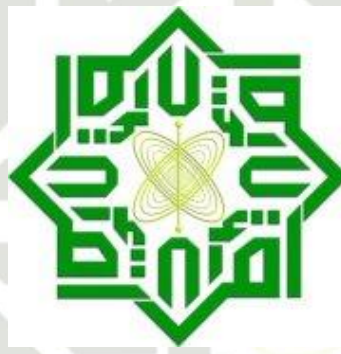


ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID SOLAR PV-BIOGAS OFF GRID SYSTEM*

(Studi Kasus: PT. Tri Bakti Sarimas Kabupaten Kuansing Provinsi Riau)

TUGAS AKHIR

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



UIN SUSKA RIAU

oleh:

R. RESKI EKA PUTRA

11655103545

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU

PEKANBARU

2020

- 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 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.

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA HYBRID SOLAR PV-BIOGAS OFF GRID SYSTEM**
(Studi Kasus: PT. Tri Bakti Sarimas Kabupaten Kuansing Provinsi Riau)

TUGAS AKHIR

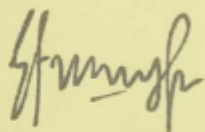
oleh:

R. RESKI EKA PUTRA

11655103545

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 23 Juni 2020

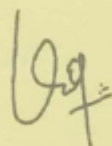
Ketua Program Studi



Ewi Ismareda, S.Kom., M.Kom

NIP. 19750922 200912 2 002

Pembimbing



Susi Afriani, S.T., M.T

NIP. 19820414 201503 2 002

- Hak Cipta Diinaungi Ungaung-ungaung**
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 SOLAR PV-BIOGAS OFF GRID SYSTEM* (Studi Kasus: PT. Tri Bakti Sarimas Kabupaten Kuansing Provinsi Riau)

TUGAS AKHIR



oleh:
R. RESKI EKA PUTRA
11655103545

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 23 Juni 2020

Pekanbaru, 23 Juni 2020

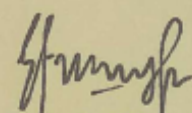
Mengesahkan,

Dekan

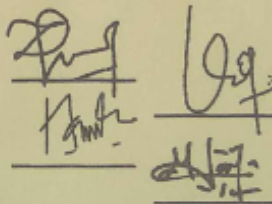
Dr. Ahmad Darmawi, M.Ag
NIP. 19660604 199203 1 004

Ketua Program Studi


Ewi Ismareda, S.Kom., M.Kom
NIP. 19750922 200912 2 002

DEWAN PENGUJI:

Ketua : Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T
Sekretaris : Susi Afriani, S.T., M.T
Anggota I : Nanda Putri Miefthawati, B.Sc., M.Sc
Anggota II : Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc



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 diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan 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 di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

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

Pekanbaru, 23 Juni 2020

Yang membuat pernyataan,

R. RESKI EKA PUTRA
11655103545

UIN SUSKA RIAU

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.

LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

“Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain dan hanya kepada Robbmulah hendaknya kamu berharap”.
(Q.S Al-Insyirah ayat: 7-8)

Alhamdulillahirobbil’alamin....

Terima kasih ku ucapkan kepada mu ya Allah tuhan semesta alam, sujud syukur ku kusembahkan kepada-Mu ya Rabb Tuhan yang Maha Agung nan Maha Tinggi nan Maha Adil nan Maha Penyayang, atas takdir mu telah kau jadikan aku manusia yang senantiasa berfikir, berilmu, beriman dan bersabar dalam menjalani kehidupan ini. Sebuah usaha dengan pemikiran dan keringat telah ku lalui dengan tantangan dan rintangan hebat sehingga saatnya sekarang usaha itu membuahkan hasil berupa desain dan karya tulis yang menghantarkan ku menjadi seorang sarjana. Semua ini hamba persembahkan kepada Allah yang telah menurunkan tanda-tanda qauliyah-Nya dari Al-Quran.

“Bukankah Dia (Allah) yang memperkenankan (do’a) orang yang dalam kesulitan apabila dia berdoa kepada-Nya, dan menghilangkan kesusahan dan menjadikan kamu (manusia) sebagai khalifah (pemimpin) di Bumi? Apakah di samping Allah ada Tuhan (yang lain)? Sedikit sekali (nikmat Allah) yang kamu ingat”.

(Q.S An-Naml ayat: 62)

Teruntuk....

Kedua orang tuaku tercinta, terima kasih atas kesabaran mu selama ini, terima kasih atas do’a, semangat, motivasi, lidah, dan mulut yang tak pernah lelah menasihati ku walau terkadang nasihat itu sering ku acuhkan. Maafkan atas segala hal kecil dan besar yang pernah ananda lakukan sehingga membuat hati Ayah dan Ibu terluka. Terimalah karya kecil ini buah dari hasil pendidikan yang ananda jalani selama masa perkuliahan, sebagai bentuk rasa terima kasihku walau kasih dan sayang mu tak akan pernah bisa tergantikan semoga pahala dan rezeki selalu dilimpahkan oleh Allah SWT kepada Ayah dan Ibu.

