

**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.

**ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA *HYBRID* (PLTH) PLTBM DAN PLTS  
DI PTPN V PKS SEI PAGAR**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memproleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains Dan Teknologi



Oleh :

**IRMA HILDA YANTI**

**11455205180**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU**

**PEKANBARU**

**2021**



**Hak Cipta Uinraungi Unang-Unaang**

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.

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA *HYBRID* (PLTH) PLTBM DAN PLTS  
DI PTPN V PKS SEI PAGAR**

**TUGAS AKHIR**

Oleh :

**IRMA HILDA YANTI**  
**11455205180**

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro  
di Pekanbaru, pada tanggal 14 Juli 2021

**Ketua Program Studi**

  
Digitally signed  
by Ewi  
Ismaredah  
Tanggal:  
2021.07.19  
15:05:31 WIB  
**Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom.**  
NIP. 19750922 200912 2 002

**Pembimbing**

  
Digitally signed  
by Nanda Putri  
Miefhawati  
Date: 2021.07.16  
11:21:16 +07'00'  
**Nanda Putri Miefhawati, B.Sc., M.Sc**  
NIP. 130514010

Hak Cipta Uinraungi Unang-Unang

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.

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID* (PLTH) PLTBM DAN PLTS DI PTPN V PKS SEI PAGAR

#### TUGAS AKHIR

Oleh :

**IRMA HILDA YANTI**  
**11455205180**

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 14 Juli 2021

Pekanbaru, 14 Juli 2021

Mengesahkan,



#### DEWAN PENGUJI :

**Ketua** : Abdillah, S.SI, M.I.T  
**Sekretaris** : Nanda Putri Miefthawati, B.Sc., M.Sc  
**Anggota I** : Dr. Zulfatri Aini, ST, MT  
**Anggota II** : Dr. Kunaifi, ST., PgDipEnSt., M.Sc

#### Ketua Program Studi

Digitally signed by Ewi Ismaredah  
Tanggal:  
2021.07.19  
15:06:00 WIB

**Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom.**  
**NIP. 19750922 200912 2 002**

Abdillah  
Tanggal: 17-07-2021  
10:06:12

Digitally signed  
by Nanda Putri  
Miefthawati  
Date: 2021.07.16  
10:38:22 +07'00'

Digitally signed  
by Dr. Kunaifi  
Date: 2021.07.16  
10:38:22 +07'00'

## LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan 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 Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharuskan 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 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.

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa didalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain dan sepanjang sepengetahuan 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, 14 Juli 2021

Yang membuat pernyataan,



**Irma Hilda Yanti**

**11455205180**

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.

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.

## LEMBAR PERSEMBAHAN



“Bacalah dengan menyebut nama Tuhanmu, Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah Bacalah, dan Tuhanmulah yang maha mulia Yang mengajar manusia dengan pena, Dia mengajarkan manusia apa yang tidak diketahuinya”

(QS Al-'Alaq : 1-5)

“Maka apakah mereka tidak memperhatikan Al-Quran? Kalau kiranya al-Quran itu bukan dari sisi Allah, tentunya mereka mendapat pertentangan yang banyak di dalamnya”

(QS. Annisa' : 82 )

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri”

(Q.S Ar-Rad : 11)

“Jangan engkau bersedih, sesungguhnya Allah bersama kita.”

(Q.S At-Taubah[9] : 40)

“Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), tetapkanlah bekerja keras (untuk urusan yang lain) dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap ”.

(Q.S Al-Insyirah ayat: 7-8)

Alhamdulillah wa syukurulillah saya sembahkan kepadaMu ya Allah. Tuhan yang Maha Pengasih, Maha Penyayang, Maha Merajai, Maha Suci, Maha yang memberi keselamatan, Maha memberi Keamanan, Maha Pengatur, Maha Gagah , Maha memiliki Kebesaran dan memiliki nama nama yang baik itu. Atas takdir-Mu ya Allah, saya bisa menjadi pribadi yang berpikir, berilmu, beriman dan bersabar. Atas Ridho dan pertolongan Mu ya Allah, saya dapat menyelesaikan tugas akhir saya ini walau banyak rintangan-rintangan yang harus saya jalani. Semoga keberhasilan ini menjadi satu langkah awal untuk meraih masa depan yang saya cita-citakan. Dan Segala syukur kepada-Mu ya Rabb, karena sudah menghadirkan orang-orang berarti disekelilingku, yang selalu memberikan semangat dan doa, sehingga tugas akhir saya ini dapat diselesaikan dengan baik.

Teruntuk kedua orangtua saya tercinta, saya persembahkan Tugas akhir saya ini untuk kalian. Terima kasih telah mengisi dunia saya dengan begitu banyak kebahagiaan, dan selalu mendoakan dan mendukung semua pilihan saya. Kalian telah melalui banyak

perjuangan dan rasa sakit. Tapi saya berjanji tidak akan membiarkan semua perjuangan kalian sia-sia. Saya berjanji akan melakukan yang terbaik untuk setiap kepercayaan yang kalian berikan. Saya akan tumbuh menjadi seseorang yang terbaik yang saya bisa.

Teruntuk kedua adik saya tercinta Zaki Aditya dan Muhammad Alfa Rindo, kakak ucapkan banyak terima kasih atas semua kepedulian kalian. Terima kalian sudah mau selalu mengingatkan kakak kalian ini tentang tugas akhir kakak ini yang harus segera diselesaikan. Sudah selalu bertanya sudah sampai mana tugas akhir kakak ini. Sudah mau selalu mendoakan kelancaran tugas akhir kakak ini. Walaupun kita berpisah jarak tapi kakak yakin kita akan selalu dekat.

Teruntuk Ibu Nanda Putri Miefthawati, B.Sc.,M.Sc selaku dosen pembimbing saya ucapkan terima kasih juga yang tak terhingga. Ibu sudah menjadi orang tua kedua saya dikampus yang selalu berlaku baik dan bijaksana, yang selalu membantu memberikan inspirasi, motivasi, dan kesabaran memberikan arahan maupun kritikan kepada saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga kehidupan Ibu dimudahkan dan diberkahi selalu oleh Allah SWT.

Teruntuk seluruh teman-teman saya di Fakultas Sains dan Teknologi angkatan 2014 beserta seluruh keluarga Teknik Elektro Uin Suska Riau terutama teman-teman saya di grup “Serigala Terakhir”. Terimakasih untuk semua memori yang saya miliki atas tawa yang setiap hari kita miliki, atas solidaritas yang luar biasa, dan tentang perjuangan kita mengawali gelar S.T. Sehingga masa kuliah saya menjadi lebih berwarna dan berarti.

Teruntuk teman-teman yang pernah menjadi teman secepat sekamar saya Jenny Pratiwi, Yuni Satria Eliza, Nurhayati, Nuradila, dan Endah Sri Rahayu. Terima kasih atas semua bantuan dan doa yang kalian berikan, kebersamaan kita dalam susah maupun senang akan selalu jadi kenangan yang tak kan terlupakan.

Teruntuk semua pihak yang saya sebutkan maupun yang terlewat saya sebutkan saya mengucapkan terimakasih dan maaf mungkin selama ini ada kata dan sikap saya yang kurang berkenan mohon dimaafkan. Semoga Allah senantiasa membalas setiap kebaikan kalian. Serta dimudahkan segala urusan selalu oleh Allah SWT. Saya menyadari bahwa hasil karya tugas akhir saya ini masih jauh dari kata sempurna, tetapi saya harap isinya tetap memberi manfaat sebagai ilmu dan pengetahuan bagi para pembacanya.

# ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID* (PLTH) PLTBM DAN PLTS DI PTPN V PKS SEI PAGAR

**IRMA HILDA YANTI**

**NIM : 11455205180**

Tanggal Sidang : 14 Juli 2021

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

## ABSTRAK

Pembangkit listrik *hybrid* dengan sistem *off grid* merupakan salah satu solusi untuk suatu lokasi yang mengalami masalah defisit energi. Masalah defisit energi ini karena ketidakmampuan pembangkit listrik yang ada saat ini yaitu PLTBM untuk memenuhi beban yang ada. Sehingga membutuhkan pembangkit listrik tambahan yaitu generator diesel sebagai sumber ketenagalistrikan. Salah satu contoh lokasi yang mengalami defisit energi tersebut adalah PTPN V PKS Sei pagar. Dalam penelitian ini ingin menggantikan fungsi generator diesel dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Total kebutuhan listrik harian di PTPN V PKS Sei Pagar adalah 10.888,71 kWh/hari. Kebutuhan listrik harian tersebut akan dipenuhi oleh PLTBM dan PLTS dimana masing-masing terdiri PLTBM sebesar 10.372,32 kWh/hari dan PLTS sebesar 516,39 kWh/hari. Sebelum membangun PLTH aspek teknis dan ekonomi perlu diperhitungkan terlebih dahulu. Berdasarkan hasil perhitungan manual, PLTBM mempertahankan komponen yang ada sebelumnya yang terdiri dari 2 boiler, 2 Turbin generator dan 2 Pompa. Untuk PLTS komponen yang dibutuhkan berupa 530 modul surya, 630 baterai, dan 1 *bi-directional inverter*. Perhitungan Pada aspek kelayakan ekonomi nilai *Net Present Value* (NPV) bernilai positif yaitu sebesar Rp. 15.783.912.500, *PayBack Period* (PBP) 8 tahun 2 bulan 8 hari, *Internal Rate of Return* sebesar 15,35 % dan biaya energi listrik (LCOE) sebesar Rp. 650,6482 /kWh. Dari hasil perhitungan manual aspek teknis dan aspek ekonomi tersebut dapat kesimpulan bahwa penelitian ini layak untuk dibangun.

**Kata Kunci** : *Hybrid, PLTBM, PLTS, off grid, Teknis-Ekonomi.*

### 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.

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.

**TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF HYBRID POWER  
PLANT (PLTH) PLTBM AND PLTS  
AT PTPN V PKS SEI PAGAR**

**IRMA HILDA YANTI**

**Student Number : 11455205180**

*Session Date : 14 July 2021*

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

**ABSTRACT**

*Hybrid power plant with the system off grid is a one of the solutions to a location that is experiencing the problem of energy deficit. The problem of energy deficit is due to the inability of the existing power plants today is PLTBM to meet the load. So the need of additional power plants, namely the diesel generator as a source of electricity. One example of a location experiencing an energy deficit is PTPN V PKS Sei Pagar. In this study want to replace the function of the diesel generators with Solar Power Plant (PLTS). The Total daily electrical needs in PTPN V Sei Pagar is 10.888,71 kWh/day. The daily electrical needs will be met by PLTBM and PLTS where each consisting PLTBM by 10.372,32 kWh/day and PLTS by 516,39 kWh/day. Before building ELECTRICITY the technical aspects and the economy need to be taken into account first. Based on the results of manual calculation, PLTBM maintain the components that existed before that consists of 2 boilers, 2 Turbine generator and 2 Pumps. For PLTS component needed in the form of 530 solar module, 630 battery, and 1 bi-directional inverter. Calculations On the feasibility aspects of the economic Net Present value (NPV) is positive in the amount of Rp. 15.783.912.500, PayBack Period (PBP) 8 years 2 months 18 days, the Internal Rate of Return of 15.35% and the energy cost of electricity (LCOE) of Rp. 650,6482 /kWh. From the results of manual calculation of the technical aspects and economic aspects can be concluded that this research is worth it to be built.*

**Keywords :** Hybrid, PLTBM, PLTS, off grid, Technical-Economic.

## KATA PENGANTAR



*Assalammu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh*

*Alhamdulillahillahi rabbil 'alamin*, segala puji dan syukur selalu tercurah kehadiran Allah Swt atas limpahan Rahmat, Nikmat, Ilmu, dan Karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat mengerjakan dan akhirnya menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “**Analisis Teknik dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) PLTBM dan PLTS Di PTPN V PKS Sei Pagar**” sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana akademik di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi. Shalawat beserta salam penulis hadiahkan kepada Nabi Muhammad Shalallahu‘Alaihi Wassalam yang merupakan suri tauladan bagi kita semua, semoga kita semua termasuk dalam umatnya yang kelak mendapat syafa’at dari beliau.

Banyak sekali yang telah penulis peroleh berupa ilmu pengetahuan dan pengalaman selama menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Elektro. Penulis berharap Tugas Akhir ini nantinya dapat berguna bagi semua pihak yang memerlukannya. Penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dari berbagai pihak. Maka dari itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang setulusnya kepada pihak-pihak yang terkait berikut:

1. Bapak Zulkifli dan Ibu Jusniarty , selaku orang tua penulis yang telah mendo’akan dan memberikan dukungan, serta motivasi agar penulis dapat tawakkal dan sabar sehingga sukses memperoleh kelancaran dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Bapak Prof. Dr. KH. Hairunas, M.Ag, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Bapak Dr. Hartono, M.Pd., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Kasim Riau.
4. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom, M.Kom selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
5. Bapak Mulyono, ST, MT, selaku Sekretaris Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

6. Bapak Ahmad Faizal, ST, MT, selaku koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

7. Ibu Nanda Putri Miefthawati, B.Sc.,M.Sc selaku dosen Pembimbing Akademik dan dosen pembimbing tugas akhir yang selalu membantu memberikan inspirasi, motivasi, dan kesabaran dalam memberikan arahan maupun kritikan kepada saya dalam menyelesaikan tugas akhir dan membimbing penulis dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) di Program Studi Teknik Elektro.

8. Ibu Dr. Zulfatri Aini, ST, MT selaku Dosen Penguji I dan bapak Dr. Kunaifi, ST., PgDipEnSt., M.Sc selaku dosen penguji II yang telah banyak memberi masukan berupa kritik dan saran demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

9. Pimpinan, staff dan karyawan Jurusan Teknik Elektro serta Fakultas Sains dan Teknologi.

10. Kedua adik saya Zaki Aditya dan Muhammad Alfa Rindo yang selalu memberikan dukungan semangat dan motivasi selama penulis kuliah di Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

11. Sahabat–sahabat terbaik senasib dan seperjuangan Jenny Pratiwi S.T, Yuni Satria Eliza S.H, Silviana Lillah S.T, Ade Haryanti Putri S.T, Deri Suryadi S.T dan serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan motivasi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, terimakasih atas bantuannya semoga ilmu yang diberikan kepada penulis dapat bermanfaat.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih banyak terdapat kekurangan serta kesalahan, untuk itu dengan segala kerendahan hati, penulis menerima segala saran serta kritik yang bersifat membangun, agar lebih baik dimasa yang akan datang. Harapan penulis, semoga laporan Tugas Akhir ini dapat berguna bagi penulis sendiri khususnya, serta memberikan manfaat yang luar biasa bagi pembaca dimasa mendatang. Amin.

*Wassalamu'alaikum wr.wb*

Pekanbaru, 15 Juli 2021

Penulis



**Irma Hilda Yanti**

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN COVER</b> .....	i
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>LEMBAR HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL</b> .....	iv
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	v
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN</b> .....	vi
<b>ABSTRAK</b> .....	viii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>DAFTAR RUMUS</b> .....	xviii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xx
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	I-1
1.2 Rumusan Masalah.....	I-5
1.3 Tujuan Penelitian.....	I-5
1.4 Batasan Masalah.....	I-5
1.5 Manfaat Penelitian.....	I-6
<b>BAB II TUJUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Terkait.....	II-1
2.2 Energi Terbarukan.....	II-3
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid</i> .....	II-4
2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBM).....	II-4
2.5 Sumber-Sumber Biomassa.....	II-5
2.5.1 Limbah Kelapa Sawit.....	II-7
2.6 Proses konversi Biomassa.....	II-9
2.7 Proses Konversi Biomassa Pembakaran Langsung.....	II-10
2.7.1 <i>Output</i> Pembakaran Langsung.....	II-12

© Hak cipta dimiliki 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 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 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.

2.8	Komponen-komponen Pembangkit Listrik Biomassa.....	II-13
2.8.1	Boiler.....	II-13
2.8.2	<i>Turbine Generator</i> .....	II-14
2.8.3	<i>Condensor</i> .....	II-15
2.8.4	Pompa.....	II-16
2.9	Nilai Kalor .....	II-16
2.10	Efisiensi Pembangkitan Listrik.....	II-17
2.11	Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) .....	II-17
2.12	Potensi Energi Surya .....	II-18
2.13	Komponen-Komponen PLTS .....	II-20
2.13.1	Modul Surya .....	II-20
2.13.2	Baterai.....	II-22
2.13.3	<i>Solar Charge Controller</i> .....	II-23
2.13.4	<i>Inverter</i> .....	II-23
2.14	Perhitungan Kapasitas Komponen Utama PLTS.....	II-24
2.14.1	Modul Surya .....	II-24
2.14.2	Bank Baterai .....	II-27
2.14.3	<i>Inverter</i> .....	II-29
2.15	Daya Total Keluar PLTS .....	II-29
2.16	Analisis Ekonomi ( <i>Financial</i> ) .....	II-29
2.16.1	<i>Cash Flow</i> (CF) .....	II-30
2.16.2	<i>Net Present Value</i> (NPV) .....	II-31
2.16.4	<i>Pay Back Period</i> (PBP) .....	II-31
2.16.4	<i>Internal Rate Of Return</i> (IRR).....	II-31
2.16.5	<i>Levelized Cost of Energy</i> (LCOE).....	II-32

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1	Jenis Penelitian .....	III-1
3.2	Prosedur Penelitian.....	III-1
3.3	Lokasi Penelitian .....	III-3
3.4	Tahap Perancangan.....	III-3
3.5	Pengumpulan Data.....	III-4
3.6	Perhitungan Manual Dan Analisis Sistem <i>Hybrid</i> .....	III-5
3.6.1	Aspek Teknis .....	III-5

**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.

3.6.1.1	Profil Beban Listrik.....	III-5
3.6.1.2	Potensi Energi .....	III-6
3.6.1.3	Spesifikasi Umum Pembangkit Listrik <i>Hybrid</i> .....	III-6
3.6.1.4	Ukuran dan Pemilihan Komponen.....	III-6
3.6.2	Aspek Ekonomi .....	III-7
3.6.2.1	Menghitung Biaya Investasi Komponen.....	III-7
3.6.2.2	Menghitung <i>Cash Flow Benefit</i> (CFB) .....	III-7
3.6.2.3	Menghitung <i>Cash Flow Cost</i> (CFC).....	III-7
3.6.2.4	Menghitung <i>Net Present Value</i> (NPV) .....	III-8
3.6.2.5	Menghitung <i>Pay Back Periode</i> (PBP).....	III-8
3.6.2.6	Menghitung <i>Internal Rate of Return</i> (IRR).....	III-8
3.6.2.7	Menghitung <i>Levelized Cost of Energy</i> (LCOE).....	III-8
3.7	Analisis Kelayakan Sistem .....	III-8
3.8	Kesimpulan dan Saran.....	III-9

**BAB IV HASIL DAN ANALISA**

4.1	Gambaran Umum Lokasi Penelitian.....	IV-1
4.2	Profil Beban PTPN V PKS Sei Pagar.....	IV-2
4.3	Potensi Biomassa Di PTPN V PKS Sei Pagar.....	IV-4
4.4	Potensi Surya Di PTPN V PKS Sei Pagar.....	IV-6
4.5	Perhitungan Dan Analisis Aspek Teknis .....	IV-7
4.5.1	Spesifikasi Umum Pembangkit Listrik <i>Hybrid</i> .....	IV-7
4.5.2	Menentukan Ukuran Dan Pemilihan Komponen PLTBM... ..	IV-10
4.5.2.1	Potensi Listrik Biomassa di PTPN V PKS.....	IV-11
4.5.3	Menentukan Ukuran Dan Pemilihan Komponen PLTS .....	IV-11
4.5.3.1	<i>Pv Array</i> .....	IV-11
4.5.3.2	Menentukan Ukuran Baterai.....	IV-15
4.5.3.3	Menentukan Ukuran <i>Inverter</i> .....	IV-19
4.5.3.4	Spesifikasi Komponen-Komponen PLTS .....	IV-20
4.6	Perhitungan Dan Analisis Aspek Ekonomi .....	IV-20
4.6.1	Biaya Investasi Awal .....	IV-21
4.6.2	Biaya (O&M) Dan Pergantian Komponen .....	IV-21
4.6.3	Biaya Investasi Total .....	IV-22

**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.

4.6.4 <i>Present Worth Factor</i> (PWF) .....	IV-24
4.6.5 Manfaat Finansial .....	IV-24
4.6.6 <i>Cash Flow Benefit</i> (CFB) .....	IV-25
4.6.7 <i>Cash Flow Cost</i> (CFC) .....	IV-26
4.6.8 <i>Net Present Value</i> (NPV) .....	IV-27
4.6.9 <i>Payback Period</i> (PBP).....	IV-28
4.6.10 <i>Internal Rate Of Return</i> (IRR).....	IV-29
4.6.11 <i>Levelized Cost of Energy</i> (LCOE).....	IV-30
4.7 Analisis Kelayakan Sistem .....	IV-31
<b>BAB V Kesimpulan dan Saran</b>	
5.1 Kesimpulan.....	V-1
5.2 Saran .....	V-2

**DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR GAMBAR

		<b>Halaman</b>
2.1	<i>Fiber</i> (serabut) Kelapa Sawit .....	II-8
2.2	Cangkang Kelapa Sawit .....	II-8
2.3	Sistem Siklus <i>Rankine</i> .....	II-10
2.4	Siklus <i>Rankine</i> Diagram T-S.....	II-11
2.5	Boiler.....	II-14
2.6	<i>Turbine</i> Generator .....	II- 15
2.7	<i>Condensor</i> .....	II-16
2.8	Pompa.....	II-16
2.9	Karakteristik Modul Surya.....	II-20
2.10	Modul <i>Monocrystalline</i> .....	II-21
2.11	Modul <i>Polycrystalline</i> .....	II-22
2.12	Baterai .....	II-22
2.13	<i>Solar Charge Controller</i> .....	II-23
2.14	<i>Inverter</i> .....	II-24
4.1	Lokasi_PTPN V PKS Sei Pagar.....	IV-1
4.2	Grafik Intesitas Radiasi Matahari di PTPN V PKS Sei Pagar .....	IV-7

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.

