<sup>2</sup> dan Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 16,1 (1,610%) juta ton CO<sub>2</sub> terus meningkat sebesar 7,7 (770%) juta ton CO<sub>2</sub>. Dengan tingkat pertumbuhan 15,724%. Sehingga dapat di analisis dari permasalahan sumber energi dan emisi maka dilakukam pemanfaatan sumber energi terbarukan di Riau yaitu energi matahari dengan Potensi Energi Listrik *Solar Collector Jenis Parabolic Trough Terintegrasi Organic Rankine Cycle (ORC)*.

### 2. Rumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana cara menganalisis potensi energi matahari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menggunakan kolektor surya tipe *parabolic* di provinsi Riau. Dengan menghitung radiasi matahari, menghitung energi kalor pada kolektor surya hingga menghasilkan energi listrik.

### 3. Tujuan Penelitian

Untuk tujuan penelitian ini, dengan cara menganalisis potensi intensitas matahari di provinsi Riau. Menganalisis potensi energi kalor yang dihasilkan solar kolektor jenis *Parabolic Trough* di provinsi Riau. Juga Menganalisis potensi energi listrik yang dihasilkan solar kolektor jenis *Parabolic through* terintegrasi ORC di provinsi Riau.

## 3.3. Studi Literatur

Studi penelitian ini berisikan penelitian-penelitian terkait sebelumnya yang telah pernah di lakukan, untuk mendapatkan referensi serta berisikan landasan teori dan metode untuk menyelesaikan penelitian ini. Studi literatur yang di ambil ialah penelitian yang berkaitan tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Parabolic Through Collector (PTC)* yaitu berupa buku, jurnal baik nasional maupun internasional.

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Diarangi mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

#### 3.4. Pengumpulan Data

Data terbagi dua primer dan sekunder, adapun pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data sekunder.

##### 3.4.1. Data Radiasi Matahari

Data radiasi matahari berdasarkan labor energi terpadu UIN SUSKA RIAU bulan Mei tahun 2022.

Tabel 3.1 Data Radiasi Matahari

Hari/bulan	Total radiasi(W/m <sup>2</sup> )	Hari/bulan	Total radiasi(W/m <sup>2</sup> )
1 maret	297,758	17 maret	446,9857
2 maret	474,5774	18 maret	375,3752
3 maret	302,1178	19 maret	496,7647
4 maret	378,2972	20 maret	408,9726
5 maret	327,0571	21 maret	348,7215
6 maret	328,5199	22 maret	358,9651
7 maret	361,2862	23 maret	372,6736
8 maret	403,2116	24 maret	358,3367
9 maret	382,5699	25 maret	327,5933
10 maret	361,2862	26 maret	382,8473
11 maret	472,4456	27 maret	463,5273
12 maret	437,5893	28 maret	462,2867
13 maret	452,0611	29 maret	444,5853
14 maret	322,6731	30 maret	374,6221
15 maret	372,6291	31 maret	281,9068
16 maret	300,8514	Rata-Rata	382,64

##### 3.4.2. Propertis Termodinamika

Propertis atau sifat termodinamika merupakan ciri khas suatu sistem yang mampu menentukan keadaan suatu sistem. Pada penelitian ini propertis termodinamika meliputi zat kerja PTC yaitu oli dan zat kerja pembangkit listrik termal menggunakan ORC. Pada penelitian ini dipilih zat kerja Benzena. Pemilihan fluida kerja ini didasarkan penelitian [11] yang melakukan penelitian pembangkit ORC dengan berbagai jenis fluida kerja, performa pembangkit terbaik dihasilkan oleh fluida kerja benzene. Untuk data propertis



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

termodinamika ini diambil dari tabel propertis termodinamika yang meliputi temperatur dan tekanan.

### 4.3. Spesifikasi Kolektor Surya

Spesifikasi kolektor Surya dipilih jenis LS-3 karena merupakan desain kolektor yang paling umum dan terkenal di pembangkit listrik tenaga surya. Spesifikasi kolektor surya merupakan data sekunder yang diperoleh melalui penelitian [8]. Data spesifikasi kolektor surya LS-3 dapat dilihat pada table 3.2.