“Jangan pernah takut, ragu, malas untuk melakukan sesuatu hal yang benar, karena sesuatu hal yang didasari dengan niat baik maka akan menghasilkan sesuatu yang baik pula. Jangan berputus asa dan lari dari setiap masalah yang datang hadapilah dengan sekuat tenaga dan iringi setiap perjuangan dengan do’a niscaya Allah memberikan jalan yang terbaik”.

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID SOLAR PV-BIOGAS OFF GRID SYSTEM* (Studi Kasus: PT. Tri Bakti Sarimas Kabupaten Kuansing Provinsi Riau)

R. RESKI EKA PUTRA
NIM: 11655103545

Tanggal Sidang: 23 Juni 2020

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

ABSTRAK

Keandalan sistem tenaga listrik sangat diperlukan dalam proses produksi industri kelapa sawit. Selain itu memperoleh sertifikasi *industri berkelanjutan (sustainable)* mampu meningkatkan nilai ekonomi perusahaan. Untuk mencapai kedua tujuan tersebut secara bersamaan, penelitian ini menawarkan solusi dengan pemanfaatan potensi sumber energi terbarukan yang tersedia di sekitar lokasi industri sebagai pembangkit listrik. PT. Tri Bakti Sarimas (TBS) Unit 1 di Kabupaten Kuansing saat ini berupaya mencapai dua tujuan industri tersebut, dengan potensi biogas dari limbah cair kelapa sawit sebesar $8.765,41 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{hari}$, potensi radiasi matahari sebesar $4,70 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$, dan kebutuhan energi listrik sebesar $25.634,17 \text{ kWh/hari}$. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aspek teknis dan keekonomian rencana pembangunan pembangkit listrik tenaga *solar PV-Biogas* di PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1. Adapun metode yang digunakan pada perencanaan pembangkit listrik ini yaitu *hybrid parallel* dengan sistem jaringan *off grid*. Perhitungan manual menunjukkan sistem pembangkit yang optimal terdiri dari digester *anaerob* tipe *cover lagoon* kapasitas $28.934,81 \text{ m}^3$, generator biogas kapasitas 1.560 kW , *PV array* berkapasitas $4.040,22 \text{ kWp}$, *bidirectional inverter* kapasitas 2000 kW , dan 10.125 unit baterai berkapasitas 1.547 Ah . Kemudian dilakukan evaluasi sistem menggunakan *software HOMER Pro* dengan umur proyek 20 tahun, dan diperoleh total produksi energi listrik selama umur proyek mampu menyuplai beban secara kontinu dengan rata-rata kelebihan energi selama umur proyek mencapai $25,23\%$ dari total produksi. Pada analisis ekonomi pembangkit *hybrid* membutuhkan investasi awal (NPC) sebesar $\text{Rp}.233.553.169.589,30$, dengan total emisi CO_2 POME $44.073,75 \text{ ton/tahun}$, maka didapat biaya *Certified Emission Reduction (CER)* sebesar $\text{Rp}.6.611.062.500/\text{tahun}$. Perhitungan kelayakan ekonomi menghasilkan nilai *Net Present Value* sebesar $\text{Rp}.136.266.578.753$, *Payback Period* $13,8$ tahun, dan *Internal Rate of Return* sebesar $9,41\%$. Berdasarkan analisis teknis dan ekonomi hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem pembangkit *hybrid* ini dinilai layak untuk diimplementasikan.

Kata kunci: HOMER Pro, *Off-grid*, PT. TBS, *Solar PV-Biogas*, Teknis-Ekonomi.

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF OFF GRID SOLAR PV/BIOGAS HYBRID POWER GENERATION SYSTEM

(Case Study: PT. Tri Bakti Sarimas Kuansing District Riau Province)

R. RESKI EKA PUTRA

Student Number: 11655103545

Date of Final Exam: on June 23rd, 2020

*Department of Electrical Engineering
Faculty of Science and Technology
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Soebrantas Street, Number.155 Pekanbaru*