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Spesifikasi Boiler.....	II-13
2.2 <i>Approximate Optimum Tilt Angle Power PV System</i> untuk Array Tetap....	II-25
3.1 Data Primer.....	III-4
3.2 Data Skunder.....	III-4
4.1 Estimasi Pertumbuhan Beban Pertahun di PTPN V PKS Sei Pagar.....	IV-2
4.2 Estimasi Konsumsi Energi Listrik Harian Di PTPN V PKS Sei.....	IV-3
4.3 Kandungan Bahan Bakar Serabut dan Cangkang.....	IV-4
4.4 <i>Design Load Energy Hybrid PLTBM dan PLTS</i> .....	IV-8
4.5 Spesifikasi Umum Sistem Pembangkit.....	IV-9
4.6 Spesifikasi Boiler di PTPN V PKS Sei Pagar.....	IV-10
4.7 Spesifikasi Modul Surya <i>Canadian Solar</i> .....	IV-12
4.8 Spesifikasi Baterai Trojan.....	IV-17
4.9 Spesifikasi <i>Inverter Bidirectional</i> .....	IV-19
4.10 Spesifikasi Komponen-Komponen PLTS.....	IV-20
4.11 Biaya Investasi Awal.....	IV-21
4.12 Biaya Operasional Pemeliharaan (O&M) Dan Pergantian Komponen.....	IV-22
4.13 Biaya Investasi Total PLTS.....	IV-23
4.14 Nilai PWF.....	IV-24
4.15 <i>Cash Flow Benefit</i> .....	IV-25
4.16 <i>Cash Flow Cost</i> .....	IV-26
4.17 <i>Net Present Value</i> .....	IV-27
4.18 Hasil Perhitungan NPV 1 dan NPV 2.....	IV-29
4.19 <i>Levelized Cost of Energy</i> .....	IV-31
4.20 Kelayakan Ekonomi.....	IV-32

## DAFTAR RUMUS

Rumus	Halaman
2.1 Kerja Pompa .....	II-11
2.2 Energi Panas (kalor) dalam Boiler.....	II-11
2.3 Kerja Turbin .....	II-12
2.4 Energi Panas (Kalor) dalam Kondensor .....	II-12
2.5 Efisiensi Siklus <i>Thermal Metode Direct Combustion</i> .....	II-12
2.6 <i>Steam Uap Turbine</i> .....	II-12
2.7 <i>Total Electric Power Steam</i> .....	II-13
2.8 Efisiensi Boiler .....	II-13
2.9 Nilai Kalor .....	II-17
2.10 Efisiensi Pembangkit Listrik.....	II-17
2.11 <i>Design Load Energy</i> .....	II-25
2.12 <i>Design Load Ah</i> .....	II-25
2.13 <i>Required Array Output</i> .....	II-26
2.14 <i>Daily Charger Output</i> .....	II-26
2.15 <i>Number of Parallel Strings Required</i> .....	II-26
2.16 <i>Number of Series Modules Per String</i> .....	II-27
2.17 <i>Total Number of Modules In Array</i> .....	II-27
2.18 Kapasitas Setiap PV Array .....	II-27
2.19 <i>Design Load Ah</i> .....	II-28
2.20 Kapasitas Baterai .....	II-28
2.21 Baterai Terhubung Seri.....	II-29
2.22 Baterai Terhubung Paralel .....	II-29
2.23 Kapasitas <i>Inverter</i> .....	II-29
2.24 Daya Keluaran Konverter .....	II-29
2.25 <i>Cash Flow Benefit (CFB)</i> .....	II-30
2.26 <i>Present Worth Function (PWF)</i> .....	II-31
2.27 <i>Cash Flow Cost (CFC)</i> .....	II-31
2.28 <i>Net Present Value (NPV)</i> .....	II-31
2.29 <i>Payback Periode (PBP)</i> .....	II-31

**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.

2.30	<i>Internal Rate of Return (IRR)</i> .....	II-32
2.31	<i>Levelized Cost of Energy (LCOE)</i> .....	II-32
2.32	<i>Capital Recovery Factor (CRF)</i> .....	II-32



UIN SUSKA RIAU

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A Surat Izin Penelitian.....	A-1
B Total Konsumsi Energi Listrik Bulanan .....	B-1
C Estimasi Konsumsi Energi Listrik Harian .....	C-1
D Estimasi Peningkatan Konsumsi Bahan Bakar Diesel Pertahun .....	D-1
F Perhitungan PWF, CFB, IRR.....	F-1
E Perhitungan <i>Capital Recovery Factor</i> (CRF) .....	E-1
G Dokumentasi di PTPN V PKS Sei Pagar.....	G-1

- 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 I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi adalah sektor yang sangat berperan dalam kehidupan manusia di mana energi sangat diperlukan untuk melakukan berbagai kegiatan baik itu meliputi energi listrik, mekanik dan energi panas. Energi listrik diperlukan untuk pertumbuhan transportasi, jasa, industri, komersial, rumah tangga, dan kegiatan yang lainnya. Pada masa mendatang peran energi listrik akan lebih dibutuhkan terutama untuk mendukung perkembangan sektor industri dan kegiatan yang terkait. Meningkatnya pertumbuhan konsumsi energi tersebut tidak didukung oleh ketersediaan energi yang cukup di Indonesia. Menurut Jurnal Energi Media Komunikasi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral edisi 2 menyatakan masyarakat Indonesia masih menjadikan minyak bumi sebagai tumpuan utama dengan persentase 47%, batu bara 24%, gas bumi 24% dan sisanya energi terbarukan 5% dengan laju pertumbuhan konsumsi energi mencapai 8% per tahun [1]. Kondisi energi ini menyebabkan ketidakseimbangan antara konsumsi bahan bakar fosil terhadap ketersediaannya, dimana penggunaan bahan bakar fosil semakin hari semakin meningkat sedangkan ketersediaannya di alam semakin hari justru semakin menurun. Selain menyebabkan penurunan kondisi energi, emisi atau limbah bahan bakar fosil dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama dalam hal pencemaran udara dan peningkatan gas rumah kaca yang memicu pemanasan global.

Untuk mengatasi masalah-masalah tersebut pemerintah mengeluarkan suatu kebijakan yaitu berupa Peraturan Pemerintah no.75 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Kebijakan Energi Nasional yang dibahas dalam peraturan tersebut adalah tentang meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan dan pengurangan penggunaan sumber energi fosil. Pemilihan energi terbarukan sebagai pemecah masalah energi di Indonesia dikarenakan energi terbarukan merupakan sumber energi ramah lingkungan yang tidak memberikan efek terhadap perubahan iklim dan pemanasan global. Selain itu, energi terbarukan juga merupakan sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya yang secara alamiah tidak akan habis dan dapat berkelanjutan jika dikelola dengan baik, contohnya antara lain bahan bakar nabati, aliran air sungai, surya, angin, biogas, gelombang laut, suhu kedalaman laut, panas bumi serta biomassa [1].

Indonesia merupakan salah satu negara yang mempunyai kekayaan alam yang melimpah memiliki potensi energi terbarukan biomassa yang menjanjikan. Sampai tahun 2015 kapasitas terpasang pembangkit listrik biomassa di Indonesia mencapai 91,1 MW *on-grid* dan 1.626 MW *off-grid*. Umumnya sumber energi listrik biomassa di Indonesia berasal dari limbah pengolahan kelapa sawit baik dalam bentuk padat maupun cair di pabrik kelapa sawit [1]. Karena limbah kelapa sawit memiliki kandungan kalori yang cukup tinggi. Setiap 1 ton Tandan Buah Segar (TBS) akan menghasilkan limbah padat berupa cangkang (*shell*) 65 kg (6,5%), serabut (*fibre*) 130 kg (13%), Limbah cair (POME) sekitar 600-700 kg (60%) dan tandan kosong (*empty fruit bunch*) 230 kg (23 %) [2].

Sebagai salah satu negara penghasil kelapa sawit terbesar di dunia, Indonesia mempunyai banyak perusahaan-perusahaan kelapa sawit. Menurut data yang di publikasi oleh Badan Pusat Statistik (BPS) luas areal perkebunan sawit di Indonesia sampai tahun 2017 mencapai 12,30 juta hektar dengan jumlah produksi minyak sawit (CPO) sebesar 34,47 juta ton. Produksi CPO yang ada di Indonesia berasal dari perusahaan perkebunan negara sebesar 5,40%, perusahaan perkebunan swasta sebesar 57,70% dan perkebunan rakyat sebesar 36,90%. Penyebaran kelapa sawit di Indonesia terdapat di 25 provinsi yaitu, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Banten, Papua Barat, Jawa Barat, Papua, Gorontalo, Maluku, Sulawesi Tengah, Sulawesi Barat dan semua provinsi yang ada di pulau Kalimantan dan Sumatera. Dari 25 provinsi tersebut provinsi Riau merupakan provinsi yang memiliki areal perkebunan sawit terluas yaitu mencapai 2,26 juta hektar, dengan jumlah produksi minyak sawit (CPO) terbesar yaitu sebesar 7,72 juta ton atau 22,40 persen total produksi CPO di Indonesia [3].

Provinsi Riau sebagai salah satu provinsi penghasil sawit terbesar di Indonesia tentu saja memiliki perusahaan-perusahaan perkebunan penghasil sawit, baik itu perusahaan negara maupun perusahaan swasta. Salah satu perusahaan perkebunan negara penghasil kelapa sawit yang ada di Riau adalah Perseroan Terbatas Perkebunan Nusantara V PKS Sei Pagar yang merupakan salah satu dari 12 bagian PT Perkebunan Nusantara V atau lebih dikenal sebagai PTPN V. Pada awalnya PTPN V dibawah kementerian BUMN tetapi pada saat ini telah menjadi milik PTPN III. PTPN V PKS Sei Pagar merupakan pabrik pengolahan kelapa sawit yang menghasilkan minyak sawit atau CPO dan inti sawit. Dalam melaksanakan unit kerja, PTPN V PKS Sei Pagar memanfaatkan listrik yang

- 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

dihasilkan sendiri dari generator yang menggunakan sumber bahan bakar diesel serta boiler yang bersumber bahan bakar limbah padat kelapa sawit atau limbah biomassa yang terdiri dari cangkang dan *fiber*/serabut [4].

Menurut data yang diperoleh dari bapak Zaky selaku pengelola limbah di PTPN V PKS Sei Pagar, jumlah seluruh pemakaian listrik di PTPN V PKS Sei Pagar (pemakaian listrik terdiri dari domestik/perumahan, instalasi air, bengkel instalasi pengolahan, laboratorium, *incenerator*, *effluent treatment*, penerangan listrik umum, pompa land application dan pengolahan) pada tahun 2019 selama setahun sebesar 2.261.529 kWh dengan nilai rata-rata harian didapat sebesar 7.538,48 kWh. Total beban tersebut dicover oleh PLTBM dengan memanfaatkan uap boiler berbahan cangkang dan fiber dengan total daya rata-rata perhari dalam setahun sebesar 7.169,76 kWh dan kekurangan selebihnya dibantu oleh genset yang memakai bahan baku diesel dengan daya sebesar 368,66 kWh. Pemanfaatan bahan baku diesel pada generator di PTPN V PKS Sei Pagar ini tentunya tidak sejalan dengan keinginan pemerintah seperti yang tertulis dalam Peraturan Pemerintah no.75 tahun 2014 untuk memanfaatkan secara maksimal sumber energi terbarukan yang tersedia di PTPN V PKS Sei Pagar serta pengurangan penggunaan bahan bakar fosil.

Permasalahan lain yang pernah terjadi pada PTPN V PKS Sei Pagar adalah ketergantungan PKS pada generator diesel saat terjadi kerusakan boiler di PKS, contohnya pada bulan Juli 2017 terjadi fenomena di mana sumber energi listrik di PTPN V PKS Sei Pagar 92% bersumber dari generator diesel yang disebabkan kesalahan teknis pada satu boiler dari dua boiler yang tersedia. Dari data-data tersebut terlihatlah bahwa sistem tenaga listrikan yang ada di PTPN V PKS Sei Pagar sudah mengalami defisit energi.

Disisi lain selain memiliki potensi energi dari biomassa dilihat dari letak geografis melalui Google Earth<sup>®</sup> PTPN V Sei Pagar terletak di titik koordinat 00° 19' 36" Lintang Utara dan 101° 21' 07" Bujur Timur. Berdasarkan data dari *Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER)* milik *National Aeronautics And Space Administration (NASA)* potensi energi surya pada titik koordinat tersebut berpotensi menghasilkan energi surya sebesar 4,82 kWh/m<sup>2</sup>/hari [5].

Pemanfaatan biomassa menjadi PLTBM serta pemanfaatan energi surya menjadi PLTS dapat substitusi penggunaan bahan bakar generator diesel di PKS. Namun

- 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.

penggunaan PLTS memiliki kekurangan karena sifatnya yang tidak kontinu, sifat tidak kontinu ini dipengaruhi kondisi matahari disiang hari. Sedangkan potensi limbah biomassa bersifat stabil selama limbah biomassa tersedia. Tetapi PTPN V PKS Sei Pagar hanya beroperasi 20 jam/hari, yang artinya ada rentang waktu 4 jam dalam sehari PTPN V PKS Sei Pagar tidak memiliki sumber listrik.

Dengan pertimbangan di atas, teknologi yang tepat untuk solusi permasalahan yang terjadi di PTPN V PKS Sei Pagar adalah penggabungan dua potensi sumber energi terbarukan. Penggabungan dua potensi sumber energi terbarukan akan menciptakan pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) yang berbasis energi terbarukan secara keseluruhan yaitu pembangkit listrik tenaga biomassa (PLTBM) dan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) sendiri saat ini merupakan salah satu alternatif solusi untuk penyediaan energi listrik dengan sumber daya energi terbarukan yang ramah lingkungan dan efisien energi. Keunggulan menggunakan sistem PLTH adalah bisa memaksimalkan potensi di suatu daerah, pembangkit model ini dioperasikan pada jaringan yang dipasang di dekat wilayah pengguna sehingga mengurangi biaya untuk membangun jaringan distribusi dan interkoneksi. Pengoperasian pembangkit *hybrid* ini lebih efektif dibanding sistem yang dikendalikan dari jarak jauh dimana gangguan tidak mempengaruhi sistem dan pemeliharaan seluruh layanan dapat dilakukan tanpa menonaktifkan seluruh sistem [6].

Dilihat dari letak geografis PTPN V PKS Sei Pagar yang berada didalam perkebunan dan belum mendapatkan suplai energi listrik dari PLN, maka pembangkit yang dapat dibangun untuk memenuhi kebutuhan beban energi listrik di PTPN V PKS Sei Pagar adalah pembangkit yang menggunakan sistem *Remote Area Power Supply* (RAPS) atau *off grid system*. Akan tetapi timbul masalah lain sebelum membangun PLTH yaitu aspek teknis dan ekonomi perlu diperhitungkan terlebih dahulu, dimana aspek tersebut merupakan salah satu aspek dasar dari membangun sebuah pembangkit. Dalam aspek teknis pemilihan teknologi atau komponen pembangkit yang tepat juga akan meningkatkan performa dan pengoperasian sistem pembangkit, pemilihan teknologi atau komponen ini dilakukan dengan perhitungan manual. Di sisi lain analisis aspek ekonomi secara manual dilakukan pada parameter: *Net Present Value* (NPV), waktu pengembalian investasi (*Payback Period*), *Internal Rate of Return* (IRR) dan *Levelized Cost of Energy* (LCOE).

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.

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian ini, dengan judul “**Analisis Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) PLTBM dan PLTS Di PTPN V PKS Sei Pagar**” dengan fokus penelitian ini adalah menghitung potensi pembangkit listrik *hybrid* yang dilengkapi analisis teknis dan ekonomi.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka rumusan masalah pada penelitian adalah :

1. Berapa potensi listrik PLTBM dan PLTS yang terdapat di PTPN V PKS Sei Pagar berdasarkan kebutuhan beban.
2. Bagaimana analisis aspek teknis pada komponen-komponen yang dibutuhkan untuk pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) PLTBM dan PLTS.
3. Bagaimana analisis aspek ekonomi pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) PLTBM dan PLTS.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui potensi listrik PLTBM dan PLTS yang terdapat di PTPN V PKS Sei Pagar berdasarkan kebutuhan beban.
2. Mengetahui dan menganalisis aspek teknis pada komponen-komponen yang dibutuhkan untuk pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) PLTBM dan PLTS.
3. Mengetahui dan menganalisis aspek ekonomi pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) PLTBM dan PLTS.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Pada penelitian ini sumber bahan bakar biomassa yang digunakan berupa cangkang dan *fiber*.
2. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah data tahun 2019.
3. Tahun implementasi proyek ini tahun 2024 dengan menggunakan metode perhitungan regresi linier.
4. Aspek teknis yang dibahas berupa komponen yang dibutuhkan, spesifikasi komponen, jumlah komponen dan energi listrik yang dihasilkan.

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.

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.

Aspek ekonomi pada penelitian ini hanya menghitung aspek ekonomi yang berkaitan dengan pembangunan PLTS, dikarenakan dalam pembangunan PLTBM tetap mempertahankan pembangkit yang ada sebelumnya. Aspek ekonomi yang dihitung berupa nilai *net present value* (NPV), waktu pengembalian investasi (*Payback Period*), dan *internal rate of return* (IRR).

Perhitungan aspek teknis dan ekonomi semua dilakukan secara perhitungan manual tanpa menggunakan aplikasi.