Tabel 3.2 Spesifikasi Kolektor Surya LS-3 [22]

Parameter	Simbol	Nilai
Lebar kolektor tunggal × panjang	$W_w \times L$	5,77 m × 12 m
Diameter dalam dan luar penerima	$D_{r,i}, D_{r,o}$	0,066 m, 0,07 m
Tutup diameter dalam dan luar	$D_{c,i}, D_{c,o}$	0,155 m, 0,121 m
Emisi penutup dan penerima	$\epsilon_{cv}, \epsilon_r$	0,86, 0,15
Reflektansi cermin $\rho_c$	$\rho_c$	0,93
Faktor intersep $\gamma_i$	$\gamma_i$	0,93
Transmisi penutup kaca	$\tau$	0,94
Absorbansi penerima	$\alpha$	0,94
Pengubah sudut insiden	$K_r$	1
Laju aliran massa di penerima	$m_o$	0,8 kg / s

### 3.5. Menghitung Kalor Kolektor Surya

Pada tahap ini dilakukan perhitungan manual kalor pada *Parabolik Trough Collector*.

#### 3.5.1 Intensitas Radiasi Matahari

Energi panas pada PTC dengan menggunakan kolektor surya jenis LS-3 akan dilakukan untuk mendapatkan laju kalor yang berguna dari kolektor, serta efisiensi termalnya. Tahapan dalam menghitung energi panas pada PTC yaitu:

1. Menghitung total energi radiasi matahari dengan menggunakan persamaan 2.16
2. Menghitung radiasi langsung dan tidak langsung yang diteruskan ke permukaan bumi dengan menggunakan persamaan 2.17
3. Menghitung refleksi radiasi matahari dari segala arah dengan menggunakan persamaan 2.18

4. Menghitung Intensitas radiasi matahari diperoleh dari menjumlahkan radiasi langsung dengan radiasi yang dibelokkan dengan menggunakan persamaan 2.19
5. Menghitung sudut zenit dengan menggunakan persamaan 2.20
6. Menghitung posisi lintang dengan menggunakan persamaan 2.21
7. Menghitung deklinasi dengan menggunakan persamaan 2.22
8. Menghitung sudut matahari dengan menggunakan persamaan 2.24

#### 6. Menghitung Laju Energi Kalor Pada Kolektor

1. Total energi panas radiasi total yang diterima oleh suatu permukaan kolektor surya dengan menggunakan persamaan 2.25
2. Untuk mengetahui energi panas radiasi yang diserap oleh suatu permukaan kolektor surya dengan menggunakan persamaan 2.26
3. Untuk mengetahui energi panas radiasi yang digunakan kolektor surya dengan menggunakan persamaan 2.36
4. Untuk menghitung kerugian Panas Total dapat dihitung menggunakan persamaan 2.37

#### 3.7. Menghitung Potensi Energi Listrik Terintegrasi SRO Dengan Menggunakan Software EES

Siklus ORC merupakan suatu siklus Rankine konvensional yang dimodifikasi dengan menggunakan fluida kerja dari jenis fluida organik menggunakan EES dan menggantikan air yang digunakan pada siklus Rankine konvensional menggunakan EES. Pada penelitian ini siklus ORC terintegrasi pada PTC, yang menggunakan fluida organik yaitu benzene. Untuk menganalisa energi pada siklus ORC terintegrasi PTC menggunakan hukum termodinamika 1 untuk control volume. Dengan Menggunakan *Software* EES. Adapun Tahapan Perhitungan Dapat Dilihat Pada Gambar 3.2