ABSTRACT

The reliability of the power system is needed in the production process of the palm oil industry. Besides obtaining sustainable industry certification of ISPO and RSPO can increase the economic value of the company. To achieve these two objectives simultaneously, this research offers a solution by utilizing the potential of renewable energy sources that are available around industrial locations as power plants. PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1 in Kuansing Regency is currently working to achieve these two industrial objectives, with the potential for biogas from palm oil mill effluent of 8,765.41 m³CH₄/day, the potential for solar radiation of 4.70 kWh /m²/day, and electrical energy requirements of 25,634.17 kWh/day. This research is aimed to analyze the technical and economic aspects of the planned development of a solar PV-Biogas power plant at PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1. The method used in this research is hybrid parallel with the off grid network system. In manual calculations showed an optimal generating system consisting of an anaerobic digester with a lagoon capacity of 28,934.81 m³, 1,560kW biogas generator, 4,040.22 kWp PV array, 2000kW bidirectional inverter, and 16,125 units of batteries with capacity of 1,547Ah. Then the system is evaluated using HOMER Pro software with project lifetime of 20 years, and the total electricity production obtained during the life of the project is able to supply loads continuously with an average excess energy during the project life about 25.23% of total production. Meanwhile, in the economic analysis of hybrid power plants require an initial investment (NPC) of Rp.233,553,169,589.30, with total CO₂ emissions of POME 44,073.75 tons/year, then the cost of Certified Emission Reduction (CER) is obtained about Rp.6,611,062,500/year. The calculation of economic feasibility results in a Net Present Value of Rp. 136.266.578.753, Payback Period of 13,8 years, and an Internal Rate of Return of 9,41%. Based on the result of techno-economic analysis in the research, it can be concluded that the hybrid generating system is considered feasible to be implemented.

Keywords: HOMER Pro, Off-grid, Solar PV/Biogas, PT. TBS., Techno-economic.

KATA PENGANTAR



Assalammu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Alhamdulillah Rabbil Alamin, Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT, berkat rahmat dan karunia yang telah dilimpahkan-NYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Solar PV-Biogas off Grid System** (Studi Kasus di PT. Tri Bakti Sarimas Kabupaten Kuansing Provinsi Riau)”. Shalawat beriringan salam penulis hadiahkan kepada junjungan alam Nabi Muhammad SAW yang merupakan suri tauladan bagi kita semua, semoga kita semua termasuk dalam umatnya yang kelak mendapatkan syafa'at 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 terima kasih yang setulus nya kepada pihak-pihak yang terkait berikut:

1. Ayah, Ibu, dan keluarga yang telah mendo'akan serta memberikan dukungan dan motivasi agar penulis selalu sabar dan tawakal dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. H. Akhmad Mujahidin, S.Ag, M.Ag, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Bapak Dr. H. Mas'ud Zein, M.Pd, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif 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, S.T, M.T, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
6. Bapak Ahmad Faizal S.T, M.T, selaku koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan syarif Kasim Riau.
7. Ibu Susi Afriani, S.T, M.T, selaku Dosen pembimbing Tugas Akhir sekaligus pembimbing akademik yang senantiasa telah banyak meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing serta selalu membantu memberikan inspirasi, motivasi, dan kesabaran memberikan arahan maupun kritikan kepada penulis baik dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini maupun dalam proses pendidikan Strata 1 (S1) penulis.
8. Ibu Dr. Zulfatri Aini, S.T, M.T, selaku ketua sidang Tugas Akhir yang telah memberi masukan berupa kritik dan saran demi kesempurnaan Laporan Tugas Akhir ini.

9. Ibu Nanda Putri Miefthawati, B.Sc, M.Sc, selaku Dosen penguji I yang telah memberi masukan berupa kritik dan saran demi kesempurnaan Laporan Tugas Akhir ini.
10. Ibu Marhamah Jelita, S.Pd., M.Sc, selaku Dosen penguji II yang telah memberi masukan berupa kritik dan saran demi kesempurnaan Laporan Tugas Akhir ini.
11. Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah memberikan ilmu dan motivasi yang sangat bermanfaat, terkhusus untuk Bapak Aulia Ullah, S.T, M.Eng, dan Ibu Novi Gusnita S.T, M.T.
12. Pimpinan, staff, dan karyawan Program Studi Teknik Elektro serta Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
13. Bapak Atmojo Sri Winahyu, selaku Direktur operasional PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1.
14. Abangda Yurnalis S.T, Fidel Castro S.T, Pitra Hendrayani S.T, Ravel Edwin S.T, Dendi Tekad S.T, M. Irfan S.T, Doni Kurniadi S.T, Yoga Mei DP S.T, Ahmad Busyra S.T, dan abangda Herian Desra S.T yang telah membantu.
15. Rekan-rekan seperjuangan (Akbar Dimansyah Harahap, Bobby Desriyanto, Deri Wahyudi, Dwiki Imannusa, Erdianto, Fadel Muhammad, Hanif Naufal Q, Muhammad Alan Subati, Muhammad Ihsan, Rendi Prananda Ramadhan, Ridwan, Shandy Resaval, Teguh Rahayu Selamat, Yahya Khoironi, Yogi Vernando, dan Zana Azra) yang telah memberikan dukungan semangat dan motivasi selama penulis menempuh perkuliahan.
16. Rekan-rekan Angkatan 2016 dan Konsentrasi Energi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.
17. Rekan-rekan Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.
18. Rekan-rekan KKN Logas Hilir 2019 Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih banyak terdapat kekurangan, untuk itu dengan segala kerendahan hati, penulis menerima segala saran serta kritik yang bersifat membangun, agar lebih baik di masa yang akan datang.