Sistem pembangkit adalah sistem pembangkit *hybrid* yang tidak terhubung ke jaringan listrik utama (*off-grid*)

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada bidang sistem tenaga listrik.
2. Dapat menjadi sumber pedoman perancangan Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) PLTBM dan PLTS di PTPN V PKS Sei Pagar.
3. Memperluas wawasan dan pengetahuan mengenai Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) PLTBM dan PLTS dan pemanfaatannya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terkait

Penelitian tugas akhir ini membahas tentang *Hybrid* PLTBM dan PLTS dengan melakukan studi literatur terlebih dahulu. Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan referensi-referensi dari teori yang bersangkutan dengan judul, masalah penelitian, tujuan penelitian, dan metode. Teori-teori yang dibahas didapatkan mulai dari buku, jurnal maupun dari sumber-sumber lain yang relevan. Pemanfaatan *Hybrid* PLTBM dan PLTS sudah banyak dikembangkan di Indonesia. Adapun beberapa pengembangan energi terbarukan penelitian-penelitian dapat dilihat dibawah ini.

Pada penelitian yang berjudul *Desain Sistem Pembangkit Listrik Hibrida Biomassa - Pv Untuk Elektrifikasi Pedesaan Di Desa Paluh Kurau Sumatera Utara*. Tujuan utama penelitian ini untuk mengkaji pemanfaatan limbah biomassa dari kelapa sawit sebagai bahan bakar pembangkit energi listrik dan dipadukan dengan sumber energi surya sebagai sumber energi terbarukan hibrida untuk elektrifikasi pedesaan. Metode yang di gunakan ialah mempertimbangkan jumlah potensi sumber daya biomassa dari kelapa sawit dan radiasi matahari yang diperoleh untuk mendapatkan ukuran pembangkit hibrida biomassa-PV yang optimal secara ekonomis. Pembangkit hibrida yang optimum berdasarkan simulasi terdiri dari PV 20 kW, biomassa 30 kW, 100 unit baterai dan inverter 20 kW dengan sistem pengisian baterai cycle charging. Konfigurasi ini dipilih dengan total net present cost sebesar US\$ 274.643, biaya pembangkitan listrik (cost of energy) sebesar US\$ 0,228/kWh [6].

Pada penelitian yang berjudul *Studi kelayakan ekonomis PLTU berbahan bakar fiber dan cangkang kelapa sawit sebagai Domestic Power*. Metode yang di gunakan adalah membandingkan pemanfaatan PLTU dari kelebihan bahan bakar yang dihasilkan oleh tanaman kelapa sawit sebagai penghasil listrik untuk perumahan rumah tangga dan genset sebagai penghasil listrik, serta membahas kelayakan ekonomi dari penggunaan PLTU. Hasil dari penelitian ini adalah Harga listrik untuk setiap genset dengan tingkat bunga 12% dan 6% adalah Rp. 920,-/kWh, Rp 807,-/kWh untuk PLTU dan Rp. 2.337,-/kWh, Rp. PLTD sebesar 2.322,-//kWh, dan nilai kalor bahan bakar serat = 2.770.5444



kkal/Kg = 3.222 kWh, cangkang = 3.881,15 kkal/Kg = 4.513 kWh, diesel = 2149,75 kkal = 2,5 kWh [7].

Pada penelitian yang berjudul optimasi sistem pembangkit listrik hibrida tenaga surya, angin, biomassa, dan diesel di pulau nyamuk karimunjawa jawa tengah dengan menggunakan perangkat lunak homer. integrasi pada sistem plh ini merupakan sistem yang multivariabel sehingga digunakan bantuan perangkat lunak homer versi 2.68. Perangkat lunak tersebut mengoptimasi hasil integrasi sistem plh ini berdasarkan nilai (net present cost, npc) terendah. sistem yang optimum untuk diterapkan di pulau nyamuk dalam jangka waktu proyek 15 tahun adalah integrasi pv, turbin angin, gasifikasi biomassa, dan generator diesel dengan nilai bersih sekarang (net present cost, npc) sebesar \$ 1,856,472, biaya pembangkitan listrik (cost of energy, coe) sebesar \$ 0,273 per kwh, dan mengurangi emisi co2 sebesar 651.630 kg per tahun atau sebesar 95,5 % per tahun [8].

Pada penelitian yang berjudul Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid pada area parkir gedung Dinas Cipta Karya, Dinas Bina Marga Dan Pengairan Kabupaten Badung. dalam penelitian ini menggunakan metode perhitungan manual untuk menghitung kebutuhan daya, menentukan daya yang akan dihasilkan, menghitung jumlah dan kapasitas modul surya dan inverter, serta menghitung sudut kemiringan dan posisi modul surya. PLTS menggunakan sistem hybrid dengan PLN yang bekerja secara otomatis dan diatur oleh sistem kontrol inverter. PLTS dengan kapasitas 148.274 kW menyediakan 30% dari konsumsi energi listrik gedung sebesar 2.310 MWh [9].

Pada penelitian yang berjudul Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Rumah Tangga Kapasitas 500 W, 220 V Penelitian ini menganalisis perencanaan pembangkit listrik tenaga surya di rumah dengan kapasitas 500 Watt, 220 volt. Metodologi yang digunakan adalah koleksi data, pengolahan dan analisis, simulasi dengan *Matlab* atau *Spais* program dan pengujian dalam laboratorium FT UIKA Bogor. Hasil yang diperoleh untuk memasok 500 W energi listrik, pada tegangan 220 Volt di rumah, dibutuhkan 16 *photovoltaic* unit, 4 baterai dengan kapasitas 100 Ah, 12 Volt, sebuah BCR baterai pengisian baterai dari 3 A dan 20 Ampere [10].

Dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya mengenai pembangkit listrik tenaga *hybrid* surya dan biomassa, kapasitas pembangkit yang telah diteliti hanya dalam skala kecil. Pada penelitian sebelumnya juga masih belum menggunakan suatu

Hak Cipta UINmuunggi undaang-urudang

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.

standar dalam perancangan pembangkit listrik tenaga biomassa dan surya. Pada penelitian ini yang menganalisis aspek teknis Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa menggunakan standar yang merujuk pada jurnal studi pemanfaatan biomassa limbah padat pabrik kelapa sawit (PKS) untuk Pembangkit Energi Listrik. sedangkan aspek teknis Pembangkit Listrik Tenaga Surya merujuk pada standar *Australian/New Zealand Standard TM A/NZS 4509.2:2010* tentang *Stand Alone Power System Part 2: System Design*, standar tersebut akan menentukan variabel-variabel yang dibutuhkan untuk mendapatkan komponen-komponen pembangkit yang menghasilkan performa sistem pembangkit yang optimal. Pada penelitian ini hanya akan menghitung aspek ekonomi yang berkaitan dengan pembangunan PLTS, dikarenakan dalam pembangunan PLTBM tetap mempertahankan pembangkit yang ada sebelumnya.

## 2.2 Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah sumber energi alternatif dari sumber energi yang umumnya digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi. Saat ini, semakin banyak permintaan energi didominasi oleh energi fosil yang tidak dapat diperbaharui, yang tentu saja tidak ramah lingkungan. Energi fosil terkait erat dengan kehancuran lingkungan, yang mengarah ke pemanasan global, pergeseran lapisan bumi, ketidakpastian iklim, polusi udara, dan polusi lingkungan. Alternatif untuk mengurangi penggunaan bahan bakar, tidak digunakan, adalah mengkonversi bahan bakar ke gas untuk sektor transportasi. Penggunaan energi fosil pada kendaraan bermotor dimulai pada tahun 1987, dan mengalami pasang surut karena berbagai kendala teknis, termasuk kurangnya infrastruktur dan sosialisasi [1].

Potensi sumber energi baru dan terbarukan sangat besar, dan Indonesia diberkahi dengan sumber-sumber energi yang sangat beragam. Energi panas bumi 75,091 MW, 29,104 MW, mini/mikro Hyro 769,69 MW, biomassa 49,810, energi surya 480 kWh /m<sup>2</sup>/hari, energi 3-6 m/s, setara dengan 16-15 juta minyak, laras minyak laras minyak dan 1,3-300 juta laras minyak. Limbah rumah tangga(Direktorat Umum baru dan Terbarukan Energi dan Konservasi Energi). Data ini meyakinkan kita bahwa ada kebutuhan untuk memperluas penggunaan baru dan sumber energi terbarukan[1].

Dalam konsep konstruksi, itu benar-benar diperlukan untuk memperhatikan pembangunan berkelanjutan, yang merupakan konsep pembangunan berdasarkan

penambahan nilai sumber daya. Pembangunan *biofuel* adalah kebijakan negara sesuai dengan perintah Presiden No. 1 tahun 2006, disertai dengan perintah Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No 25 dari 2013 karena penggunaan *biofuel*. Keputusan Kementerian itu meliputi kewajiban menggunakan *biofuel* sebagai bahan bakar yang dibagikan untuk memenuhi kebutuhan energi domestik, seperti biodiesel dan biotanol. Untuk memastikan pasokan *biofuel*, pemerintah perlu menyediakan fasilitas energi dan infrastruktur untuk mempertahankan ketersediaan *biofuel* pada dasar yang berkelanjutan. Energi terbarukan dalam dekade ini lebih dikenal sebagai energi pembaharuan, sebagai contoh; *hydro*, *geothermal*, mini/*micro*, biomass, tenaga matahari, *biofuel*, biogas, dan limbah rumah tangga [1].

### 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Konsep umum *hybrid* adalah penggunaan dua atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda. Tujuan utama dari sistem *hybrid* adalah sebuah usaha untuk menggabungkan dua atau lebih sumber energi (sistem pembangkit) sehingga dapat menutupi kelemahan masing-masing dan memastikan suplai daya yang dapat diandalkan dan efisiensi ekonomi di bawah beban tertentu [11].

Sebuah sistem *hybrid* atau pembangkit listrik *hybrid* (PLTH) adalah sistem pembangkit alternatif yang cocok untuk aplikasi di daerah-daerah yang sulit untuk mengakses sistem pembangkit listrik yang besar seperti jaringan PLN. Pada PLTH energi terbarukan bisa berasal dari tenaga surya, angin, biomassa, dan sumber energi lain yang digabungkan dengan cara yang lebih efektif, efisien dan dapat diandalkan sebagai sumber listrik rumah, industri, dan kebutuhan di daerah tersebut. Kombinasi dari sumber-sumber energi ini diharapkan untuk menyediakan pasokan daya yang terus menerus dengan efisiensi yang paling optimal [11].

### 2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBM)

Pembangkit listrik tenaga biomassa adalah pembangkit yang memanfaatkan bahan yang dapat diperoleh secara langsung atau tidak langsung dari tanaman dan digunakan sebagai energi. "Secara tidak langsung" mengacu pada produk yang berasal dari peternakan dan industri makanan. Biomass juga disebut "*phytomass*" dan sering diterjemahkan sebagai *bioresources* [12].

Dasar sumber daya termasuk ratusan dan ribuan tanaman, terestrial dan spesies laut, berbagai pertanian, hutan dan industri teknologi dan limbah residual, limbah hewan dan limbah. Tanaman energi, dimana plantasi energi skala besar sedang dibuat, akan menjadi salah satu biomassa yang menjanjikan, meskipun mereka tidak saat ini tersedia untuk dijual. Biomassa secara khusus berarti kayu, rumput *napiier*, rumput *rapeseed*, *air hyacinth*, ganggang raksasa, *klorella*, serutan kayu, jerami, ampas, limbah dapur, lumpur, kotoran hewan dan lain-lain. Tipe perkebunan biomassa seperti *eucalyptus*, *hybrid poplar*, minyak telapak, tebu, rumput gajah, dan lainnya termasuk dalam kategori ini [12].

Yang didefinisikan oleh IEA (Asosiasi Energi Internasional) biomassa adalah setiap bahan asal biologis, termasuk bahan bakar fosil yang berisi energi kimia (awalnya berasal dari matahari) dan tersedia untuk konversi ke berbagai bahan lainnya. Biomassa ini dapat mengambil berbagai bentuk, termasuk *biofuels* atau minyak *pyrolysis* untuk cairan, biogas dan *biomethane* untuk gas, atau pelet dan arang sebagai bentuk biomassa [12].

Biomassa istilah dalam industri energi akan merujuk ke sumber hidup atau baru saja meninggal bahan biologis yang dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar atau untuk produksi industri. Biomassa biasanya mengacu pada bahan tanaman yang tumbuh untuk digunakan sebagai *biofuel*, tetapi juga dapat mencakup tanaman atau bahan hewan yang digunakan untuk menghasilkan serat, bahan kimia, atau panas [13].

Biomassa juga dapat termasuk limbah *biodegradable* yang dapat dibakar sebagai bahan bakar, seperti jerami, kerang kelapa, buah-buahan kosong dan kerang telapak tangan, serta limbah kayu. Biomassa termasuk materi organik yang dikonversi oleh geologi proses menjadi zat baru, seperti batubara atau minyak, biomassa biasanya diukur sebagai persentase dari massa kering [13].

## 2.5 Sumber-Sumber Biomassa

Tergantung sumber, biomassa dibagi menjadi empat kelompok utama, yaitu limbah, produk kehutanan, tanaman energi dan tumbuhan air [14].

Hak cipta Diindungi Undang-Undang

UIN SUSKA RIAU

ity of

asim 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## 1. Limbah

Dalam kelompok ini, limbah yang merupakan salah satu sumber biomassa dapat diperoleh dari limbah pertanian, limbah perkebunan, limbah industri, dan limbah organik dari pemukiman manusia/daerah perkotaan. Berbagai limbah pertanian dapat diperoleh dan digunakan sebagai sumber biomassa. Terutama limbah yang dihasilkan selama pemrosesan panen dan pemrosesan produk dikumpulkan di pabrik pengolahan. Contoh sederhana: jerami yang berubah menjadi limbah dari panen beras, akan ditemukan di lapangan, dan kulit akan diperoleh dengan memproses gandum di sebuah pabrik beras [14].

Pada perkebunan limbah juga dihasilkan saat panen tapi jumlahnya akan lebih besar selama pengolahan tanaman di pabrik. Limbah juga terjadi pada perkebunan yang perlu ditanam kembali untuk mencapai hasil optimal. Namun jumlah dan berbagai limbah akan meningkat ketika pengolahan buah segar dalam produksi minyak sawit (PKS). Limbah tanaman serabut buah (22-24%), fiber (12-14%), cangkang (58%), dan limbah cair atau limbah biomassa dari pabrik minyak kelapa sawit, 50% untuk setiap ton buah segar (FFB) diolah di PKS [14].

Limbah organik perumahan dan perkotaan dihasilkan dari kegiatan sosial lain di rumah tangga, restoran, pasar, dan tingkat supermarket adalah bahan baku untuk biomassa. Meskipun sebuah kota dapat menghasilkan banyak volume limbah, seperti Kota Tangerang dengan 4.000 ton limbah per hari, untuk memastikan kualitas dalam hal uniformitas dari bahan baku dan teknologi pemrosesan, mereka masih perlu memperhatikan aspek-aspek peraturan dan kebijakan publik, sertai meningkatkan kesadaran publik tentang koleksi dan limbah, memasok limbah ke sistem mereka yang diatur pemerintah [14].

## 2. Biomassa Kehutanan

Biomassa kehutanan dapat dibagi menjadi tiga sumber penting: sampah hutan terbentuk dari komponen pohon seperti daun, batang dan ranting, bahkan dari pohon tua yang tidak berfungsi atau mati dan jatuh di hutan. Sisa biomassa ini biasanya masih segar karena kandungan air masih tinggi, sehingga membutuhkan waktu atau sedikit usaha untuk mengeringkan. Limbah dari industri pengolahan kayu biasanya ditemukan di

Hak Cipta 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



pusat pengolahan kayu dalam bentuk serbuk gergaji, potongan kayu, atau potongan kayu yang tidak lagi bernilai ekonomi [14].

### 3. Tanaman Energi

Tanaman yang tumbuh secara khusus dan khusus dirancang untuk menggunakan bahan baku energi sebagai prioritas pertama, dan kemudian menyediakan makanan sebagai prioritas kedua. Ini termasuk tanaman tahunan, jagung, atau gula tebu, dan tumbuh khusus untuk produksi etanol. Tanaman yang digunakan untuk produksi bio-minyak, seperti jarak [14].

### 4. Tanaman Akuatik

Tanaman yang tumbuh di habitat air perairan, seperti air segar atau laut, dan secara khusus digunakan sebagai bahan baku untuk biomassa. Contoh produk-produk ini adalah rumput laut dan eceng gondok [14].

## 2.5.1 Limbah Kelapa Sawit

Kelapa sawit menghasilkan tiga jenis limbah biomassa yaitu berupa fiber, cangkang dan tanda kosong. Produk sampingan dari limbah padat yaitu berupa abu sisa pembakaran. Pembuangan limbah biomassa saat ini hanya dirancang untuk memenuhi energi pengolahan minyak kelapa sawit secara langsung membakar serat dan cangkang. Sementara itu, tandan kosong dan abu dibakar digunakan sebagai pupuk pada tanaman untuk mengurangi konsumsi pupuk kimia dan mempertahankan kondisi iklim untuk kelapa sawit di dekatnya [15].

Sistem *combustion* biomassa lebih kompleks dari sistem bahan bakar fosil dan biasanya membutuhkan komponen tambahan di luar unit pembakaran. Ini berarti bahwa komponen dari sistem pembakaran biomassa harus secara hati-hati diintegrasikan untuk memastikan kegagalan sistem. Dibandingkan dengan bahan bakar fosil, penggunaan bahan bakar biomassa sebagai sumber energi memiliki beberapa masalah yaitu, pertama keandalan dari bahan bakar biomassa termasuk kandungan kelembaban, nilai kalor, konsistensi, ukuran, isi dan impuritas lain kedua kompleksitas penyimpanan bahan bakar dan fasilitas distribusi, terakhir kompleksitas dari sistem pembakaran. Contoh limbah kelapa sawit yaitu [15]:

**Fiber (Serat)**

Serat adalah limbah minyak kelapa dihasilkan ketika buah kelapa sawit ditekan selama proses *press*, mirip benang berbentuk pendek, berwarna kuning kecoklatan. Setiap pemrosesan 1 ton TBS menghasilkan 130 kg atau 13% serat. Serat umumnya digunakan sebagai sumber bahan bakar untuk boiler dan memiliki *Heating Value fiber* (HV) NOS = 3.850 kcal/kg, Oil = 8.800 kcal/kg dan *Heat Evaporating Water* = 600 kcal/kg [15].



Gambar 2.1 *Fiber*(Serabut) Kelapa Sawit [15].

**2. Shell (Cangkang)**

Shell adalah limbah yang dihasilkan dari proses pemisahan kernel inti sawit, yang berbentuk seperti tempurung kelapa tapi memiliki ukuran jauh lebih kecil. Setiap pemrosesan dari 1 ton TBS menghasilkan 65 kg atau 6,5% Cangkang, dan cangkang memiliki nilai *Heating Value Shell* (HV) NOS = 4.700 kcal/kg, Oil = 8.800 kcal/kg dan *Heat Evaporating Water* = 600 kcal/kg [15].



Gambar 2.2 Cangkang Kelapa Sawit [15].



## 2.6 Proses konversi Biomassa

Proses mengubah biomassa menjadi energi dalam dua cara, yaitu dekomposisi kimia dan penghancuran biologis. Sementara teknologi yang menggunakan biomassa dibagi menjadi empat kelompok utama, yaitu langsung proses pembakaran, proses termokimia, proses biokimia dan proses agrokimia [16].

### a. Proses pembakaran langsung (*Direct Combustion*)

Proses biomassa dibakar secara langsung dapat terjadi dalam dua cara, yaitu: biomassa mentah adalah makan langsung ke pembakaran atau tungku pemanas, atau tungku biomassa dicampur dengan batubara, dan proses ini juga disebut co-pembakaran. Mereka membakar biomassa mentah langsung untuk menghasilkan uap dan menjalankan turbin, dan kemudian menghasilkan listrik dengan generator. Uap dari pembangkit listrik juga digunakan untuk memproduksi proses dalam pabrik. Hasil akhir dari proses ini adalah panas dan abu. Mayoritas (97%) dari pembangkit listrik bioelektrik di dunia menggunakan sistem pembakaran langsung [16].