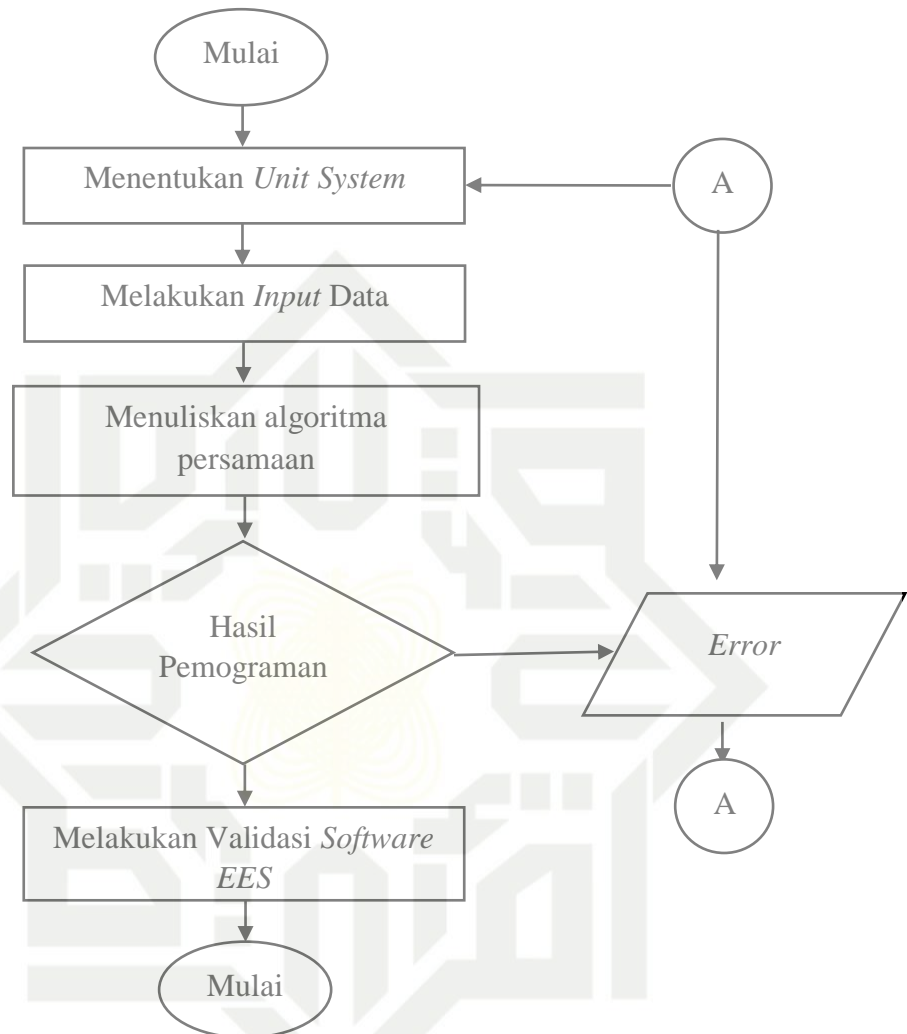
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

### 7.1.1 Pemrograman *Engineering Equation Solver*

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

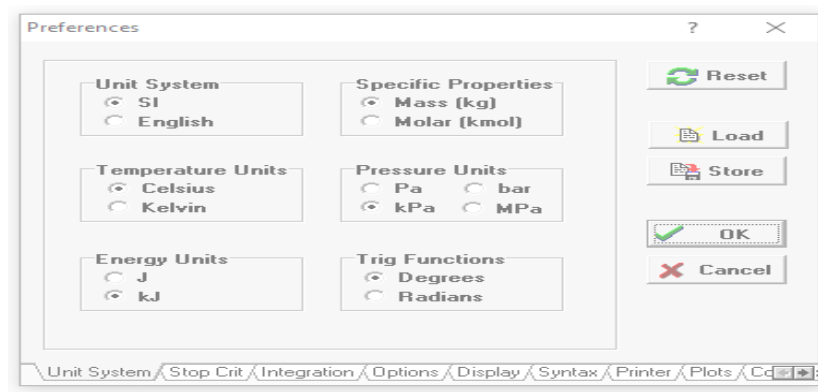
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.2 *Flow Chart Validasi Software EES*

#### 1. Menentukan *Unit System*

Setelah Software di mulai tentukan dulu *Unit System* sesuai kebutuhan, untuk menentukannya klik *Preferences* pada *Options* lalu klik ok.



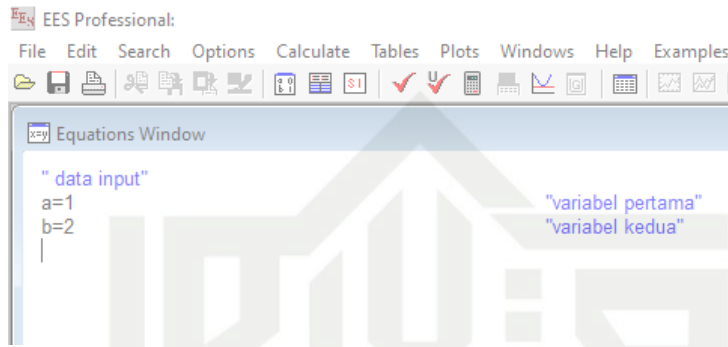
Gambar 3.3 *Icon Preferences*



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Melakukan penginputan data

Tahap pertama dalam perhitungan dengan menginput data sesuai kebutuhan. Input data dilakukan dengan memasukkan nilai suatu keadaan pada *Equations Window*. Untuk tanda petik (“) menyatakan suatu variabel dan tanda kurung siku ([ ]) menyatakan satuan.