Harapan penulis, semoga laporan Tugas Akhir ini dapat berguna bagi penulis sendiri khususnya, serta memberikan manfaat yang luar biasa bagi pembaca di masa mendatang. Amin.

Wassalamu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Pekanbaru, 23 Juni 2020

R. Reski Eka Putra

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 ISI

COVER	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN.....	v
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR PERSAMAAN.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-7
1.3 Tujuan Penelitian	I-8
1.4 Batasan Penelitian	I-8
1.5 Manfaat Penelitian	I-9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Penelitian Terkait	II-1
2.2 Landasan Teori.....	II-3
2.2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid</i>	II-3
2.2.2 <i>Remote Area Power Supply</i> (RAPS).....	II-4
2.2.3 Proses Pengolahan Kelapa Sawit.....	II-4
2.2.4 Hasil Samping Pengolahan Pabrik Kelapa Sawit	II-7
2.2.4.1 Tandan kosong.....	II-8
2.2.4.2 Cangkang	II-8
2.2.4.3 <i>Fiber</i> (Serat).....	II-8
2.2.4.4 Limbah Cair/POME (<i>Palm Oil Mill Effluent</i>)	II-9
2.2.5 Pengolahan POME Menjadi Biogas	II-10
2.2.5.1 Hidrolisis	II-11
2.2.5.2 Pengasaman (Asidifikasi)	II-12

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.

2.2.5.3	Asetogenesis	II-12
2.2.5.4	Metanogenesis.....	II-12
2.2.6	Pembangkit Listrik Tenaga Biogas.....	II-12
2.2.6.1	Digester.....	II-13
2.2.6.2	<i>Scrubber</i> Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	II-17
2.2.6.3	<i>Dehumidifier</i> Biogas	II-18
2.2.6.4	<i>Flare</i> Biogas	II-19
2.2.6.5	<i>Gas engine</i>	II-19
2.2.7	Perhitungan Potensi PLTBG POME.....	II-20
2.2.8	Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	II-23
2.2.8.1	Pengertian PLTS	II-23
2.2.8.2	Komponen-Komponen PLTS	II-23
2.2.9	Perhitungan Kapasitas Komponen Utama PLTS.....	II-27
2.2.9.1	<i>PV Array</i>	II-27
2.2.9.2	Baterai.....	II-29
2.2.9.3	<i>Inverter</i>	II-31
2.2.10	Perencanaan Pembangkit Tenaga Listrik.....	II-32
2.2.11	Sistem Konfigurasi Pembangkit Listrik <i>Hybrid</i>	II-33
2.2.11.1	Pemilihan Generator.....	II-33
2.2.12	Menentukan Spesifikasi Umum Sistem	II-35
2.2.13	Aspek Ekonomi Terhadap <i>Hybrid Solar PV/Biogas</i>	II-36
2.2.13.1	Aspek Biaya.....	II-37
2.2.13.2	Aspek Finansial.....	II-39
2.2.14	Emisi Gas Rumah Kaca (GRK).....	II-41
2.2.14.1	Perhitungan Potensi Pengurangan Emisi GRK.....	II-42
2.2.15	Pasar Karbon	II-44
2.2.15.1	Pasar Karbon <i>Crediting</i>	II-44
2.2.15.2	Perhitungan Biaya <i>Certified Emission Reduction</i>	II-46
2.2.16	HOMER	II-46
2.2.16.1	Pendahuluan.....	II-46
2.2.16.2	Prinsip Kerja HOMER	II-47
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		III-1
3.1	Jenis Penelitian.....	III-1
3.2	Prosedur Penelitian.....	III-1
3.3	Pemilihan Lokasi Penelitian	III-3
3.4	Tahap Perencanaan.....	III-3
3.5	Pengumpulan Data	III-5

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.