### b. Proses konversi thermochemical

Proses konversi biomassa oleh *thermochemistry* terbagi menjadi lima bagian, yaitu; *pyrolyfication*, *gastrogenasi*, *hidrogenasi*, pencairan (tekanan tinggi dan rendah ) [16].

### c. Proses konversi biokimia

Biomassa bahwa mengalami proses transformasi biokimia biasanya membutuhkan waktu yang lama, karena menunggu kemampuan membusuk bakteri untuk berfungsi dengan benar untuk mengkonversi biomassa menjadi komponen gas dan limbah padat. Produk *bioenergetic* dari proses ini adalah biogas [16].

### d. Proses konversi agrokimia

Proses ini dikarenakan ketergantungan yang lebih besar pada produk yang dihasilkan sebagai akibat dari aktivitas agrikultura, terutama dari pengolahan produk pertanian, seperti ekstraksi jarak ke minyak jarak atau pemrosesan tandan buah segar (TBS) menjadi CPO. Kedua produk ini digunakan langsung sebagai biodiesel dan tidak membutuhkan perawatan kimia lebih lanjut [16].

Hak Cipta Uinidungri undaing-uruaing

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.

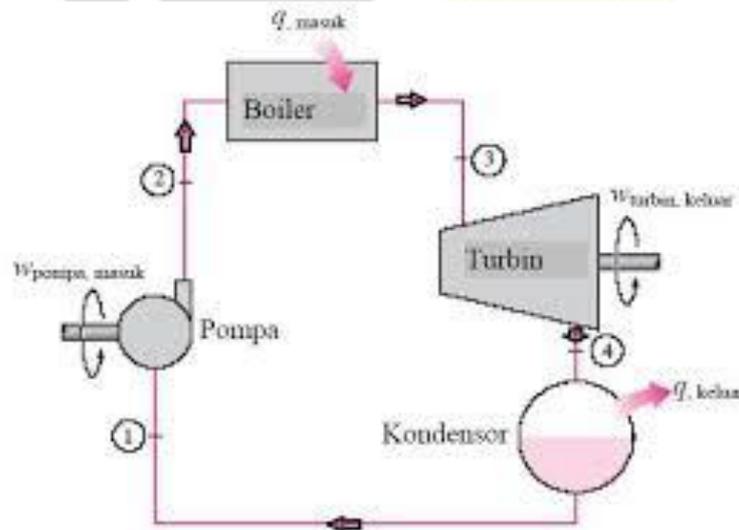
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## 2.7 Proses Konversi Biomassa Pembakaran Langsung (*Direct combustion*)

Proses pembakaran langsung ini terjadi dengan melibatkan pembakaran biomassa dengan udara berlebih untuk membentuk gas buang panas. Gas panas ini digunakan untuk menghasilkan uap di boiler. Uap panas yang dihasilkan oleh ketel uap kemudian digunakan untuk mendorong poros turbin. Poros turbin akan terhubung ke poros generator. Dengan demikian, Poros generator juga berputar dan akhirnya dapat menghasilkan listrik [16].

Operasi instalasi listrik yang menggunakan uap panas dengan tekanan tinggi untuk menyalakan generator. Siklus tugas digunakan sebagai referensi, siklus tugas disebut siklus Rankine. Siklus *Rankine* adalah siklus termodinamika yang mengubah panas menjadi bekerja. Panas yang diperoleh oleh proses eksternal dalam aliran tertutup menggunakan air sebagai cairan bergerak [17].

Seri dari sistem siklus *Rankine* dan diagram T-S dari siklus Rankine dapat dilihat dalam angka 2.3 dan 2.4.

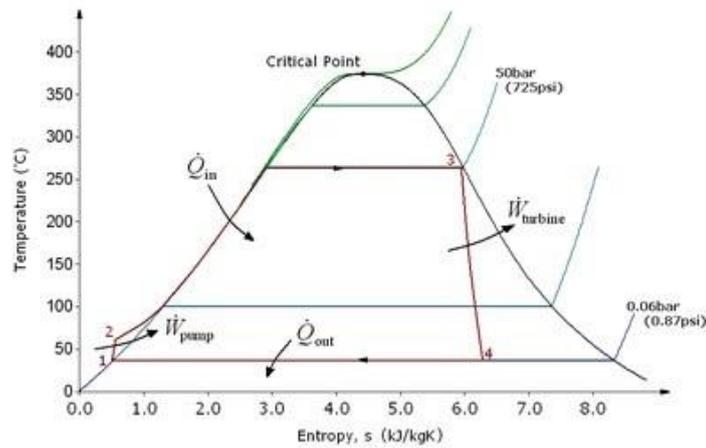


Gambar 2.3 Sistem Siklus *Rankine* [17].

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

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- 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 2.4 siklus *rankine* diagram T-S [17].

Dari Gambar 2.3 dan Gambar 2.4 diatas terjadi beberapa proses perubahan kondisi. Perubahan kondisi tersebut berupa:

- a. Proses 1-2 : Fluida kerja (misalnya air) dipompa dari tekanan rendah ke tekanan tinggi. Pada tahap ini fluida kerja berfase cair sehingga hanya membutuhkan energi yang relatif kecil untuk proses pemompaan. ( $W_{pompa}$ )

$$W_{pompa} = h_2 - h_1 \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

$W_{pompa}$  = kerja pompa (kW)

$h_1$  = entalpy air keluar kondensor (kJ/kg)

$h_2$  = entalpy air masuk boiler (kJ/kg)

- b. Proses 2-3 : Air bertekanan tinggi memasuki boiler untuk dipanaskan. Di sini air berubah fase menjadi uap jenuh. Proses ini berlangsung pada tekanan konstan. ( $Q_{in}$ )

$$Q_{in} = h_3 - h_2 \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

$Q_{in}$  = energi panas (kalor) dalam boiler (kJ/kg)

$h_3$  = entalpy uap masuk turbin (kJ/kg)

**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.

Proses 3-4: Uap jenuh berekspansi pada turbin sehingga menghasilkan kerja berupa putaran turbin. Proses ini menyebabkan penurunan temperatur dan tekanan uap, sehingga pada suhu turbin tingkat akhir kondensasi titik air mulai terjadi. (W<sub>turbin</sub>)

$$W_{turbin} = h_3 - h_4 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

W<sub>turbin</sub> = kerja turbin (kW)

h<sub>4</sub> = entalpy uap keluar turbin (kJ/kg)

d. Proses 4-1: Uap basah memasuki kondenser dan didinginkan sehingga semua uap berubah menjadi fase cair.

$$Q_{out} = h_4 - h_1 \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

Q<sub>out</sub> = energi panas (kalor) dalam kondensor (kg/jam)

Efisiensi siklus *thermal metode Direct Combustion* dapat dihitung dengan Persamaan 2.5 [19].

$$\eta = \frac{(h_3 - h_4) + (h_1 - h_2)}{(h_3 - h_2)} \dots\dots\dots(2.5)$$

**2.7.1 Output Pembakaran Langsung**

Metode *Direct Combustion* atau pembakaran langsung menjadikan uap sebagai hasil pemanasan air di *boiler* perhitungan *steam* uap yang dihasilkan turbin dapat dilihat dari Persamaan 2.6 [18].

$$M = \eta_{boiler} \times Q_{bahan\ bakar} \times LHV_{bahan\ bakar} / (H_v - H_l) \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

M = *steam* uap turbine (ton uap/jam)

Q = jumlah bahan bakar (kg/jam)

$\eta_{boiler}$  = efisiensi boiler

**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.

$H_v$  = enthalpi *steam* uap (kcal/kg)

$H_l$  = enthalpi air (kcal/kg)

LHV = nilai kalor bahan bakar (kcal)

Total daya yang tersedia pada PLTBm metode *Direct Combustion* dapat dihitung dengan Persamaan 2.7 [19].

$$Total\ electric\ power\ steam = Ma/St \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

$Total\ electric\ power\ steam$  = daya yang tersedia (watt)

$Ma$  = kebutuhan steam turbin (kg/jam)

$St$  = konsumsi rata-rata turbin (kg/kwh)

## 2.8 Komponen-Komponen Pembangkit Lisrik Biomassa

### 2.8.1 Boiler

Ketel uap adalah peralatan utama dari generator uap. Bahan bakar boiler menggunakan limbah biomassa dihasilkan dari sisa pemrosesan minyak kelapa sawit di pabrik Sei PKS. Dari semua limbah biomassa yang tersedia, semua serat dan beberapa kerang digunakan sebagai bahan bakar untuk pengobatan CPO [7].

#### 2.1 Spesifikasi Boiler

<i>Boiler</i> Model	Takuma N-600 SA
Maksimal Kapasitas Uap (Q)	22.000 kg/jam
Temperatur Uap	222°C
Maksimal Tekanan Uap	24 kg/cm <sup>2</sup> G
Temperatur Air Umpan	95°C
Effisiensi <i>Boiler</i>	80%

Untuk kinerja boiler sebagai pemasok uap, perhitungan efisiensi langsung akan dilakukan menurut ASME Boiler PTC4 menggunakan formula:

$$Eff\ Boiler\ (\%) = m_{uap} \times (h_1 - h_f) / m_{biomassa} \cdot NCV_{biomassa} \dots\dots\dots(2.8)$$

**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 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.

Dimana :

$m_{uap}$  : jumlah uap boiler (kg/jam)

$h_1$  : entalphi uap boiler (kJ/kg)

$h_f$  : entalphi air pengisi Boiler (KJ/kg)

$m_{cangkang}$  : Kebutuhan biomassa (kg/jam)

$NCV_{cangkang}$  : Nilai kalor biomassa (kJ/kg)

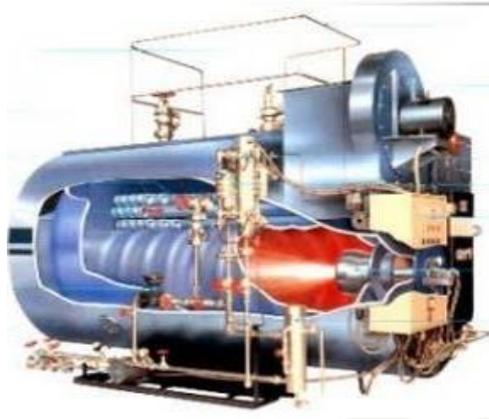
Untuk menghitung efisiensi diatas digunakan nilai kalor cangkang  $NCV = 3900$  kcal/kg (16328,5 kJ/kg).



Gambar 2.5 Boiler [7]

**2.8.2 Turbine Generator**

Sebuah turbin adalah perangkat yang mengubah energi uap dari ketel uap menjadi energi mekanik dalam bentuk rotasi, yang kemudian digunakan untuk mengendarai generator listrik. Biasanya konsumsi panas akan proporsional dengan konsumsi bahan bakar (konsumsi bahan bakar), sehingga kadang-kadang dinyatakan dalam (3413/n siklus) BTU/kWh atau (3600/n siklus. ) dalam kJ/kWh [7]



Gambar 2.6 Turbine Generator [7].

### 2.8.3 Condensor

Kondensor adalah peralatan yang berfungsi untuk mengurangi suhu uap yang keluar dari turbin (knalpot uap), sehingga perubahan uap pada cairan dalam bentuk dingin dibawah ruang hampa udara. Dengan proses ini, perbedaan penting yang besar akan didapatkan antara uap memasuki turbin dan uap keluar turbin, sehingga dapat menghasilkan lebih banyak tenaga untuk menyalakan generator. Jenis kondensor yang umum digunakan dalam pembangkit listrik adalah permukaan kondenser, yang merupakan tipe shell dan tube dicampur dengan menara pendingin [7].

Peralatan lain yang diperlukan adalah pelepasan uap, yang melepaskan gas non-kondensasi ke dalam sistem sementara secara bersamaan menciptakan tekanan vakum dalam kondensor. Sebuah kebocoran uap adalah pompa yang menggunakan efek ventikasi, menyebabkan nozzles untuk berkumpul dan berurutan. Ejector mengkonversi energi tekanan dari passing uap menjadi energi kinetik, yang menciptakan tekanan rendah dalam ruang kondensor. Dengan kata lain, ejector melakukan fungsi pompa vakum dalam kondensor menurut prinsip Venturi [7].

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.

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 2.7 Condensor [7].

### 2.8.3 Pompa

Adapun sistem lingkaran uap *Rankine*, pompa memainkan peran sirkulasi air dalam siklus. Selain itu pompa bekerja untuk meningkatkan tekanan air memasuki drum bagian atas boiler. Karakteristik teknis dari pompa *air feed* (FWP) memiliki karakteristik khusus, yaitu perbedaan tekanan tinggi antara sisi pengisap dan sisi debit. Ketika memilih tipe pompa, diperlukan untuk memperhitungkan NPSH yang tersedia dan NPSH yang diperlukan tergantung pada instalasi pipeline pompa [7].



Gambar 2.8 Pompa [7].

### 2.9 Nilai Kalor

Nilai kalor mencerminkan energi isi dari biomassa dan juga disebut nilai calorific. Ada dua nilai dari calorific nilai: satu memperhitungkan kelembaban isi bahan bakar, dan kedua jika bahan bakar benar-benar kering. Yang terakhir, nilai calorific tertinggi

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.

(GCV), adalah panas yang dilepaskan selama Pembakaran per unit massa bahan bakar ketika air dibentuk dalam fase cair. Net calorific nilai (NCV) adalah panas yang dihasilkan oleh pembakaran per satuan massa bahan bakar ketika air dibentuk dalam fase gas. Perbedaan antara GCV dan NCV memperhitungkan entalpi antara udara, gas, dan cairan pada 25°C, serta isi hidrogen bahan bakar. Nilai calorific adalah faktor yang sangat penting dalam desain boiler dan untuk perhitungan konsumsi bahan bakar pembangkit listrik, yang merupakan bagian utama biaya operasional [15].

Sehingga nilai kalor (N.O) bahan bakar limbah sawit dapat dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$N.O = \frac{(NOS \times HV \text{ NOS}) + (Oil \times HV \text{ Oil}) - (Water \times HV \text{ Water})}{\text{jumlah bahan bakar}} \dots\dots\dots (2.9)$$

**2.10 Efisiensi Pembangkitan Listrik**

Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa merupakan proses mengubah energi biomassa menjadi energi listrik dengan proses thermal. Efisiensi pembangkitan listrik biomassa merupakan perbandingan antara nilai energi listrik yang dihasilkan dibandingkan dengan nilai energi biomassa yang menjadi input. Sehingga dapat dirumuskan sebagai Persamaan [18] :

$$\eta = P_{out} / P_{in} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

$\eta$  = Efisiensi pembangkit listrik

$P_{out}$  = Daya listrik yang dihasilkan pembangkit (watt)

$P_{in}$  = Daya input pembangkit (Joule)

**2.11 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)**

*Fotovoltaic* (juga dikenal sebagai sel surya) adalah perangkat *semikonduktor* yang dapat mengkonversi cahaya langsung ke arus langsung (DC) menggunakan *kristal Silikon* (Si) tipis. Sebuah kristal *silinder* diperoleh dengan *heating* Si pada tekanan yang terkontrol, sehingga Si diubah menjadi konduktor. Ketika kristal silinder dipotong 0,3 mm tebal, tipis sel silikon, juga dikenal sebagai *photovoltaic* dibentuk. Elemen silikon

terpasang dalam paralel/seri dalam aluminium atau panel baja stainless dan dilindungi oleh kaca atau plastik. Kemudian hubungan listrik terhubung ke setiap sel. Ketika sel-sel terkena sinar matahari, arus listrik akan mengalir melalui persimpangan. Jumlah saat ini / listrik tergantung pada jumlah energi cahaya yang mencapai silikon dan luas permukaan sel [19].

Pada dasarnya, sel surya *fotovoltaic* adalah sebuah titik koma dioda yang beroperasi dalam proses tidak seimbang dan didasarkan pada efek *photovoltaic*. Dalam hal ini, sel surya menghasilkan tegangan 0,5-1 volt, tergantung pada intensitas cahaya dan jenis semikonduktor digunakan. Sementara itu, intensitas energi sinar matahari mencapai permukaan bumi adalah sekitar 1000 watt. Namun, karena efisiensi konversi energi berseri-seri menjadi energi listrik, berdasarkan efek foto-EMF, mencapai hanya 25%, produksi listrik maksimum yang dihasilkan oleh sel-sel surya mencapai 250 W per m<sup>2</sup> [19].

Komponen utama dari surya *fotovoltaic* adalah sebuah modul, yang merupakan unit perakitan dari beberapa *photovoltaic solar cells*. Sebuah modul *photovoltaic* terdiri dari beberapa foto sel yang terhubung secara seri dan secara paralel. Teknologi ini cukup kompleks, dan keuntungannya adalah bahwa itu murah, bersih, mudah untuk menginstal dan beroperasi, serta untuk menjaga. Sementara itu, kendala utama untuk pengembangan energi surya *fotovoltaic* adalah investasi awal yang besar dan harga yang relatif tinggi per kilowatt-jam listrik diproduksi, karena ini membutuhkan subsistem terdiri dari baterai, kontrol unit dan inverters sesuai dengan kebutuhan [19].

Faktor yang mempengaruhi tingkat kinerja dari panel surya:

- a. Temperatur
- b. Sinar matahari intensitas
- c. Orientasi dari sirkuit modul surya
- d. Sudut orientasi matahari.

## 2.12 Potensi Energi Surya

Menurut majalah media komunikasi Energi Energi dan Sumber Daya Mineral edisi 2, Indonesia adalah negara tropis yang memiliki potensi energi surya yang besar karena

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.

area ini berada di titik khatulistiwa, dengan kapasitas energi yang besar 4.80 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Energi matahari langsung dikonversi, dan bentuk aplikasi yang dibagi menjadi dua jenis: energi surya untuk pemanas dan energi surya tenaga listrik untuk generasi listrik [1].

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah teknologi pembangkit listrik yang dapat diterapkan di semua daerah. Pemasangan, operasi dan pemeliharaan jaringan mini *fotovoltaic* sangat sederhana, sehingga mereka dengan mudah diterima oleh masyarakat. Kendala utama untuk pasar PLTS adalah bahwa biaya investasi per watt listrik yang dihasilkan masih relatif tinggi, dan beberapa bahan baku untuk komponen jaringan *fotovoltaic*, terutama *solar cells* masih perlu diimpor. Dengan demikian, pertumbuhan industri *solar cells* lokal menjadi sangat strategis dalam pengembangan jaringan PV mini di masa depan. Sebagai tambahan, Kebijakan menarik bagi para investor juga sangat penting untuk pertumbuhan investasi pribadi dalam pengembangan jaringan mini *fotovoltaic* [1].

Pemerintah membuat upaya untuk meningkatkan penggunaan energi surya untuk generasi listrik dengan membangun terpusat dan *hybrid* di daerah non-listrik tertutup di seluruh penjuru Indonesia. Ini upaya pemerintah juga mendukung pengembangan energi surya nasional. Pengembangan PLTS di negara ini saat ini terjadi cukup cepat karena beberapa keuntungan PLTS termasuk: [1].

- a. Sumber Energi Surya tersedia di Semua tempat di permukaan bumi dalam kelimpahan, sehingga mereka tidak pernah menyebabkan konflik sosial karena penggunaan sumber energi surya;
- b. Teknologi PLTS mudah dimengerti dan diterima oleh orang biasa, dapat diinstal oleh pekerja lokal dan dapat dioperasikan oleh pengguna dengan layanan sangat lokal.
- c. PLTS sangat aman untuk lingkungan, tidak memancarkan gas, tidak membuat kebisingan, beroperasi pada suhu kamar, dan tidak menimbulkan bahaya alam risiko untuk keselamatan manusia dan lingkungan;
- d. PLTS perangkat secara luas tersedia di pasar dengan berbagai pilihan daya, harga, dan kualitas.