Gambar 3.4 Penginputan Data

3. Menuliskan algoritma persamaan

Setelah input data, selanjutnya adalah menulis algoritma persamaan pada *Equations Window*. Untuk penjumlahan dan pengurangan dengan simbol (+) dan (-), sedangkan untuk perkalian dan pembagian (\*) dan (/). Adapun penggunaan tanda kurung untuk menentukan perhitungan yang dulu diselesaikan. Setelah itu klik *check equations* untuk mengetahui error dari persamaan:

a. *Heat Exchanger*

$$E_{in} = E_{out} + d \frac{dE_{cv}}{dt} \rightarrow \text{stasioner} = 0$$

$$E_{in} = E_{out}$$

b. *Solar Pump* = keadaan 13-9

$$\dot{Q} = \dot{m}(h_9 - h_{13})$$

c. *Turbin* = keadaan 6-7

$$E_6 = E_7 + \dot{W}$$

$$\dot{w} = h_6 - h_7$$

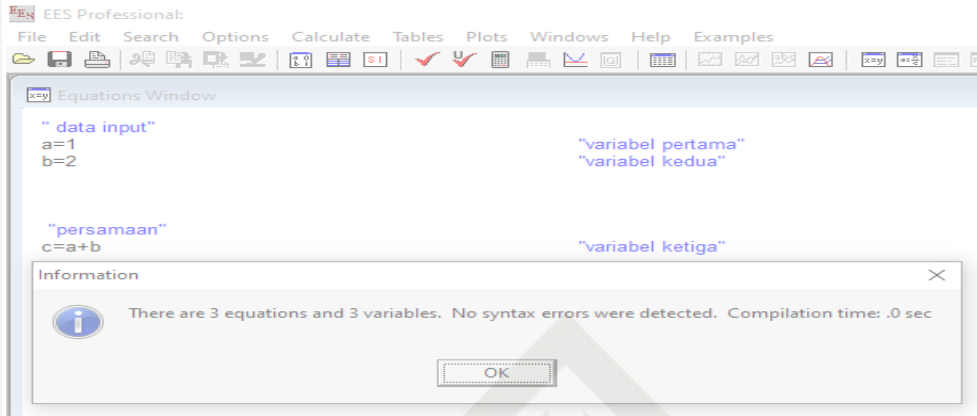
d. *Kondensor (Cd)* = keadaan 14-15

$$\dot{Q}_{Cd} = \dot{m}_{14}h_{14} - \dot{m}_{15}h_{15}$$

e. Energi mekanis atau kerja keluaran bersih dari sistem:

$$W_{net} = \dot{W}_{pumpa} - \dot{W}_{turbin}$$

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



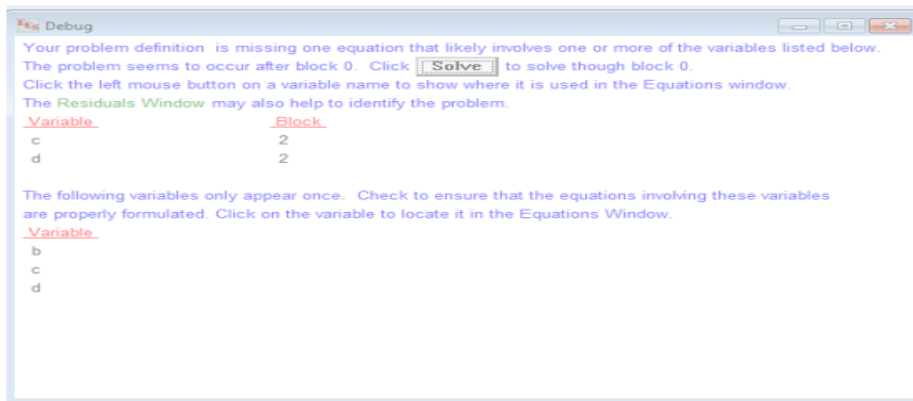
Gambar 3.5 Algoritma Persamaan

4. Hasil pemrograman  
 Hasil pemrograman didapat dari persamaan dan data input pada *equations window*. Dengan meng-klik *icon solve* maka hasil pemrograman akan ditampilkan.