3.5.1	Profil Beban Listrik	III-6
3.5.2	Potensi Biogas dari POME.....	III-7
3.5.3	Potensi Energi Surya.....	III-7
3.6	Perhitungan Manual dan Menganalisis Sistem <i>Hybrid</i>	III-7
3.6.1	Aspek Teknis	III-8
3.6.1.1	Menentukan Spesifikasi Umum PLT <i>Hybrid</i>	III-8
3.6.1.2	Menentukan Ukuran dan Pemilihan Komponen.....	III-8
3.6.2	Aspek Emisi	III-9
3.6.3	Aspek Ekonomi	III-10
3.7	Simulasi Menggunakan <i>Software</i> HOMER Pro	III-11
3.7.1	Tahapan Simulasi.....	III-13
3.8	Analisis Hasil Keluaran Simulasi HOMER Pro	III-16
3.9	Analisis Kelayakan Sistem	III-16
3.10	Kesimpulan dan Saran.....	III-17
BAB IV HASIL DAN ANALISA		IV-1
4.1	Gambaran Umum Lokasi Penelitian	IV-1
4.2	Profil Beban Listrik PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1	IV-2
4.3	Potensi Biogas dari POME di PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1	IV-4
4.3.1	Potensi Bahan Baku (POME).....	IV-4
4.3.2	Perhitungan Potensi Biogas dari POME	IV-5
4.4	Potensi Energi Surya	IV-7
4.5	Perhitungan dan Analisis Aspek Teknis.....	IV-8
4.5.1	Menentukan Spesifikasi Umum Pembangkit Listrik <i>Hybrid</i>	IV-8
4.5.2	Menentukan Ukuran dan Pemilihan Komponen PLTBG POME .	IV-9
4.5.2.1	Digester.....	IV-10
4.5.2.2	Pemurnian Biogas.....	IV-12
4.5.2.3	<i>Dehumidifier</i>	IV-13
4.5.2.4	<i>Flare</i>	IV-13
4.5.2.1	<i>Gas engine</i>	IV-14
4.5.3	Menentukan Ukuran dan Pemilihan Komponen <i>Solar</i> PV	IV-15
4.5.3.1	PV Array.....	IV-15
4.5.3.2	Baterai.....	IV-19
4.5.3.3	<i>Inverter</i>	IV-21
4.6	Perhitungan dan Analisis Aspek Pengurangan Emisi CO ₂	IV-21
4.6.1	Akibat Menyubstitusi Generator Diesel.....	IV-22
4.6.2	Akibat Pembakaran Gas Metana	IV-22
4.7	Perhitungan dan Analisis Aspek Ekonomi	IV-23
4.7.1	Biaya Investasi Awal	IV-23

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.

4.7.1.1	Biaya O&M, dan Pergantian Komponen.....	IV-24
4.7.1.2	Biaya Investasi Total.....	IV-25
4.7.2	<i>Present Worth Factor</i> (PWF).....	IV-26
4.7.3	Manfaat Finansial	IV-27
4.7.4	<i>Cash Flow Benefit</i> (CFB).....	IV-28
4.7.5	<i>Cash Flow Cost</i> (CFC).....	IV-29
4.7.6	<i>Net Present Value</i> (NPV).....	IV-29
4.7.7	<i>Payback Period</i> (PBP)	IV-31
4.7.8	<i>Internal Rate of Return</i> (IRR).....	IV-31
4.8	Simulasi menggunakan <i>Software</i> HOMER Pro.....	IV-33
4.8.1	Masukan Koordinat Lokasi Penelitian.....	IV-33
4.8.2	Masukan Data Beban	IV-34
4.8.3	Masukan Data Generator.....	IV-35
4.8.4	Masukan Data Modul PV.....	IV-36
4.8.5	Masukan <i>Solar Global Horizontal Irradiance</i> (GHI).....	IV-38
4.8.6	Masukan Data Temperatur	IV-39
4.8.7	Masukan Data <i>Inverter</i>	IV-39
4.8.8	Masukan Data Baterai.....	IV-40
4.8.9	Masukan Data Ekonomi.....	IV-40
4.8.10	Melakukan Simulasi.....	IV-41
4.9	Analisis Hasil Simulasi Teknis	IV-41
4.9.1	Kinerja Generator	IV-42
4.9.2	Kinerja <i>PV Array</i>	IV-43
4.9.3	Kinerja Baterai.....	IV-44
4.9.4	Kinerja <i>Inverter</i>	IV-45
4.9.5	Produksi dan Konsumsi Listrik	IV-46
4.10	Analisis Hasil Simulasi Ekonomi	IV-47
4.11	Rekomendasi Kelayakan	IV-48
BAB V	PENUTUP.....	V-1
5.1	Kesimpulan.....	V-1
5.2	Saran.....	V-2