#### Hak Cipta Diindungi 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.

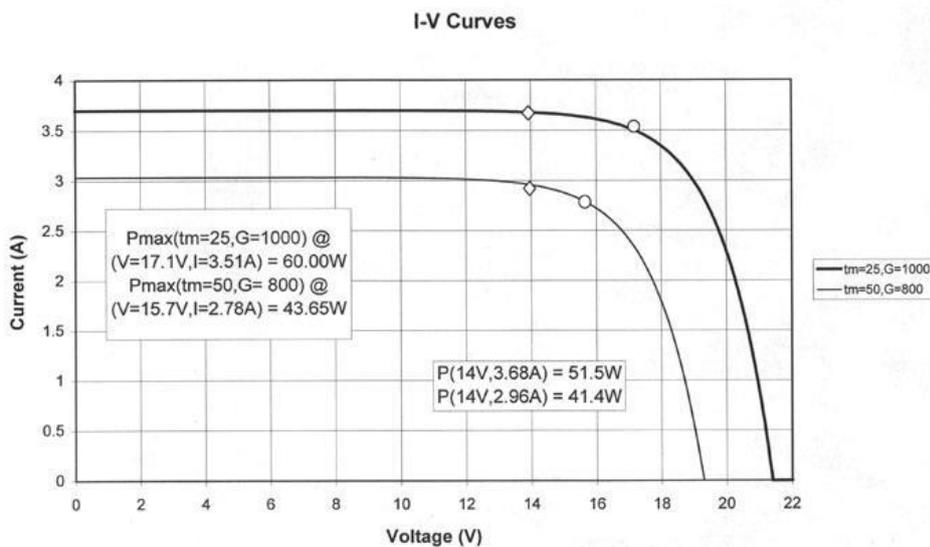
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

## 2.13 Komponen-Komponen PLTS

### 2.13.1 Modul Surya

Modul tenaga surya atau instalasi *photovoltaic* merupakan kombinasi dari beberapa sel surya yang terhubung dalam seri/paralel. Satu sel surya menghasilkan tegangan 0.45 V tegangan ini terlalu rendah untuk penggunaan praktis, jadi beberapa sel surya terhubung dalam seri/paralel. Sebuah modul surya standar terdiri dari 36 atau 40 semi-kristal silikon sel surya, masing-masing berukuran 10 x 10 cm, menghasilkan 38 sampai 50 watt daya pada tegangan 12 volt ketika terkena sinar matahari penuh [10].

Sel-sel surya bekerja sebagai berikut: Insiden cahaya dapat dianggap sebagai aliran dari partikel energi kecil yang disebut foton, yang memiliki peristiwa panjang gelombang tertentu pada permukaan sel surya (*photovoltaic*), foton ini dapat mentransfer energi mereka ke beberapa elektron di material sehingga elektron unggul di tingkat tinggi disebut elektron. Dalam keadaan bebas elektron dapat bergerak bebas dalam material dan dengan demikian melakukan arus listrik. Jika permukaan atas dan bawah permukaan sel surya terhubung, akan ada aliran elektron dari permukaan atas ke bawah, dan dengan demikian bagian atas dari sel surya akan dikenakan biaya secara negatif (Q-), dan bagian bawah akan dikenakan biaya positif (Q +) [10].



Gambar 2.9 Karakteristik Modul Surya [10].

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 mengumunkan 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 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. Jenis-jenis Modul Surya.

Modul sel surya adalah perangkat semikonduktor terbuat dari kristal silikon (bahan silikon dengan struktur kristal). Silikon adalah elemen yang memiliki struktur atom dengan empat elektron eksternal (*valence* elektron). Dalam keadaan normal, empat elektron ekstrem membentuk ikatan dengan elektron ekstrem lainnya atom silikon, sehingga elektron yang ekstrem atom memiliki konfigurasi yang stabil bahwa delapan elektron, tipe ikatan di mana atom berbagi valensi disebut fosfor: di permukaan atas sel surya menghadap matahari, ada bagian yang disebut atom karbon.

Hal ini mengarah ke gerakan elektron antara *lattices*, struktur ini disebut semikonduktor tipe Nic. Sementara itu, di bawah sel surya, beberapa bagian penuh dengan boron berisi bahan yang memiliki tiga *valence* elektron, sehingga ada potensi "lubang" sibukkan elektro. Struktur ini disebut semikonduktor P-type [20].

Di antara lain, beberapa jenis modul surya sering digunakan:

- a. Modul *Monocrystalline* (monokristal).

Modul ini terbuat dari silikon kristal tunggal menggunakan teknologi "Czochraiski", yang merupakan proses casting kristal berkualitas tinggi untuk produksi lempeng yang sangat tipis 0,25 mm, dikenal sebagai *wafer*. Konversi energi dari modul surya ini antara 12% dan 15%, dan modul ini sangat efisien ketika diinstal di daerah tropis [20].



Gambar 2.10 Modul *Monocrystalline* [20].

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.

Modul *Polycrystalline* ( Polikristal)

Modul ini terbuat dari polikristal silikon. Perbedaannya adalah bahwa modul ini membutuhkan ukuran yang lebih besar dibandingkan dengan monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama dan efisiensi lebih rendah. Konversi energi dari modul surya ini antara 8% dan 10% [20].



Gambar 2.11 Modul *Polycrystalline* [20].

2.13.2 Baterai

Baterai adalah operator energi yang dapat digunakan ketika matahari rendah intensitas. Baterai dengan karakteristik *self discharge* adalah pilihan yang baik untuk jaringan *photovoltaic*. Biasanya baterai lead acid digunakan, yang memiliki *self discharge* sekitar 3% per bulan. Ada beberapa jenis baterai yang sekarang banyak digunakan di PLTS di Indonesia. Tipe baterai ini termasuk jenis VLA (*Vented Lead Acid*) dan VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) [21].

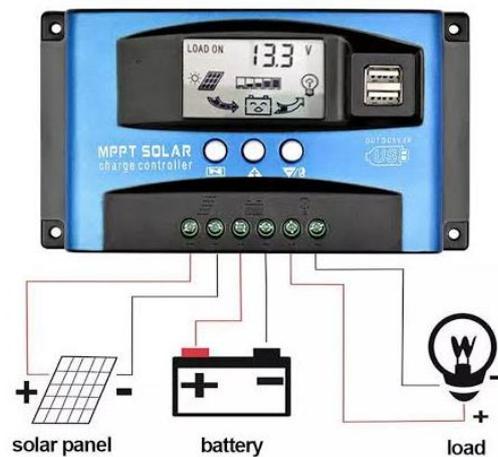


Gambar 2.12 Baterai [21].

### 2.13.3 Solar Charge Controller

*Solar Charge Controller* adalah perangkat elektronik yang mengatur aliran listrik dari modul surya untuk baterai dan beban. *Solar Charge Controller* mendukung pengisian baterai penuh tanpa biaya yang berlebihan. Ketika beban sedang menarik daya energi, pengontrol tenaga surya memungkinkan arus listrik untuk mengalir dari modul ke baterai. Ketika pengontrol mendeteksi bahwa baterai terisi penuh, *Solar Charge Controller* menghentikan arus dari modul.

*Solar Charge Controller* juga menentukan berapa banyak listrik konsumen beban, sehingga baterai hampir kosong. Ketika hal ini terjadi, pengontrol tenaga surya akan berhenti memasok listrik sampai muatan baterai dipulihkan. *Solar Charge Controller* biasanya terdiri dari: 1 input (2 terminal) terhubung ke panel surya, 1 keluaran (2 terminal) yang terhubung ke baterai, dan 1 keluaran (2 terminal) yang terhubung ke *load* [21].



Gambar 2.13 *Solar Charge Controller* [21].

### 2.13.4 Inverter

*Inverter* adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengubah arus langsung (DC) ke alternating current (AC). *Output inverter* bisa menjadi tegangan AC dalam bentuk sinusoidal, persegi panjang dan dimodifikasi gelombang sinusoidal. Baterai, energi matahari, atau sumber-sumber arus langsung lain dapat digunakan sebagai sumber masukan dari *inverter* [21].

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.

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**



Gambar 2.14 Inverter [21].

**2.14 Perhitungan Kapasitas Komponen Utama PLTS**

Perhitungan kapasitas komponen sistem PLTS pada tahap ini dengan melakukan perhitungan secara teoritis yang sesuai dengan Persamaan-Persamaan yang terdapat pada Australian/New Zealand Standard TM AS/NZS 4509.2:2010 tentang *stand-alone power system part 2: system design* [22].

**2.14.1 Modul Surya**

Dalam melakukan pemilihan PV Array, ada beberapa aspek yang akan menjadi variabel perhitungan sebelum menetapkan jumlah dan kapasitas modul surya yang akan digunakan. Adapun variabel yang akan menjadi perhitungan tersebut, yaitu:

1. Pemilihan modul surya

Pemilihan modul surya telah ditentukan oleh designer sendiri karena tiap jenis modul surya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing.

2. *Oversupply co-efficient*

*Oversupply co-efficient* merupakan nilai kelebihan suplai energi listrik yang akan digunakan dalam mendesain kapasitas pembangkit [22].

3. Nominal efisiensi baterai ( $\eta_{bat}$ )

Menurut standar AS/NZS 4509.2:2010 pada dasarnya PLTS menggunakan barerai jenis *Lead acid* yang mempunyai efisiensi 90% sampai dengan 95% [22].

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.

**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.

4. Irradiation on tilted plane ( $\eta_{\text{tilt}}$ )

Sudut kemiringan harus dipilih agar memaksimalkan produksi energi yang dapat digunakan PV array. Sudut optimum tergantung pada derajat lintang, maupun variasi radiasi matahari sepanjang tahun. Minimal *tilt angle solar* PV adalah  $10^\circ$  [22].

Tabel 2.2 *Approximate Optimum Tilt Angle Power PV System* untuk Array Tetap [22].

Latitude	Sudut Kemiringan Optimal Terdekat		
	Tidak Ada Variasi Beban Per Musim	Puncak Musim Dingin	Puncak Musim Panas
$5^\circ - 25^\circ$	Lat - Lat + $5^\circ$	Lat + $5^\circ$ - Lat + $15^\circ$	Lat - $5^\circ$ - Lat + $5^\circ$
$25^\circ - 45^\circ$	Lat + $5^\circ$ - Lat + $10^\circ$	Lat + $10^\circ$ - Lat + $20^\circ$	Lat - Lat + $10^\circ$

5. Design load energi ( $E_{\text{tot}}$ )

Design load energi adalah kebutuhan energi listrik total yang harus di suplai dari pembangkit.

$$\text{Design Load Energy } (E_{\text{tot}}) = \frac{E_{\text{tot}}}{\eta_{\text{inv}}} \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan :

$E_{\text{tot}}$  = Total kebutuhan energi harian (Wh)

6. Nominal Tegangan Bus DC (VDC)

Nominal tegangan bus DC adalah sebagai referensi tegangan untuk setiap komponen yang akan terhubung ke jalur bus DC berdasarkan AS/ NZS 4509.2.2010 di tentukan oleh peneliti sendiri [22].

7. Design load (Ah)

Design load (Ah) merupakan kebutuhan energi listrik disatuan ampere hour(Ah). Untuk mendapatkan hasil design load Ah dari pembagian dari total kebutuhan energi harian dan tegangan bus DC [22].

$$\text{Design load Ah} = \frac{E_{\text{tot}}}{V_{\text{dc}}} \dots \dots \dots (2.12)$$

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 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.

Keterangan :

$E_{tot}$  = total kebutuhan energi harian (Wh)

$V_{dc}$  = tegangan bus DC (V)

8. *Required Array output*

*Required Array output* merupakan nominal daya yang akan disuplai oleh PV Array dalam satuan Ah) dengan memperhitungkan efisiensi pada sebuah baterai ( $\eta_{bat}$ ) [22]

$$\text{Required Array output Ah} = \frac{\text{Design load Ah}}{\eta_{bat}} \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan

$E_{tot}$  = total kebutuhan energi listrik (Ah)

$\eta_{bat}$  = Efisiensi baterai (%)

9. *Daily charge output pe module*

*Daily charger output per module* merupakan energi yang dihasilkan dari satu module dalam satu hari (dalam Ah). *Daily charger output* pada penelitian ini dapat dirumuskan [22].

$$\text{Daily charger output (1 x Toleransi) x } I_{T.V} \times f_{din} \times H_{tilt} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

Toleransi pabrik = Toleransi pabrik pada daya keluaran (%)

$I_{T.V}$  = Arus hubung singkat dibawah temperatur operasi (NOCT) (A)

$f_{din}$  = Derating faktor karena debu (%)

$H_{tilt}$  = Radiasi title angle (kWh/m<sup>2</sup>/hari)

10. *Number of parallel strings required (Np)*

*Number of parallel strings required* merupakan jumlah cabang modul surya yang dihubungkan secara paralel [22].

$$N_{oPSR} = \frac{\text{Required Array output x } f_o}{\text{Daily charge output permodule}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan:

*Required Array output* = arus hubung singkat dibawah temperatur operasi (A)

*Daily charge output* = derating faktor karena debu (%)

$f_o$  = over supply coefisient 1,3 – 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

11. *Number Of Series Modules Per String*

*Number of series modules per string* disimbolkan dengan  $N_s$ , merupakan jumlah modul surya yang dihubungkan secara seri disetiap cabang. Jumlah modul surya terhubung seri [22].

$$N_s = \frac{\text{Tegangan operasi}}{\text{Nominal module voltage}} = \frac{V_{DC}}{V_{DC}} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan:

$V_{dc}$  = Nominal Tegangan bus DC (V)

$V_{dc}$  = Nominal tegangan modul (V)

12. *Total number of modules in array*

*Total number of modules in array* disimbolkan dengan  $N$ , merupakan total modul surya yang digunakan sebuah sistem PLTS. Jumlah modul surya yang digunakan dalam penelitian ini adalah [22].

$$N = N_p \times N_s \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan:

$N_p$  = *Number of parallel strings required*

$N_s$  = *Number of series modules per string*

13. Kapasitas setiap PV Array (PPV Array)

Setelah mendapatkan jumlah keseluruhan modul surya yang akan digunakan, maka kapasitas daya dari PV Array pada PLTS dapat dihitung dengan persamaan berikut [22].

$$P_{PV \text{ Array}} = \text{jumlah modul surya} \times \text{daya per modul surya} \dots\dots\dots (2.18)$$

**2.14.2 Bank Baterai**

Kapasitas baterai merupakan jumlah muatan yang tersimpan pada baterai yang menggambarkan sejumlah energi maksimal yang dikeluarkan dari sebuah baterai yang dinyatakan dalam *Ampere hour* (Ah). Nilai Ah ini didapatkan dari perkalian antara nilai arus yang dapat dikeluarkan baterai dengan berapa lamanya waktu untuk mengeluarkannya. Untuk itu, baterai yang bernilai 12V 200 Ah berarti bahwa baterai akan dapat melepaskan daya baik sebesar 200 A dalam 1 jam, 50 A dalam 4 jam, 4 A dalam 50 jam, atau 1 A dalam 200 jam. Jadi pertama sebelum kita mengetahui berapa kapasitas baterai yang digunakan maka ada beberapa persamaan yang akan digunakan [23]:

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.

*Design load Ah*

*Design load Ah* merupakan kebutuhan energi listrik dalam satuan *Ampere hour*

(Ah). Untuk menghitung daya dalam satuan amper menggunakan persamaan berikut [22]:

$$Design\ load\ Ah = \frac{E_{totPV}}{V_{dc}} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana:

$E_{tot}$  = Total kebutuhan energi harian

$V_{Dc}$  = Tegangan inverter yang digunakan

2. Target hari otonomi (*autonomy*) ( $T_{aut}$ )

Merupakan target total hari operasi maksimum baterai tanpa masukan energi dari PV array dan genset sebelum melebihi DoD maksimum baterai. Menurut AS/NZS 4509.2:2010, untuk sistem PLTB dengan kontrol otomatis dapat menggunakan waktu otonomi 2 sampai 3hari [22].

3. *Maximum Depth of Discharge* (DoDmax)

Merupakan besarnya muatan listrik maksimum baterai yang diizinkan untuk digunakan. Sebagai contoh, penarikan muatan listrik sebesar 40 Ah dari baterai dengan kapasitas 100 Ah, maka dikatakan DoD sebesar 40% [22].

4. Kapasitas baterai pada nominal *battery discharge rate* ( $C_x$ )

Berdasarkan AS/NZS 4509.2:2010, pemilihan  $C_x$  harus memperhatikan beban maksimum dan durasi beban, *discharge rate* 100 jam cocok digunakan untuk kebutuhan beban yang rendah *discharge rate* 20 jam bagus digunakan untuk beban yang tinggi [22].

5. Faktor koreksi temperatur

Menurut AS/NZS 4509.2:2010, faktor koreksi temperatur untuk baterai dengan *discharge rate* 20 jam ( $C_{20}$ ) adalah sebesar 98% [22].

6. Kapasitas baterai yang diperlukan

Besarnya ukuran baterai yang diperlukan dalam sistem pembangkit listrik *hybrid* dalam penelitian ini yaitu [22]:

$$Ah = \frac{Design\ load\ Ah \times T_{aut}}{DoD_{max} \times Faktor\ koreksi\ temperatur} \dots\dots\dots (2.20)$$

**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 mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

7. Jumlah baterai di hubung seri

Jumlah baterai yang diserikan dalam penelitian ini menggunakan persamaan sebagai berikut [22]:

$$\text{Baterai terhubung seri} = \frac{V_{dc(\text{inverter})}}{V_{dc(\text{baterai})}} \dots\dots\dots (2,21)$$

8. Jumlah baterai di hubung paralel

$$\text{Baterai terhubung paralel} = \frac{\text{kapasitas baterai di perlakukan}}{\text{kapasitas baterai pada } C_x} \dots\dots\dots (2.22)$$

**2.14.3 Inverter**

Dalam menentukan kapasitas inverter pada penelitian, akan menggunakan *oversupply co-efficient (fo)* sebesar 1,1. [22]

$$\text{Kapasitas inverter} = \text{beban puncak} \times 1.1 \dots\dots\dots (2.23)$$

**2.15. Daya Total Keluar PLTS**

Konversi arus AC sangat penting untuk beban peralatan listrik, jadi konverter sangat penting untuk energi terbarukan sistem hibrida. Daya keluaran konverter dapat dihitung oleh Persamaan sebagai berikut di mana  $P_{in}$  mewakili daya input [24].

$$P_{out} = P_{in} \times \eta_{inv} \dots\dots\dots (2.24)$$

**2.16 Analisis Ekonomi (Financial)**

Analisis ekonomi bertujuan untuk mengetahui apakah proyek yang akan dibangun memang memberikan manfaat yang lebih besar daripada biaya yang akan dikeluarkan atau sebaliknya. Analisis ekonomi memiliki beberapa parameter *Net Present Value (NPV)*, *Levelized Cost of Energy (LCOE)*, *Internal Rate Of Return (IRR)* dan *Pay Back Period (PBP)*. Untuk menilai apakah sebuah proyek dapat diterima, metode analisis ekonomi adalah untuk melakukan analisis biaya atau analisis biaya manfaat adalah metode analisis sistematis yang bertujuan untuk membandingkan sejumlah biaya dan manfaat dengan aktivitas atau sebuah proyek. Setelah perbandingan dibuat, langkah berikutnya adalah memutuskan apakah rencana atau proyek dapat dilanjutkan melalui evaluasi. Antara hal-hal lain, Analisis Manfaat Biaya memiliki karakteristik khusus [23].

1. Biaya pengumpulan dana analisis mengukur semua biaya dan manfaat yang kemudian diterima dari program pemerintah dalam bentuk moneter.