Gambar 3.6 Hasil Pemrograman

5. Error  
 Error adalah suatu kondisi dimana terdapat simbol atau data yang tidak dikenal pada hasil pemrograman. Untuk mngetahui error klik *icon check equation* atau *icon solve*, maka akan menampilkan error.



Gambar 3.7 Error



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

### 3.7.2 Proses Siklus Rankine

1. Menghitung *Heat exchanger* dengan menggunakan persamaan 2.38 dan 2.39
2. Menghitung energi di *Solar Pump* dengan menggunakan persamaan 2.40
3. Menghitung energi di Turbin dengan menggunakan persamaan 2.41 dan 2.42
4. Menghitung energi Kondensor (Cd) dengan menggunakan persamaan 2.43
5. Menghitung Energi mekanis atau kerja keluaran bersih dari sistem dengan menggunakan persamaan 2.45

### 3.8. Analisis Potensi

Pada tahap ini dilakukan analisis potensi pada pembangkit PLTS *Parabolic Trough Collector*

#### 3.8.1. Energi Matahari

Intensitas radiasi matahari merupakan suatu energi radiasi matahari yang diterima oleh suatu permukaan persatuan luas dan persatuan waktu. Jumlah intensitas radiasi matahari pada waktu tertentu dapat diprediksi dengan melakukan pertimbangan langsung (*beam/direct radiation*) dan radiasi yang dibelokkan (*diffuse radiation*). Intensitas radiasi matahari diperoleh dari menjumlahkan radiasi langsung dengan radiasi yang dibelokkan  $I_b$  dan  $I_d$ .

#### 3.8.2. Energi Kalor

Energi kalor yang akan di analisis pada penelitian yaitu energi yang terserap, energi yang di gunakan dan energi yang digunakan pada solar kolektor dan efisiensi.

#### 3.8.3. Energi Listrik

Energi listrik yang di analisis yaitu aliran kerja dan kalor pada masing komponen pada siklus SRO, juga daya dan efisiensi SRO.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 1. Kesimpulan

1. Intensitas radiasi yang diterima oleh *Parabolic Trough Collector* (PTC) adalah sebesar 259,61 W/m<sup>2</sup>. Ini menunjukkan tingkat paparan sinar matahari yang cukup tinggi, yang dapat menghasilkan potensi energi yang signifikan untuk dikumpulkan dan dimanfaatkan.
2. Total energi radiasi yang diterima oleh PTC selama periode waktu yang diteliti mencapai 17.975,396 Watt. Hal ini menunjukkan bahwa PTC mampu menyerap sejumlah besar energi dari sinar matahari. Energi kalor yang masuk ke PTC adalah sebesar 15.883,06 Watt, sedangkan energi kalor yang hilang melalui transfer panas atau kerugian termal mencapai 2.382,46 Watt. Ini mengindikasikan bahwa PTC memiliki kemampuan yang baik untuk mengumpulkan dan mempertahankan energi termal. Energi kalor yang bermanfaat dari PTC, yaitu energi termal yang dapat dimanfaatkan, mencapai 12.150,54 Watt atau setara dengan 12,15 kW. Hal ini menunjukkan efisiensi konversi energi termal yang baik dalam PTC.
3. Melalui simulasi menggunakan perangkat lunak EES, diperoleh hasil bahwa energi listrik yang dihasilkan dari konversi energi kalor PTC yang terintegrasi dengan Siklus Rankine Organik (ORC) adalah sebesar 5.617 kW. Ini menunjukkan potensi yang signifikan dalam menghasilkan energi listrik dari sistem ini. Hasil penelitian ini adalah bahwa PTC terintegrasi dengan Siklus Rankine Organik (ORC) memiliki potensi yang baik dalam menghasilkan energi listrik dari energi matahari.