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem <i>Hybrid Parallel</i> Terhubung PV Array.....	II-4
Gambar 2.2 Proses Pengolahan <i>Crude Palm Oil</i> (CPO).....	II-5
Gambar 2.3 Tahapan Pembentukan Biogas	II-11
Gambar 2.4 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biogas	II-13
Gambar 2.5 <i>Digester Covered Lagoon</i>	II-14
Gambar 2.6 <i>Continuous Stirred Tank Reactor</i>	II-14
Gambar 2.7 Penampang <i>Digester Biogas Covered Lagoon</i>	II-15
Gambar 2.8 Dimensi Geometrik <i>Digester Covered Lagoon</i>	II-16
Gambar 2.9 <i>Scrubber H₂S</i>	II-17
Gambar 2.10 <i>Dehumidifier</i> Biogas	II-18
Gambar 2.11 <i>Flare</i>	II-19
Gambar 2.12 <i>Gas engine</i> MWM TCG.....	II-20
Gambar 2.13 PV <i>Monocrystalline</i>	II-24
Gambar 2.14 PV <i>Polycrystalline</i>	II-24
Gambar 2.15 PV <i>Thin Film</i>	II-25
Gambar 2.16 <i>Bidirectional Inverter</i>	II-26
Gambar 2.17 Konstruksi Baterai VRLA	II-26
Gambar 2.18 Dari <i>Input</i> Energi Dasar DC.....	II-34
Gambar 2.19 Konfigurasi Sistem Hibrida Paralel	II-35
Gambar 2.20 Ilustrasi Sistem <i>Crediting</i>	II-44
Gambar 2.21 Proporsi CER Indonesia Berdasarkan Jenis Proyeknya.....	II-45
Gambar 2.22 Diagram Alur Simulasi dan Optimasi HOMER.....	II-47
Gambar 3.1 Diagram Alur Tahapan Penelitian.	III-2
Gambar 3.2 Diagram Alur Simulasi <i>Software</i> HOMER Pro.....	III-12
Gambar 3.3 Pemilihan Lokasi	III-13
Gambar 3.4 Menentukan Profil Beban	III-13
Gambar 3.5 Potensi Energi Terbarukan	III-14
Gambar 3.6 Pemilihan Komponen Sistem Pembangkit Hybrid	III-14
Gambar 3.7 <i>Input</i> Ekonomi pada HOMER Pro.....	III-15
Gambar 3.8 Konfigurasi dan Simulasi.....	III-15

- 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 4.1	Lokasi PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1.	IV-1
Gambar 4.2	Grafik Profil Beban Listrik Harian PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1.....	IV-3
Gambar 4.3	Grafik Intensitas Radiasi Energi Surya dan <i>Clearness Index</i>	IV-7
Gambar 4.4	Rancangan <i>Digester Covered Lagoon</i>	IV-11
Gambar 4.5	Rancangan Dimensi <i>Dehumidifier</i>	IV-13
Gambar 4.6	Tampilan <i>Input</i> Koordinat Lokasi Penelitian.	IV-34
Gambar 4.7	Tampilan <i>Input</i> Beban Harian pada HOMER Pro 3.13.8.	IV-34
Gambar 4.8	Tampilan <i>Input</i> Pertumbuhan Beban Tahunan.	IV-35
Gambar 4.9	Tampilan <i>Input</i> Generator pada HOMER Pro 3.13.8.	IV-35
Gambar 4.10	Tampilan <i>Input</i> Modul PV pada HOMER Pro 3.13.8.	IV-36
Gambar 4.11	Tampilan Posisi <i>Azimuth</i> Lokasi Penelitian pada SunCalc.....	IV-37
Gambar 4.12	Tampilan <i>Input Tilt Angle</i> dan <i>Azimuth</i> Modul PV.	IV-37
Gambar 4.13	Tampilan <i>Input</i> Degradasi Modul PV pada HOMER Pro 3.13.8.....	IV-38
Gambar 4.14	<i>Input Solar Global Horizontal Irradiance (GHI) Resource</i>	IV-38
Gambar 4.15	Tampilan <i>Input</i> Data Temperatur pada HOMER Pro 3.13.8.	IV-39
Gambar 4.16	<i>Input Inverter</i> pada HOMER Pro 3.13.8.....	IV-39
Gambar 4.17	<i>Input</i> Baterai pada HOMER Pro 3.13.8.	IV-40
Gambar 4.18	<i>Input</i> Ekonomi pada HOMER Pro 3.13.8.	IV-40
Gambar 4.19	Konfigurasi PLT <i>Hybrid</i> Paralel pada HOMER.....	IV-41
Gambar 4.20	Hasil <i>Optimization</i> Sistem pada HOMER Pro 3.13.8.....	IV-41
Gambar 4.21	Kinerja Generator Biogas.....	IV-42
Gambar 4.22	Konsumsi Bahan Bakar Generator Biogas.....	IV-42
Gambar 4.23	Kinerja PV <i>Array</i> di Tahun Pertama.....	IV-43
Gambar 4.24	Kinerja PV <i>Array</i> di Tahun ke 20.....	IV-43
Gambar 4.25	Kinerja Baterai pada Tahun Pertama	IV-44
Gambar 4.26	Kinerja Baterai pada Tahun ke 20.	IV-44
Gambar 4.27	Kinerja <i>Inverter</i> pada Tahun Pertama.....	IV-45
Gambar 4.28	Kinerja <i>Inverter</i> pada Tahun ke 20.	IV-45
Gambar 4.29	Produksi dan Konsumsi Listrik di Tahun Pertama.	IV-46
Gambar 4.30	Produksi Listrik dan Konsumsi Listrik di Tahun ke 20.	IV-47
Gambar 4.31	<i>Cost Summary</i>	IV-47