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.

Melambangkan ekonomi rasionalitas, karena kriteria terutama ditentukan oleh penggunaan efisiensi ekonomi global.

Secara tradisional, penggunaan pasar swasta sebagai titik awal untuk membuat rekomendasi pada program-program pemerintah.

Analisis biaya manfaat memiliki beberapa keuntungan antara lain:

1. Biaya dan manfaat diukur dalam hal nilai untuk uang, yang memungkinkan analisis untuk mengurangi biaya dari keuntungan.
2. Memungkinkan Anda untuk menganalisis pandangan yang lebih luas dari kebijakan tertentu atau program.
3. Memungkinkan Anda untuk menganalisis dengan membandingkan program sebagai keseluruhan dalam bidang yang berbeda.

Perhitungan menggunakan metode analisis profitabilitas memiliki beberapa parameter, yaitu: aliran kas (CF), nilai sekarang (NPV), *Payback period*, *internal rate of return* (IRR) dan *Levelized Cost of Energy* (LCOE).

### 2.16.1 Cash Flow (CF)

Didalam menjalankan sebuah aktivitas atau sebuah proyek, tentunya akan menimbulkan sejumlah biaya untuk menjalankan proyek tersebut, baik secara langsung ataupun tidak langsung. Disisi lain akibat dari pelaksanaan proyek tersebut akan timbul juga manfaat atau keuntungan yang didapatkan, dengan demikian didalam sebuah proyek akan selalu timbul sejumlah uang pemasukan dan uang pengeluaran. Uang masuk dan uang keluar inilah yang dinamakan Cash Flow (aliran uang). Cash Flow terbagi dua yaitu Cash Flow Benefit (aliran uang masuk) dan Cash Flow Cost (aliran uang keluar) [23].

#### 1. Cash Flow Benefit (CFB)

*Cash Flow Benefit* adalah aliran uang yang masuk disetiap tahun selama sistem berjalan atau umur proyek. Aliran uang yang masuk disetiap tahun dihitung berdasarkan nilai rata-rata suku bunga yang ada pada tahun pertama pelaksanaan proyek. Berikut rumus perhitungan CFB [23].

$$CFB = Benefit(1 + i)^{-n} \dots \dots \dots (2.25)$$



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.

$$IRR = i_1 + \left\{ \left( \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \right) \times (i_2 - i_1) \right\} \dots \dots \dots (2.30)$$

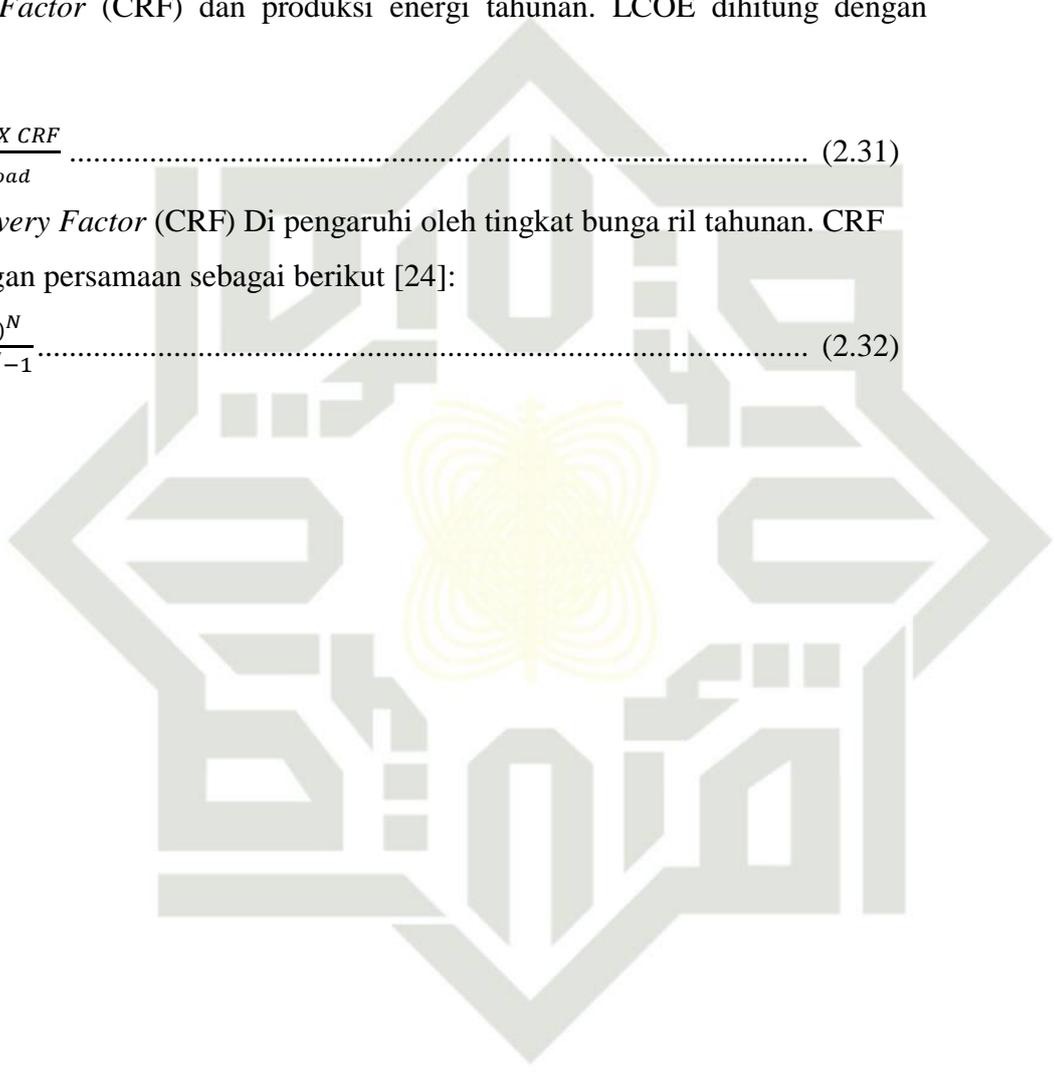
**2.16.5 Levelized Cost of Energy (LCOE)**

Levelized Cost of Energy (LCOE) didefinisikan harga konstan per unit energi. Perhitungan biaya energi listrik ditentukan biaya siklus hidup, faktor pemulihan modal atau Capital Recovery Factor (CRF) dan produksi energi tahunan. LCOE dihitung dengan persamaan [25]:

$$LCOE = \frac{NPV \times CRF}{E_{load}} \dots \dots \dots (2.31)$$

Capital Recovery Factor (CRF) Di pengaruhi oleh tingkat bunga ril tahunan. CRF dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [24]:

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \dots \dots \dots (2.32)$$



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini adalah jenis penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif. Penelitian kuantitatif adalah salah satu metode penelitian dengan kriteria sistematis, terencana, terstruktur dengan jelas dan umumnya hasil penelitian berupa data numerik/angka. Pendekatan deskriptif merupakan metode pendekatan yang berguna untuk mendeskripsikan atau memberi gambaran terhadap objek yang diteliti melalui data atau sampel yang telah terkumpul. Pendekatan deskriptif bertujuan untuk mendeskripsikan objek penelitian maupun hasil dari penelitian.

#### 3.2 Prosedur Penelitian

Ada enam tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini. Dimana enam tahap tersebut, yaitu:

1. Pemilihan lokasi.
2. Tahapan perancangan.
3. Pengumpulan data.
4. Perhitungan manual dan analisis Sistem *Hybrid*: Aspek Teknis dan Aspek Ekonomi.
5. Analisis kelayakan sistem
6. Kesimpulan dan saran

Adapun delapan tahapan ini digambarkan oleh diagram alur penelitian pada Gambar 3.1 berikut:

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.

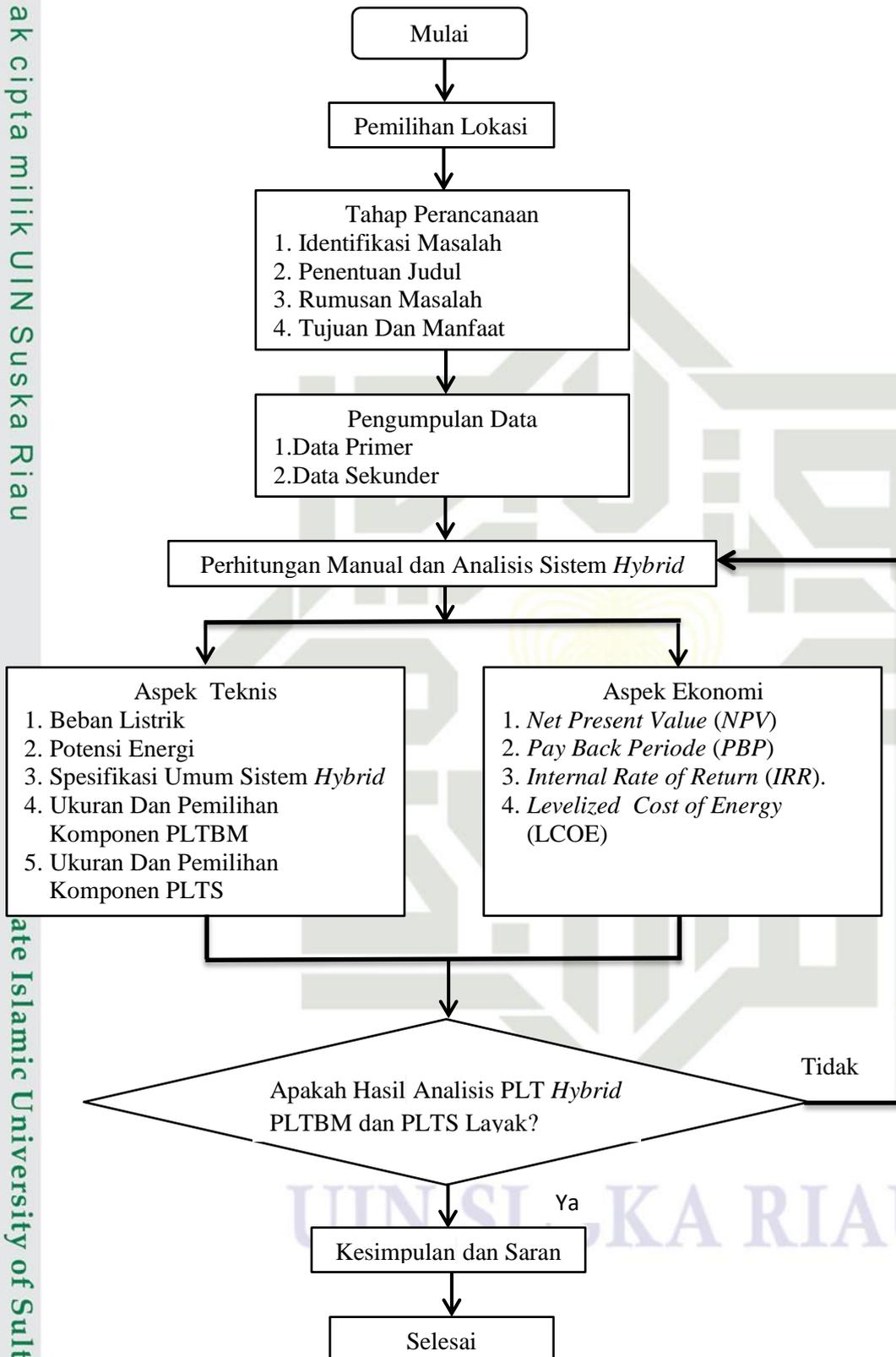
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**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 3.1 Flowcart Tahapan Penelitian

### 3.3 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada Perseroan Terbatas Perkebunan Nusantara V (PTPN V) PKS Sei Pagar di kabupaten Kampar. Alasan pertama pemilihan lokasi ini adalah karena PTPN V PKS Sei Pagar dalam melaksanakan unit kerjanya memanfaatkan listrik sendiri yang berasal dari boiler dan genset. Alasan kedua unit pembangkit listrik genset masih memanfaatkan energi fosil yaitu diesel. Alasan ketiga adalah adanya ketergantungan PKS pada generator diesel saat terjadi kerusakan boiler di PKS. Alasan terakhir adalah potensi energi surya dan biomassa berdasarkan data yang didapat di PTPN V PKS Sei Pagar di nilai optimal dan dapat memenuhi kebutuhan listrik di PTPN V PKS Sei Pagar.

### 3.4 Tahap Perencanaan

Tahap perencanaan merupakan sebuah tahapan persiapan agar semua hal teknis yang akan dilaksanakan pada penelitian dapat berjalan sesuai dasar dan ketentuan yang berlaku dalam pedoman standar yang digunakan. Adapun perencanaan yang disusun adalah sebagai berikut:

#### a. Identifikasi Masalah

Permasalahan yang akan diangkat pada penelitian ini diawali dengan terjadinya krisis energi di Indonesia dan di PTPN V PKS Sei Pagar dalam melaksanakan aktifitas masih memanfaatkan teknologi generator diesel dalam melaksanakan unit kerjanya. Sedangkan disisi lain potensi energi listrik surya dan biomassa yang terdapat di PTPN V PKS Sei Pagar di nilai bagus dan dapat memenuhi kebutuhan listrik di PTPN V PKS Sei Pagar. Namun permasalahan teknis dan ekonomi untuk pembangunan PLTH di PTPN V PKS Sei Pagar timbul ketika perusahaan ingin membangun PLTH.

#### b. Penentuan Judul

Pada tahap ini judul yang diangkat berdasarkan permasalahan dan kerangka pemikiran penulis untuk sebuah solusi dari permasalahan tersebut. Judul pada penelitian ini yaitu **“Analisis Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) PLTBM Dan PLTS Di PTPN V PKS Sei Pagar”**.

#### c. Rumusan Masalah

Ada berapa hal yang menjadi pertanyaan dalam melaksanakan penelitian ini, dan pertanyaan tersebut akan di jawab dari hasil penelitian seperti Bagaimana banyak potensi listrik energi terbarukan biomassa dan PV yang terdapat di PTPN V PKS Sei

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.

**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.

Pagar, analisa teknik atau komponen komponen yang di butuhkan untuk Pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) biomassa dan PV di PTPN V PKS Sei Pagar.

**d. Tujuan dan Manfaat**

Tujuan dan manfaat yang akan dicapai yang berhubungan dengan identifikasi masalah yang telah di tentukan. Tujuan yang ingin dicapai adalah mengetahui secara teknis dan ekonomi untuk pembangunan PLTH biomassa dan PV di PTPN V PKS Sei Pagar. Sedangkan manfaat peneliti ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada bidang sistem tenaga listrik, Dapat menjadi sumber pedoman Perancangan Pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) biomassa dan PV di PTPN V PKS Sei Pagar serta dapat Memperluas wawasan dan pengetahuan mengenai Pembangkit tenaga listrik *hybrid* (PLTH) biomassa dan fotovoltaiik dan pemanfaatannya.

**3.5 Pengumpulan Data**

Pada penelitian ini dilakukan pengumpulan data sebagai nilai masukan pada perencanaan pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) PLTBM dan PLTS secara manual. Beberapa data yang digunakan sebagai berikut:

1. Data Primer

Tabel 3.1 Data Primer yang dibutuhkan dan Sumber Data

No	Data yang Dibutuhkan	Sumber Data
1.	Sumber energi listrik saat ini, kapasitas terpasang, lama operasional, dan permasalahan energi listrik saat ini.	Wawancara kepada kepala bagian teknisi di PTPN V PKS Sei yang menjadi objek penelitian.
2.	Opini perusahaan terkait implementasi PLTBM dan PLTS	Wawancara kepada kepala bagian limbah di PTPN V PKS Sei yang menjadi objek penelitian.

2. Data Sekunder

Tabel 3.2 Data Sekunder yang dibutuhkan dan Sumber Data

No.	Data yang Dibutuhkan	Sumber Data
1.	Titik koordinat lokasi penelitian	Google Earth <sup>®</sup>
2.	Potensi energi surya dan temperatur	<i>Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER)</i> milik <i>National Aeronautics And Space Administration (NASA)</i>

Tabel 3.2 data sekunder yang dibutuhkan dan sumber data (Lanjutan)

No.	Data yang Dibutuhkan	Sumber Data
3.	Data operasi: operasional pabrik, TBS olah tahunan, limbah biomassa, dan konsumsi energi listrik.	<i>Book report</i> PTPN V PKS Sei Pagar
4.	Harga dan spesifikasi komponen	<i>Marketplace</i>

### 3.6 Perhitungan Manual Dan Analisis Sistem *Hybrid*

Pada tahap ini dilakukan perhitungan manual dan menganalisis sistem pembangkit *hybrid* berupa aspek teknis dan ekonomi.

#### 3.6.1 Aspek Teknis

Aspek teknis adalah tinjauan investasi dari sudut pandang teknis. Analisis Aspek teknis secara rinci dilaksanakan lebih detail dan aktual untuk pemasangan PLTH. Tujuan analisis aspek teknis adalah agar proyek yang akan dibangun diharapkan memenuhi aspek teknis sehingga akan memudahkan baik dari segi perencanaan maupun operasional dan pemeliharannya nanti. Adapun beberapa parameter aspek teknis yang dihitung dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga *hybrid* PLTBM dan PLTS pada penelitian ini sebagai berikut:

##### 3.6.1.1 Profil Beban Listrik

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data pembacaan kWh konsumsi energi listrik saat proses pengolahan di pabrik, kantor, penerangan, dan perumahan karyawan. Tujuan dari pembuatan profil beban listrik adalah untuk mendapatkan konsumsi total beban yang digunakan di PTPN V PKS Sei Pagar untuk menentukan kapasitas PLTBM, PLTS, *inverter* dan baterai yang akan dibutuhkan. Berikut tahap pembuatan profil beban listrik di PTPN V PKS Sei Pagar :

##### a. Pembuatan Profil Beban

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data daya yang disusun dengan cara estimasi beban harian berdasarkan data skunder yang di peroleh, kedalam tabulasi untuk mengetahui beban total yang digunakan oleh PTPN V PKS Sei Pagar.

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.

© 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.

Pembuatan Estimasi Pro fil Beban pada Tahun 2024

Pada tahap ini dilakukan perkiraan profil beban pada tahun implementasi proyek (2024), dengan menggunakan persamaan dan pendistribusian kebutuhan daya per jam berdasarkan persentase hasil profil beban.

### 3.6.1.2 Potensi Energi

Studi potensi energi pada penelitian yaitu sebagai berikut:

#### 1. Data Potensi Limbah Padat Biomassa

Data limbah ini termasuk data primer yaitu di peroleh langsung dari laporan lingkungan yang terdapat di PTPN V PKS Sei Pagar. Data limbah ini berupa limbah padat kelapa sawit yaitu cangkang dan *fiber*.

#### 2. Data Potensi Radiasi Matahari

Data potensi radiasi matahari termasuk data skunder yaitu diperoleh dari *Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER)* milik *National Aeronautics And Space Administration (NASA)*. Data yang diakses pada POWER yaitu data radiasi matahari ( $\text{kWh/m}^2/\text{hari}$ ) dan data clearing indeks. Data radiasi matahari diperoleh dengan memasukkan koordinat lokasi yang didapat dari Google Earth<sup>®</sup>.

### 3.6.1.3 Spesifikasi Umum Pembangkit Listrik Hybrid

Dalam menentukan spesifikasi umum pembangkit yang akan digunakan, berdasarkan standar AS/NZS 4509.2:2010 tentang *standalone power system* perlu menentukan beberapa hal berikut:

- a. Efisiensi *inverter* yang digunakan.
- b. Design load energy.
- c. Menentukan tegangan busi DC.
- d. Menentukani sudut kemiringan *solar PV*.
- e. Menentukan konfigurasi sistem yang akan digunakan.

Tujuan dari tahap ini adalah agar menghasilkan sebuah sistem pembangkit listrik yang sesuai dengan standar AS/NZS 4509.2:2010.