#### 5.2. Saran

1. Meningkatkan output energi listrik yang dihasilkan, penting untuk terus mengembangkan dan meningkatkan efisiensi konversi energi termal menjadi energi listrik dalam sistem PTC terintegrasi dengan Siklus Rankine Organik (ORC). Hal ini dapat dilakukan melalui penelitian dan pengembangan teknologi yang lebih efisien serta optimalisasi parameter operasional sistem.
2. Sebelum mengimplementasikan PTC terintegrasi ORC dalam skala yang lebih besar, penting untuk melakukan studi kelayakan ekonomi. Studi ini akan mengevaluasi aspek-aspek seperti biaya investasi, biaya operasional, potensi penghematan bahan bakar fosil, dan masa pengembalian investasi. Dengan

demikian, dapat diketahui apakah penggunaan PTC terintegrasi ORC menjadi solusi yang ekonomis dan berkelanjutan.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. J. K. d. P. S. (Dukcapil), "jumlah penduduk Indonesia 27223 juta jiwa," 30 Juni 2021.
- [2] D. J. K. d. P. S. (Dukcapil), "berapa jumlah penduduk riau," 2021.
- [3] R. N. Yanti, "Pemanfaatan Limbah Perkebunan Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Terbarukan," *Dinamika Lingkungan Indonesia*, vol. 10, pp. 7-11, 2023.
- [4] N. P. Miefthawati and I. Muhadi , "ANALISIS ESTIMASI EMISI GAS RUMAH KACA PADA PEMBANGKIT LISTRIK THERMAL DI PROVINSI RIAU," pp. 50-53, 2016.
- [5] S. S. p. j. L. nurina indah p, *Outlook Energi Indonesia*, jakarta: ISSN 2527-3000, 2019.
- [6] G. Riau, "RENCANA UMUM ENERGI DAERAH PROVINSI (RUED-P) RIAU," pekanbaru, 2021.
- [7] S. Kusaeri, S. Tachli and P. Setya, "Rancang Bangun Kolektor Surya Tipe Parabolic Trough untuk Menguapkan Air Laut berbahan Stainless dan Tembaga dengan Luas Tangkapan Cahaya 1 M2," *Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor*, pp. 72-76, 2016.
- [8] M. Riana, M. Ginting and S. , "Sistem Pemanas Air Energi Surya Menggunakan Kolektor Palung Parabola Posisi Timur-Barat," *JOM FMIPA*, vol. II, no. 1, pp. 198-205, 2015.
- [9] J. S. PURBA, "Unjuk Kerja Solar Cooker Type Parabolic dengan diameter 100 cm Tinggi 50 cm," *JURNAL ILMIAH MAKSITEK*, vol. V, no. 2, pp. 139-150, 2020.
- [10] A. Bouguila and S. Rachid, "Optimization Of A Small Scale Concentrated Solar Power Plant Using Rankine Cycle," *Journal Of Thermal Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 268-281, 2020.
- [11] M. M. Aye and E. E. Wai, "Analisis Perpindahan Panas pada Parabolic Trough Absorber untuk Berbagai Material dengan Studi Numerik," *Jurnal Internasioanal Inovasi Terbaru Dalam Riset Akademi*, vol. 3, no. 8, pp. 29-34, 2019.
- [12] Y. Brian, *Memanen Energi Matahari*, Bandung: Penerbit ITB, 2017.
- [13] H. Supranto , "Teknologi Tenaga Surya," vol. 1, 2015.
- [14] S. Alotaibi, F. Alotaibi and O. M. Ibrahim, "Solar assisted steam power plant retrofitted with regenerative system," *Energy Reports*, no. 6, pp. 124-133, 2020.