DAFTAR TABEL

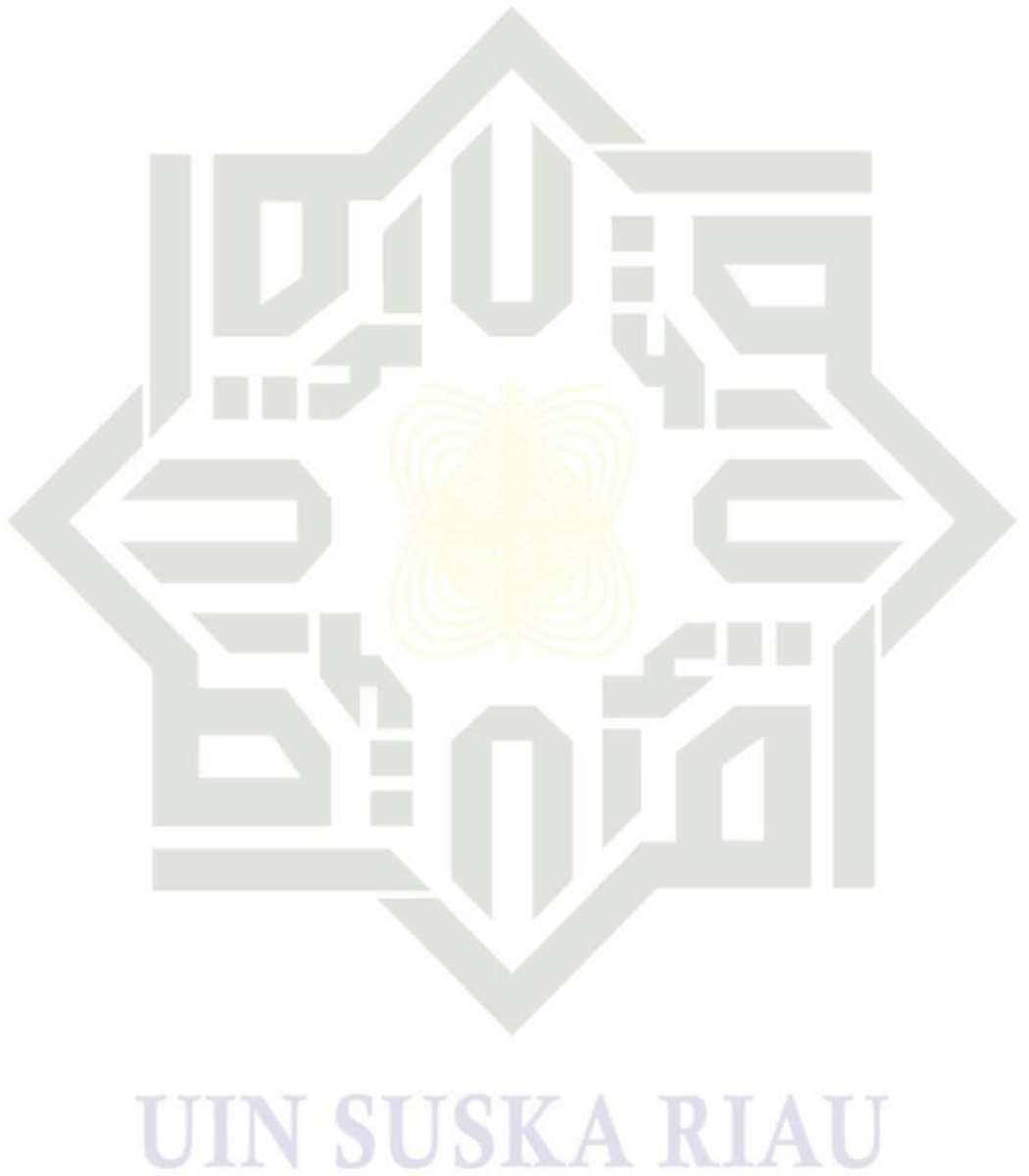
Tabel 2.1	Jenis & Estimasi Limbah yang Dihasilkan PKS/Ton TBS.....	II-7
Tabel 2.2	Nilai Kalor Produk Samping PKS.....	II-9
Tabel 2.3	Karakteristik POME Tanpa Diolah	II-10
Tabel 2.4	Spesifikasi <i>Dehumidifier</i> Biogas.....	II-18
Tabel 2.5	Menghitung Potensi Energi Listrik dari POME.....	II-21
Tabel 2.6	Asumsi dalam Menghitung Potensi Daya.....	II-21
Tabel 2.7	Nilai-nilai tipikal untuk <i>coefficient over supply</i>	II-27
Tabel 2.8	<i>Approximate Optimum Tilt Angle Power PV System</i> untuk Array Tetap.....	II-36
Tabel 2.9	Indeks <i>Global Warming Potential</i> (GWP) untuk Gas Rumah Kaca Umum. ..	II-42
Tabel 2.10	Faktor Konversi Emisi.....	II-42
Tabel 3.1	Data Primer yang dibutuhkan dan Sumber Data.....	III-5
Tabel 3.2	Data Sekunder yang dibutuhkan dan Sumber Data.....	III-6
Tabel 4.1	Estimasi Pertumbuhan Beban per Tahun di PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1.	IV-2
Tabel 4.2	Estimasi Konsumsi Energi Listrik Harian PT. TBS Unit 1 Tahun 2023.....	IV-3
Tabel 4.3	Produksi TBS PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1.....	IV-4
Tabel 4.4	Kandungan COD di PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1.....	IV-6
Tabel 4.5	<i>Design Load Energy PLT Hybrid Solar PV-Biogas</i>	IV-8
Tabel 4.6	Spesifikasi Umum Sistem Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid</i>	IV-9
Tabel 4.7	Nilai Dimensi Geometrik Digester.....	IV-11
Tabel 4.8	Spesifikasi Pemilihan Teknologi Pemurnian	IV-12
Tabel 4.9	Spesifikasi Generator Biogas yang Digunakan	IV-15
Tabel 4.10	Spesifikasi Modul Surya Canadian <i>Solar</i>	IV-16
Tabel 4.11	Spesifikasi Baterai yang Digunakan.....	IV-20
Tabel 4.12	Spesifikasi <i>Inverter Bidirectional</i>	IV-21
Tabel 4.13	Biaya Investasi Awal.	IV-24
Tabel 4.14	Biaya Operasional & Pemeliharaan, dan Pergantian Komponen.....	IV-25
Tabel 4.15	Total Biaya Investasi PLT <i>Hybrid</i>	IV-26
Tabel 4.16	Nilai <i>Present Worth Factor</i>	IV-26
Tabel 4.17	Nilai <i>Cash Flow Benefit</i>	IV-28
Tabel 4.18	Nilai <i>Cash Flow Cost</i>	IV-29
Tabel 4.19	Nilai NPV Sistem PLT <i>Hybrid</i>	IV-30