### 3.6.1.4 Ukuran dan Pemilihan Komponen PLTBM dan PLTS

Menentukan ukuran dan pemilihan komponen *photovoltaic* pada tahap ini adalah, melakukan perhitungan secara teoritis yang sesuai dengan Australian/New Zealand Standard AS/NZS 4509.2:2010 tentang *Stand Alone*. Perhitungan ukuran pembangkit

Listrik surya di tentukan oleh beban puncak listrik serta potensi surya. Sedangkan Menentukan ukuran pembangkit listrik biomassa ditentukan oleh jumlah potensi limbah biomassa.

Ketika ukuran PLTH telah diketahui, maka selanjutnya adalah menentukan komponen yang dibutuhkan dalam pembuatan PLTH. Komponen-komponen tersebut terdiri dari komponen utama dan komponen pendukung. komponen utama yaitu seperti :

1. *Photovoltaic*: Pemilihan spesifikasi umum sistem, *sizing* dan pemilihan panel atau modul surya, *sizing* dan pemilihan inverter, *sizing* dan pemilihan baterai.
2. Biomassa : Pemilihan komponen boiler, turbine-generator, dan pompa.
3. komponen pendukung seperti kabel, isolator, kWh meter, terminal box, dan lainnya.

Ukuran dan pemilihan komponen PLTBM dan PLTS dibahas pada sub bab 2.14.

### 3.6.2 Aspek Ekonomi

Analisa ekonomi secara rinci dilaksanakan lebih detail dan aktual untuk aspek finansial PLTH. Perhitungan manual analisis ekonomi bertujuan untuk mengetahui apakah proyek yang akan dibangun memang memberikan manfaat yang lebih besar daripada biaya yang akan dikeluarkan atau sebaliknya, sehingga dapat diketahui layak atau tidaknya proyek yang akan dijalankan dari segi ekonominya.

#### 3.6.2.1 Menghitung Biaya Investasi Komponen

Seluruh kebutuhan mulai dari biaya perancangan, pembelian komponen, pembangunan/pemasangan dan perawatan sistem PLTH dihitung untuk mengetahui jumlah seluruh biaya total investasi sistem PLTH. Menghitung biaya investasi komponen dibahas pada sub bab (2.15)

#### 3.6.2.2 Menghitung *Cash Flow Benefit (CFB)*

*Cash Flow Benefit* merupakan analisis yang digunakan untuk mengetahui besaran keuntungan serta kelayakan suatu proyek. Dalam perhitungannya, analisa ini memperhitungkan manfaat yang akan diperoleh dari pelaksanaan pembangunan PLTH. dapat menggunakan persamaan (2.24)

#### 3.6.2.3 Menghitung *Cash Flow Cost (CFC)*

*Cash Flow Benefit* merupakan analisa yang digunakan untuk mengetahui besaran kerugian kelayakan suatu proyek. Dalam perhitungannya, analisa ini memperhitungkan

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.



### 3.8 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan merupakan rangkuman mengenai penelitian yang telah dilakukan dan sesuai dengan yang hendak dicapai. Saran merupakan suatu masukan yang bersifat membangun untuk menjadi acuan dan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.

#### Hak Cipta Diindungi 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.



UIN SUSKA RIAU

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jurnal Energi edisi 2, Program Strategis EBTKE dan Ketenaga listrikan, Jakarta : Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2016.
- [2] Lacrosse L. *Clean and Efficient Biomass Cogeneration Technology in ASEAN, COGEN 3 Seminar on "Business Prospects In Southeast Asia For European Cogeneration Equipment"*. Krakow, Poland. 2004.
- [3] Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2017. Jakarta : Badan Pusat Statistik, 2018.
- [4] PTPN V, "Profil Visi Dan Misi PTPN V" [Online]. Available: <https://ptpn5.com/profil-visi-dan-misi/>. [Accessed: 13 Oktober 2020]
- [5] NASA, "*Prediction of Worlwide Energy Resource*" 2010. [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Accessed: 17 Oktober 2020]
- [6] Sinaga D. H., Wijaya F. D., Haryono T. *Desain Sistem Pembangkit Listrik Hibrida Biomassa - Pv Untuk Elektrifikasi Pedesaan Di Desa Paluh Kurau Sumatera Utara*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. 2016.
- [7] Napitupulu G. R., Warman E. *Studi Kelayakan Ekonomis Pltu Berbahan Bakar Fiber Dan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Domestic Power*. Dte Ft Usu. Vol.11 No.30 : 53-58. 2015.
- [8] Sinaga L., Hermawan, Nugroho A. *Optimasi sistem pembangkit listrik hibrida tenaga surya, angin, biomassa, dan diesel di pulau nyamuk karimunjawa jawa tengah dengan menggunakan perangkat lunak homer*. Transient VOL.4 NO. 4. 2015
- [9] Duka E. T. A., Setiawan I. N., Weking A. I. *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid Pada Area Parkir Gedung Dinas Cipta Karya, Dinas Bina Marga Dan Pengairan Kabupaten Badung*. E-Journal spektrum Vol. 5, No. 2. Bandung. 2018.
- [10] Hariansyah M. *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Rumah Tangga Kapasitas 500 W, 220 V*. Jurnal sains dan teknologi elektro, 2(1) : 1-44 . 2009.
- [11] Banartama Z. A., Windarto J. *Sistem Tenaga Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) Yang Dibuat Di Kedubes Austrian*. Jurnal Universitas Diponegoro. Semarang.
- [12] The Japan Institute Of Energy. *Panduan Untuk Produksi Dan Pemanfaatan Biomassa*. Kementrian Pertanian Kehutanan Perikanan. Jepang. 2008.
- [13] Nur S. M., J. Jusuf. *Biomassa Bahan Baku & Teknologi Konversi Untuk Energi Terbarukan*. Sangatta dan Bogor : PT. Insan Fajar Mandiri Nusantara. 2014.

- © Hak Cipta milik UIN Suska Riau
- State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
- [14] Demirbas, A. *Biomass Resources Facilities And Biomass Conversion Processing For Fuels And Chemicals*. *Energy Conversion And Management* 42: 1357-1378. 2001.
  - [15] Dinata T. A., Junaidi, Kurniwan E. *Studi Pemanfaatan Biomassa Limbah Padat Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Untuk Pembangkit Energi Listrik*. Pontianak. 2019
  - [16] Demirbas, A *Current Technologies For The Thermo-Conversion Of Biomass Into Fuels And Chemicals*, *Energy Sources*, 26:8, 715-730. 2004.
  - [17] "Siklus Rankine Pada Pembangkit Listrik," 2020. [Online]. Available: <http://www.etsword.id/2019/03/siklus-ranline-pada-pembangkit-listrik.html> [Accessed: 31 Mei 2020].
  - [18] Sinaga D. Z. Analisis Perbandingan Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Dengan Metode *Direct Combustion* Dan *Gasification* Studi Kasus Ptpn Kebun Sei Daun. *Jurnal Universitas Sumatra Utara*. 2019.
  - [19] Bachtiar M. Prosedur Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Perumahan (*Solar Home Systemi*). *Jurnal Smartek*, Vol. 4, No. 3 : 176 – 182. 2006.
  - [20] Harijono D. Pengantar Ringkas Sistem Listrik Tenaga Surya. ITB; Bandung. 2001.
  - [21] Syahrizal J., Yandri, Hiendro A. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbantuan Program *Calculationsolar*. Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. 2019.
  - [22] *Australian/New Zealand Standard TM 4509.2 Stand-alone power systems-Part 2: System design*. Sydney: SAI Global Limited, 2010.
  - [23] Gunawan. Analisis Teknis Dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Skala Rumah Tangga Dari Sampah Organik. Universitas UIN SUSKA Riau. 2020.
  - [24] Jahangir M. H., Cheraghi R. *Economic and environmental assessment of solar-wind-biomass hybrid renewable energy system supplying rural settlement load*. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 42 (2020) 100895
  - [25] Eteiba M.B., Barakat S., Samy M.M., Wahba W. I. *Optimization of an Off-Grid PV/Biomass Hybrid System with Different Battery Technologies*. Mesir. 2018.
  - [26] "Lokasi PTPN V PKS Sei Pagar" 2021. [Online]. Available : <https://Earth.Google.Com/Web/Search/PTPN+V+Kebun+Dan+PKS+Sei+Pagar,+Hang+Tuah,+Kabupaten+Kampar,+Riau/>. [Accessed: 23 Juni 2021]

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.

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.

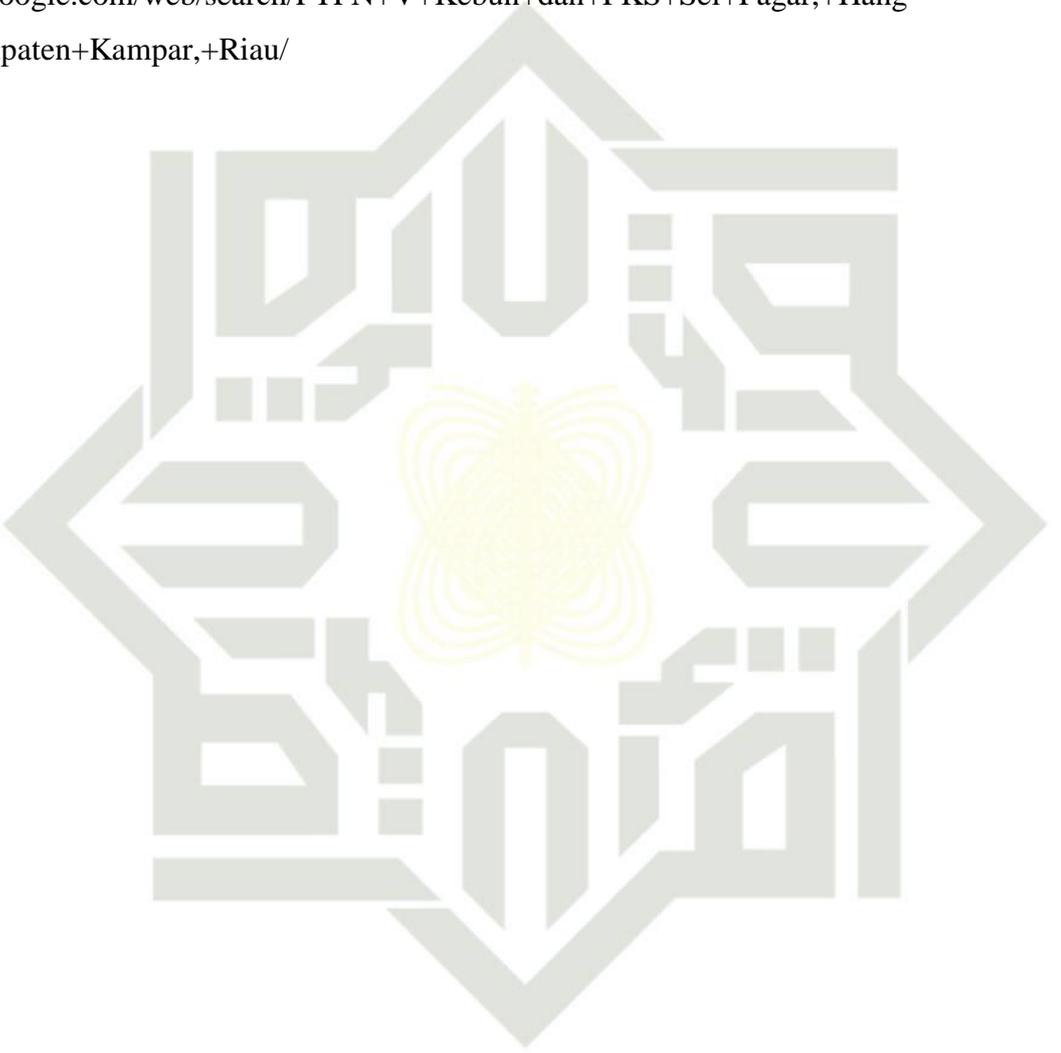
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- [27] Parinduri L., Arfah M., Sahputra J. Analisa persediaan limbah kering pabrik kelapa sawit sebagai bahan bakar pembangkit listrik PTPN IV kebun Adolina. Universitas Islam Sumatera Utara. 2019.
- [28] “Nilai Tukar Dolar 2024,” 2021. [Online]. <https://www.jawapos.com/ekonomi/finance/01/06/2021/proyeksi-kurs-rupiah-hingga-2025-menkeu-bisa-sampai-15-000-per-usd/>. [Accessed: 23 Juni 2021]
- [29] “Modul PV *Canadian Solar Inc*,” 2021. [Online]. Available : [https://www.alibaba.com/product-detail/Jingsun-High-quality-solar-panel-330w\\_1600148534717.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Jingsun-High-quality-solar-panel-330w_1600148534717.html) [Accessed: 23 Juni 2021]
- [30] “Trojan Sind 02 1990 Solar Industrial Flooded 2v 1990ah Battery,” 2021. [Online]. <https://www.solaris-shop.com/Trojan-Sind-02-1990-Solar-Industrial-Flooded-2v-1990ah-Battery/>. [Accessed: 23 Juni 2021].
- [31] “*Inverter Bidirectional NB480-500KDZ*” 2021. [Online]. <https://m.alibaba.com/amp/product/60510868242.html>. [Accessed: 23 Juni 2021].
- [32] “Penyanggah PV,” 2021. [Online]. <https://m.alibaba.com/product/60525970504/Solar-panel-stand-aluminum-racking-system.html>. [Accessed: 23 Juni 2021].
- [33] “*Power Cabel Dan Combiner Box*,” 2021. [Online] <https://m.alibaba.com/product/62581831777/250A-350A-1000V-1500V-DC-24.html>. [Accessed: 23 Juni 2021].
- [34] “Sistem Proteksi,”. [Online] <https://m.alibaba.com/product/1913085491/full-protection-5-5KW-500KW-11kv.html>. [Accessed: 23 Juni 2021].
- [35] Putra S., Rangkuti CH. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Secara Mandiri Untuk Rumah Tinggal. Universitas Trisakti. 2016.
- [36] Global Sustainable Energy Solutions [GSES], *Grid-connected PV System Design and Installation*, 8th ed. Alexandria NSW: GSES, 2016.
- [37] “Suku Bunga Dan Inflasi Tahun 2024,” 2021. [Online]. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20200701183758-4-169540/Ini-Dia-Gambaran-Ekonomi-Ri-2020-2024-Dan-Postur-Makro-Apbn>. [Accessed: 24 Juni 2021].

- [38] "Harga Solar Non-Subsidi," 2021. [Online].<https://www.pertamina.com/id/news-room/announcement/Daftar-Harga-BBK-Tmt-01-Januari-2021>. [Accessed: 24 Juni 2021].
- [39] Purwanto I. *Solar Cell(Photovoltaic/PV) Solusi Menuju Pulau Mandiri Listrik*. Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti. 2020. <https://earth.google.com/web/search/PTPN+V+Kebun+dan+PKS+Sei+Pagar,+Hang+Tuah,+Kabupaten+Kampar,+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.



UIN SUSKA RIAU

## LAMPIRAN A

### Surat Izin Penelitian



Sei Galuh, 20 Maret 2019

Nomor : 5.DSGH/X/ 36/III/2019  
Lampiran : -

Kepada Yth :  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau  
Di - Tempat

Hal : Penelitian dan Pengambilan Data

Dengan hormat,

Menghunjuk surat Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau nomor : Un.04/F.V/PP.00.9/2502/2019, tanggal 1 Maret 2019 tentang hal tersebut diatas kepada Mahasiswa :

Nama : Irma Hilda Yanti  
No.Mhs : 11455205180  
Program Studi: Teknik Elektro

dengan ini disampaikan sebagai berikut :

1. Pada prinsipnya kami dapat menyetujui Mahasiswa tersebut melakukan Penelitian dan Pengambilan Data di PKS Sei Pagar periode **25 Maret s/d 25 April 2019**
2. Data-data yang diperoleh hanya dapat dipergunakan untuk kepentingan ilmiah pada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dan dapat menjaga kerahasiaannya.
3. Segala biaya yang timbul selama melakukan Penelitian dan Pengambilan Data ditanggung sendiri oleh Mahasiswa yang bersangkutan.
4. Jika pada saat melakukan Penelitian dan Pengambilan Data, terjadi kecelakaan terhadap Mahasiswa yang bersangkutan didalam maupun diluar wilayah kerja PKS Sei Pagar, maka tidak menjadi tanggung jawab manajemen terkait.
5. Pada saat melakukan Penelitian dan Pengambilan Data wajib mengikuti semua peraturan maupun ketentuan yang berlaku di PKS Sei Pagar serta wajib menjaga ketertiban dan keamanan.
6. Setelah selesai melakukan Penelitian dan Pengambilan Data, wajib memberikan laporan tertulis kepada Distrik Sei Galuh dan PKS Sei Pagar.

Demikian disampaikan agar maklum.

Distrik Sei Galuh  
  
**Zulfikar Rambe**  
General Manager

Tembusan : 5.SDM  
: 5.PSPA  
: Arsip

## LAMPIRAN B

### Total Konsumsi Energi Listrik Bulanan di PTPN V PKS Sei Pagar

No.	Bulan	Konsumsi Energi Listrik Kwh		
		2017	2018	2019
1	Januari	168.518	171.012	170.561
2	Februari	175.222	175.528	179.128
3	Maret	180.612	200.151	197.185
4	April	195.461	186.245	189.219
5	Mei	188.126	179.857	190.156
6	Juni	172.111	181.218	175.224
7	Juli	185.218	199.010	208.832
8	Agustus	186.522	196.120	192.920
9	September	196.465	201.000	197.143
10	Oktober	182.973	196.000	198.448
11	November	173.897	182.518	202.541
12	Desember	166.620	177.254	160.172
<b>Total</b>		<b>2.171,745</b>	<b>2.238.913</b>	<b>2.261.529</b>

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

## LAMPIRAN C

### C.1 Estimasi Konsumsi Energi Listrik Harian Perumahan di PTPN V PKS Sei Pagar pada Tahun 2024

Konsumsi energi listrik harian perumahan di estimasikan 70% dari total konsumsi energi listrik harian unit beban Domestik/Perumahan yaitu sebesar 396,2 kWh.

Tabel C.1 Total Konsumsi Energi Listrik Harian Perumahan

Pukul	Beban (kW)	% dari total beban
00:00 – 01:00	15,69	3.96
01:00 – 02:00	14,98	3.78
02:00 – 03:00	14,38	3.63
03:00 – 04:00	13,9	3.5
04:00 – 05:00	13,47	3.4
05:00 – 06:00	14,85	3.75
06:00 – 07:00	16,24	4.1
07:00 – 08:00	13,66	3.45
08:00 – 09:00	13,8	3.48
09:00 – 10:00	14,85	3.75
10:00 – 11:00	15,14	3.82
11:00 – 12:00	15,85	4
12:00 – 13:00	16,24	4.1
13:00 – 14:00	16,24	4.1
14:00 – 15:00	15,3	3.86
15:00 – 16:00	15,53	3.92
16:00 – 17:00	15,53	3.92
17:00 – 18:00	14,86	3.75
18:00 – 19:00	16,64	4.2
19:00 – 20:00	23,5	5.93
20:00 – 21:00	24,08	6.08
21:00 – 22:00	22,7	5.73
22:00 – 23:00	20,68	5.22
23:00 - 00:00	18,1	4.57

Hak Cipta © UIN Suska Riau

© HAKSISTA MILIK UIN Suska Riau  
State Islamic University of Sultan Sya 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. Diizinkan 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.

## C.2 Estimasi Konsumsi Energi Listrik Harian Perkantor di PTPN V PKS Sei Pagar pada Tahun 2024

Konsumsi energi listrik harian perkantoran di estimasikan 30% dari total konsumsi energi listrik harian unit beban Domestik/Perumahan yaitu sebesar 169,8 kWh. Jam operasi kantor di PTPN V PKS Sei Pagar adalah dari jam 06.30-16.00.