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
Hak Cipta milik UIN Suska Riau  
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
- [15] N. N. RATINI , "BAHAN AJAR MATA KULIAH TERMODINAMIKA," *JURUSAN FISIKA*, 2015.
  - [16] D. R.S and I. A. Khuriati, Buku Ajar Termodinamika, Semarang: Universitas Diponegoro Semarang, 2007.
  - [17] Kemendikbud, "Bahasa Ajar," 2016.
  - [18] A. V. FN, "ANALISIS UNJUK KERJA SIKLUS RANKINE SEBELUM," *DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI*, 2017.
  - [19] HERMAWAN, I. and &. M. , "Analisis Energi Dan Eksergi Pengeringan Pisang Memanfaatkan Panas Dari Kondensor AC (Air Contioner)," *Jurnal Teknovasi*, vol. 2, no. 2, pp. 63-65, 2015.
  - [20] M. Ashouri, F. R. Astarai and R. Ghas, "Thermodynamic and economic evaluation of a small-scale organic Rankine cycle integrated with a concentrating solar collector," *International Journal of Low-Carbon Technologies*, no. 12, pp. 54-65, 2017.
  - [21] Y. A. Cengel and M. A. Boles, *THERMODYNAMICS An Engineering Approach*, United States of America: McGraw-Hill Education, 2015.
  - [22] S. Alotaibi, F. Alotaibi and . O. M. Ibrahim, "Solar-assisted steam power plant retrofitted with regenerative system," *Energy Reports*, no. 6, pp. 124-133, 2020.
  - [23] A. Bouguila and R. Said, "Optimization Of A Small Scale Concentrated Solar Power Plant Using Rankine Cycle," *Journal of Thermal Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 268-281, 2020.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## Lampiran

Perhitungan radiasi matahari perhari dari tanggal 1 maret sampai 30 maret 2022

1 Maret 2022

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 60}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360.0,942)$$

$$= 0,397. 339,12 = 134,63$$

• 2 Maret 2022

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 61}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360.0,945)$$

$$= 0,397. 340,2 = 135,05$$

• 3 Maret 2022

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 62}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360.0,947)$$

$$= 0,397. 340,92 = 135,34$$

• 4 Maret 2022

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 63}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360.0,950)$$

$$= 0,397. 342 = 135,77$$

• 5 maret 2022

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 64}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360.0,953)$$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





0,397. 343,08 = 136,20

6 maret 2022

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 65}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360.0,956)$$

0,397. 344,16 = 136,33

- 7 maret 2022

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 66}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360.0,958)$$

0,397. 344,88 = 136,91

- 8 maret 2022

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 67}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360.0,961)$$

0,397. 345,96 = 137,34

- 9 maret 2022

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 68}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360.0,964)$$

0,397. 347,04 = 137,77

- 10 maret 2022

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 69}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360.0,967)$$

0,397. 348,12 = 138,20

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU





Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 75}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360.0,983)$$

$$= 0,397. 353,88 = 140,49$$

17 maret 2022

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 76}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360.0,986)$$

$$= 0,397. 354,96 = 140,91$$

• 18 maret 2022

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 77}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360.0,989)$$

$$= 0,397. 356,04 = 141,34$$

• 19 maret 2022

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 78}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360.0,991)$$

$$= 0,397. 356,76 = 141,63$$

• 20 maret 2022

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 79}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360.0,994)$$

$$= 0,397. 356,04 = 142,06$$

• 21 maret 2022

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU





Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 80}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360,0,997)$$

$$= 0,397 \cdot 359,92 = 142,49$$

• 22 maret 2022

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 81}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360,1)$$

$$= 0,397 \cdot 360 = 142,92$$

• 23 maret 2022

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 82}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360,1,002)$$

$$= 0,397 \cdot 360,72 = 143,20$$

• 24 maret 2022

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 83}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360,1,005)$$

$$= 0,397 \cdot 361,8 = 143,63$$

• 25 maret 2022

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 84}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360,1,008)$$

$$= 0,397 \cdot 362,88 = 144,06$$

• 26 maret 2022

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 85}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360.1,010)$$

$$= 0,397. 363,6 = 144,34$$

• 27 maret 2022

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 86}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360.1,013)$$

$$= 0,397. 364,8 = 144,77$$

• 28 maret 2022

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 87}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360.1,016)$$

$$= 0,397. 365,76 = 145,20$$

• 29 maret 2022

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 88}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360.1,019)$$

$$= 0,397. 366,84 = 145,63$$

• 30 maret 2022

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right)$$

$$= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 89}{365}\right)$$

$$= 0,397 (360.1,021)$$

$$= 0,397. 367,56 = 145,92$$

• 31 maret 2022

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU



$$\begin{aligned} &= 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right) \\ &= 23,45 \sin\left(\frac{284 + 90}{365}\right) \\ &= 0,397 (360.1,024) \\ &= 0,397 \cdot 368,64 = 146,35 \end{aligned}$$

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