Tabel C.2 Total Konsumsi Energi Listrik Harian Perkantoran

Pukul	Beban (kW)	% dari total beban
06:00 – 07:00	8,49	5
07:00 – 08:00	17,6	10,37
08:00 – 09:00	19,4	11,4
09:00 – 10:00	19,3	11,37
10:00 – 11:00	19,3	11,37
11:00 – 12:00	17,6	10,37
12:00 – 13:00	11,88	7
13:00 – 14:00	19,39	11,42
14:00 – 15:00	19,3	11,37
15:00 – 16:00	17,54	10,33

## C.3 Estimasi Total Konsumsi Energi Listrik Harian di PTPN V PKS Sei Pagar pada Tahun 2024

Total Konsumsi energi listrik harian terdiri dari 7,5% domestik/perumahan, 0,5 % instalasi air, 0,3% bengkel instalasi pengolahan, 6,9% laboratorium, 0,15 % *incenerator*, 0,75% *effluent treatment*, 4,4 % penerangan listrik umum, 0,4% pompa land application dan 79,1% pengolahan. Jam operasi untuk instalasi air, laboratorium, *incenerator*, *effluent treatment*, pompa land application dan pengolahan beroperasi selama 24 jam. Bengkel instalasi pengolahan beroperasi selama jam kantor yaitu pukul 06.30 – 16.00. Sedangkan untuk penerangan umum beroperasi selama 12 jam.

3 Total Konsumsi Energi Listrik Harian

Pukul	Beban (kW)	% dari total beban
00:00 – 01:00	319,136	4,234
01:00 – 02:00	318,426	4,189
02:00 – 03:00	317,826	4,215
03:00 – 04:00	317,346	4,209
04:00 – 05:00	316,917	4,204
05:00 – 06:00	318,297	4,223
06:00 – 07:00	302,771	4,017
07:00 – 08:00	309,301	4,103
08:00 – 09:00	311,241	4,131
09:00 – 10:00	312,191	4,143
10:00 – 11:00	312,481	4,145
11:00 – 12:00	311,491	4,131
12:00 – 13:00	306,161	4,063
13:00 – 14:00	313,671	4,162
14:00 – 15:00	312,641	4,147
15:00 – 16:00	311,111	4,127
16:00 – 17:00	291,31	3,871
17:00 – 18:00	290,64	3,865
18:00 – 19:00	320,087	4,246
19:00 – 20:00	326,947	4,337
20:00 – 21:00	327,527	4,348
21:00 – 22:00	326,147	4,325
22:00 – 23:00	324,127	4,300
23:00 - 00:00	321,547	4,265

Hak Cipta

Indungi Undang-Undang

© 2014

ip ta milik UIN Suska Riau

State Islamic Univer

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

## LAMPIRAN D

**Tabel D.1 Estimasi Peningkatan Konsumsi Bahan Bakar Diesel Per tahun**

Tahun	Bahan Bakar Diesel (Liter/Tahun)	Pertumbuhan (%)
2017	59.430	
2018	60.018	1
2019	60.678	1
Peningkatan Bahan Bakar Diesel Per Tahun (%)		1%

Berdasarkan tabel D.1 Estimasi peningkatan konsumsi Bahan bakar diesel Per tahun, pada tahun 2024 (tahun awal operasi pembangkit) konsumsi Bahan bakar diesel dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_x = P_a(1+r)^5$$

$$P_{2024} = 60.678 (1+1\%)^5$$

$$P_{2024} = 60.678 (1,01)^5$$

$$P_{2024} = 63.712 \text{ Liter/tahun}$$

Jadi konsumsi bahan bakar diesel pada tahun implementasi tahun 2024 adalah 63.712 Liter/tahun.

## LAMPIRAN E

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

### 1. Perhitungan Present Worth Factor (PWF)

$$PWF = \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n$$

#### Present Worth Function Tahun ke-0

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^0 \\ &= 1 \end{aligned}$$

#### 2. Present Worth Function Tahun ke-1

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^1 \\ &= 0,97 \end{aligned}$$

#### 3. Present Worth Function Tahun ke-2

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^2 \\ &= 0,94 \end{aligned}$$

#### 4. Present Worth Function Tahun ke-3

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^3 \\ &= 0,91 \end{aligned}$$

*Present Worth Function Tahun ke-4*

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^4 \\ &= 0,89 \end{aligned}$$

*Present Worth Function Tahun ke-5*

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^5 \\ &= 0,86 \end{aligned}$$

*Present Worth Function Tahun ke-6*

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^6 \\ &= 0,84 \end{aligned}$$

*Present Worth Function Tahun ke-7*

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^7 \\ &= 0,82 \end{aligned}$$

*Present Worth Function Tahun ke-8*

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^8 \\ &= 0,79 \end{aligned}$$

**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 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.

11. *Present Worth Function* Tahun ke-9

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^9 \\ &= 0,77 \end{aligned}$$

12. *Present Worth Function* Tahun ke-10

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^{10} \\ &= 0,75 \end{aligned}$$

13. *Present Worth Function* Tahun ke-11

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^{11} \\ &= 0,73 \end{aligned}$$

14. *Present Worth Function* Tahun ke-12

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^{12} \\ &= 0,71 \end{aligned}$$

15. *Present Worth Function* Tahun ke-13

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^{13} \\ &= 0,69 \end{aligned}$$

Present Worth Function Tahun ke-14

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^{14} \\ &= 0,67 \end{aligned}$$

Present Worth Function Tahun ke-15

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^{15} \\ &= 0,65 \end{aligned}$$

17. Present Worth Function Tahun ke-16

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^{16} \\ &= 0,63 \end{aligned}$$

18. Present Worth Function Tahun ke-17

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^{17} \\ &= 0,61 \end{aligned}$$

19. Present Worth Function Tahun ke-18

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^{18} \\ &= 0,60 \end{aligned}$$

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

1. *Present Worth Function* Tahun ke-19

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^{19} \\ &= 0,58 \end{aligned}$$

1. *Present Worth Function* Tahun ke-20

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+6,5\%}\right)^{20} \\ &= 0,56 \end{aligned}$$

## E.2 Suku Bunga (1+ A) Pada *Cash Flow Benefit* (CFB)

Suku bunga  $(1 + i)^n$

Suku bunga (tahun 1) =  $(1 + 6,5 \%)^1 = 1,065$

Suku bunga (tahun 2) =  $(1 + 6,5 \%)^2 = 1,134$

Suku bunga (tahun 3) =  $(1 + 6,5 \%)^3 = 1,208$

Suku bunga (tahun 4) =  $(1 + 6,5 \%)^4 = 1,286$

Suku bunga (tahun 5) =  $(1 + 6,5 \%)^5 = 1,370$

Suku bunga (tahun 6) =  $(1 + 6,5 \%)^6 = 1,459$

Suku bunga (tahun 7) =  $(1 + 6,5 \%)^7 = 1,554$

Suku bunga (tahun 8) =  $(1 + 6,5 \%)^8 = 1,655$

Suku bunga (tahun 9) =  $(1 + 6,5 \%)^9 = 1,763$

Suku bunga (tahun 10) =  $(1 + 6,5 \%)^{10} = 1,877$

Suku bunga (tahun 11) =  $(1 + 6,5 \%)^{11} = 1,999$

Suku bunga (tahun 12) =  $(1 + 6,5 \%)^{12} = 2,129$

- 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.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - 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.
- Suku bunga (tahun 13) =  $(1 + 6,5 \%)^{13} = 2,267$   
 Suku bunga (tahun 14) =  $(1 + 6,5 \%)^{14} = 2,415$   
 Suku bunga (tahun 15) =  $(1 + 6,5 \%)^{15} = 2,572$   
 Suku bunga (tahun 16) =  $(1 + 6,5 \%)^{16} = 2,739$   
 Suku bunga (tahun 17) =  $(1 + 6,5 \%)^{17} = 2,917$   
 Suku bunga (tahun 18) =  $(1 + 6,5 \%)^{18} = 3,107$   
 Suku bunga (tahun 19) =  $(1 + 6,5 \%)^{19} = 3,309$   
 Suku bunga (tahun 20) =  $(1 + 6,5 \%)^{20} = 3,524$

### E.3 PWF Tingkat Bunga Ke Dua (Perhitungan IRR)

- Present Worth Function* Tahun ke-0

$$\begin{aligned} \text{PWF} &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^0 \\ &= 1 \end{aligned}$$

- Present Worth Function* Tahun ke-1

$$\begin{aligned} \text{PWF} &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^1 \\ &= 0,87 \end{aligned}$$

- Present Worth Function* Tahun ke-2

$$\begin{aligned} \text{PWF} &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^2 \\ &= 0,76 \end{aligned}$$

- 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 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.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

*Present Worth Function Tahun ke-3*

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^3 \\ &= 0,67 \end{aligned}$$

*Present Worth Function Tahun ke-4*

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^4 \\ &= 0,59 \end{aligned}$$

6. *Present Worth Function Tahun ke-5*

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^5 \\ &= 0,51 \end{aligned}$$

7. *Present Worth Function Tahun ke-6*

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^6 \\ &= 0,45 \end{aligned}$$

8. *Present Worth Function Tahun ke-7*

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^7 \\ &= 0,39 \end{aligned}$$

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

*Present Worth Function Tahun ke-8*

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^8 \\ &= 0,35 \end{aligned}$$

*Present Worth Function Tahun ke-9*

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^9 \\ &= 0,30 \end{aligned}$$

11. *Present Worth Function Tahun ke-10*

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^{10} \\ &= 0,26 \end{aligned}$$

12. *Present Worth Function Tahun ke-11*

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^{11} \\ &= 0,23 \end{aligned}$$

13. *Present Worth Function Tahun ke-12*

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^{12} \\ &= 0,20 \end{aligned}$$

15. *Present Worth Function* Tahun ke-13

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^{13} \\ &= 0,18 \end{aligned}$$

16. *Present Worth Function* Tahun ke-14

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^{14} \\ &= 0,15 \end{aligned}$$

17. *Present Worth Function* Tahun ke-15

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^{15} \\ &= 0,14 \end{aligned}$$

18. *Present Worth Function* Tahun ke-16

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^{16} \\ &= 0,12 \end{aligned}$$

19. *Present Worth Function* Tahun ke-17

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^{17} \\ &= 0,10 \end{aligned}$$

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

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

20. *Present Worth Function* Tahun ke-18

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^{18} \\ &= 0,09 \end{aligned}$$

21. *Present Worth Function* Tahun ke-19

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^{19} \\ &= 0,08 \end{aligned}$$

21. *Present Worth Function* Tahun ke-20

$$\begin{aligned} PWF &= \left(\frac{1+a}{1+i}\right)^n \\ &= \left(\frac{1+3,5\%}{1+18\%}\right)^{20} \\ &= 0,07 \end{aligned}$$

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 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.

## LAMPIRAN F

### Perhitungan *Capital Recovery Factor* (CRF)

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

#### *Capital Recovery Factor* Tahun ke-1

$$\begin{aligned} CRF &= \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \\ &= \frac{6,5\%(1+6,5\%)^1}{(1+6,5\%)^1 - 1} \\ &= 1,065 \end{aligned}$$

#### *Capital Recovery Factor* Tahun ke-2

$$\begin{aligned} CRF &= \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \\ &= \frac{6,5\%(1+6,5\%)^2}{(1+6,5\%)^2 - 1} \\ &= 0,55 \end{aligned}$$

#### *Capital Recovery Factor* Tahun ke-3

$$\begin{aligned} CRF &= \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \\ &= \frac{6,5\%(1+6,5\%)^3}{(1+6,5\%)^3 - 1} \\ &= 0,337 \end{aligned}$$

#### *Capital Recovery Factor* Tahun ke-4

$$\begin{aligned} CRF &= \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \\ &= \frac{6,5\%(1+6,5\%)^4}{(1+6,5\%)^4 - 1} \\ &= 0,292 \end{aligned}$$

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.

**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.

*Capital Recovery Factor* Tahun ke-5

$$\begin{aligned} \text{CRF} &= \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \\ &= \frac{6,5\%(1+6,5\%)^5}{(1+6,5\%)^5 - 1} \\ &= 0,240 \end{aligned}$$

*Capital Recovery Factor* Tahun ke-6

$$\begin{aligned} \text{CRF} &= \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \\ &= \frac{6,5\%(1+6,5\%)^6}{(1+6,5\%)^6 - 1} \\ &= 0,206 \end{aligned}$$

7. *Capital Recovery Factor* Tahun ke-7

$$\begin{aligned} \text{CRF} &= \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \\ &= \frac{6,5\%(1+6,5\%)^7}{(1+6,5\%)^7 - 1} \\ &= 0,182 \end{aligned}$$

8. *Capital Recovery Factor* Tahun ke-8

$$\begin{aligned} \text{CRF} &= \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \\ &= \frac{6,5\%(1+6,5\%)^8}{(1+6,5\%)^8 - 1} \\ &= 0,164 \end{aligned}$$

9. *Capital Recovery Factor* Tahun ke-9

$$\begin{aligned} \text{CRF} &= \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \\ &= \frac{6,5\%(1+6,5\%)^9}{(1+6,5\%)^9 - 1} \end{aligned}$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

10.

*Capital Recovery Factor* Tahun ke-10

$$= 0,150$$

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

$$= \frac{6,5\%(1+6,5\%)^{10}}{(1+6,5\%)^{10} - 1}$$

$$= 0,139$$

11.

*Capital Recovery Factor* Tahun ke-11

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

$$= \frac{6,5\%(1+6,5\%)^{11}}{(1+6,5\%)^{11} - 1}$$

$$= 0,130$$

12.

*Capital Recovery Factor* Tahun ke-12

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

$$= \frac{6,5\%(1+6,5\%)^{12}}{(1+6,5\%)^{12} - 1}$$

$$= 0,122$$

13.

*Capital Recovery Factor* Tahun ke-13

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

$$= \frac{6,5\%(1+6,5\%)^{13}}{(1+6,5\%)^{13} - 1}$$

$$= 0,116$$

14.

*Capital Recovery Factor* Tahun ke-14

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

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.

15. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
16. Hak cipta milik UIN Suska Riau
17. State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
18. 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$= \frac{6,5\%(1+6,5\%)^{14}}{(1+6,5\%)^{14}-1}$$

$$= 0,110$$

15. *Capital Recovery Factor* Tahun ke-15

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N-1}$$

$$= \frac{6,5\%(1+6,5\%)^{15}}{(1+6,5\%)^{15}-1}$$

$$= 0,106$$

16. *Capital Recovery Factor* Tahun ke-16

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N-1}$$

$$= \frac{6,5\%(1+6,5\%)^{16}}{(1+6,5\%)^{16}-1}$$

$$= 0,102$$

17. *Capital Recovery Factor* Tahun ke-17

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N-1}$$

$$= \frac{6,5\%(1+6,5\%)^{17}}{(1+6,5\%)^{17}-1}$$

$$= 0,098$$

18. *Capital Recovery Factor* Tahun ke-18

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N-1}$$

$$= \frac{6,5\%(1+6,5\%)^{18}}{(1+6,5\%)^{18}-1}$$

$$= 0,095$$

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

*Capital Recovery Factor* Tahun ke-19

$$\begin{aligned} \text{CRF} &= \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \\ &= \frac{6,5\%(1+6,5\%)^{19}}{(1+6,5\%)^{19} - 1} \\ &= 0,093 \end{aligned}$$

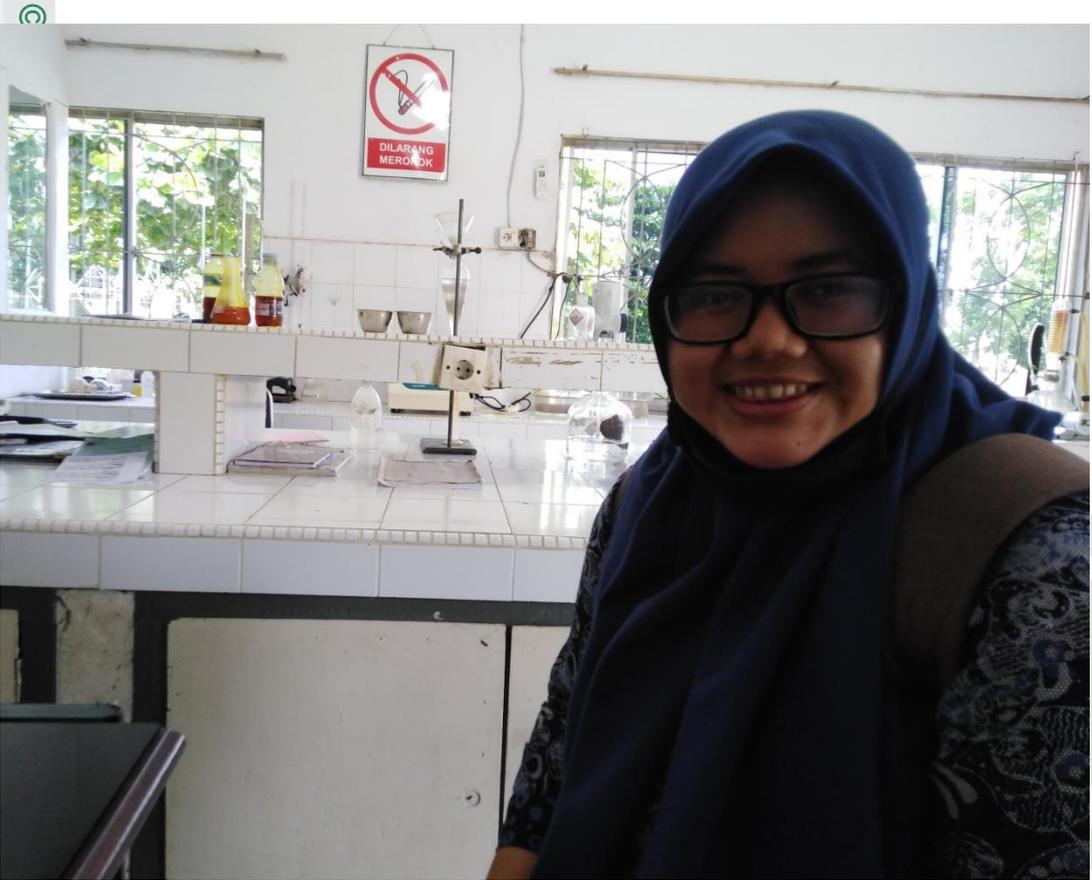
*Capital Recovery Factor* Tahun ke-20

$$\begin{aligned} \text{CRF} &= \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \\ &= \frac{6,5\%(1+6,5\%)^{20}}{(1+6,5\%)^{20} - 1} \\ &= 0,090 \end{aligned}$$

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 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.





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



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

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Irma Hilda Yanti, lahir di Kuok, pada tanggal 03 Januari 1996 adalah anak pertama dari pasangan Zulkifli dan Jusniarty yang beralamat di Jl. Transad, RT002/RW001, Desa Lereng, Kec. Kuok, Kab. Kampar, Prov. Riau.

*Email* : irmahilda031@gmail.com

HP : 0813 7293 2085

Pengalaman Pendidikan yang dilalui dimulai pada tingkat MIN Merangin tahun 2002 – 2008 dan dilanjutkan di SMPN 1 Kuok tahun 2008 – 2011. Pendidikan dilanjutkan di SMAN 2 Kuok Jurusan IPA tahun 2011-2014. Kemudian kuliah di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau pada konsentrasi Energi dan lulus tahun 2021.

Dengan ketekunan, dan motivasi yang tinggi untuk terus belajar dan berusaha, penulis telah berhasil menyelesaikan tugas akhir ini, semoga dengan penulisan tugas akhir ini mampu memberikan manfaat atau kontribusi untuk siapa saja yang membutuhkannya.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas terselesaikannya tugas akhir yang berjudul **“Analisis Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) PLTBM dan PLTS Di PTPN V PKS Sei Pagar**

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.