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.

Tabel 4.20 Hasil Perhitungan NPV 1 dan NPV 2 Sistem PLT <i>Hybrid</i>	IV-32
Tabel 4.21 Hasil Perhitungan Kelayakan Aspek Ekonomi.	IV-33



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.

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 Volume Kolam Penampung Lumpur.....	II-15
Persamaan 2.2 Volume Digester.....	II-15
Persamaan 2.3 Luas Penampang <i>Pond</i>	II-16
Persamaan 2.4 Luas <i>Cover Biogas</i>	II-16
Persamaan 2.5 Luas <i>Cover Digester</i>	II-16
Persamaan 2.6 Regresi Linier Sederhana.....	II-21
Persamaan 2.7 Bahan Baku Harian.....	II-22
Persamaan 2.8 Aliran Limbah Cair Harian	II-22
Persamaan 2.9 COD <i>Loading</i>	II-22
Persamaan 2.10 Produksi CH ₄	II-22
Persamaan 2.11 Kapasitas Pembangkitan	II-22
Persamaan 2.12 Kapasitas Daya Harian	II-22
Persamaan 2.13 <i>Design Load Ah</i>	II-28
Persamaan 2.14 <i>Required Array Output</i>	II-28
Persamaan 2.15 <i>Daily Charge Output per Module</i>	II-28
Persamaan 2.16 <i>Number of Parallel Strings Required</i>	II-29
Persamaan 2.17 <i>Number of Series Modules per String</i>	II-29
Persamaan 2.18 <i>Total Number of Modules In Array</i>	II-29
Persamaan 2.19 Kapasitas Setiap PV Array	II-29
Persamaan 2.20 <i>Design Load Ah</i> Baterai	II-30
Persamaan 2.21 Kapasitas Baterai yang Diperlukan	II-30
Persamaan 2.22 Baterai Terhubung Seri	II-31
Persamaan 2.23 Baterai Terhubung Paralel	II-31
Persamaan 2.24 Jumlah Baterai yang Digunakan	II-31
Persamaan 2.25 Kapasitas <i>Inverter</i>	II-32
Persamaan 2.26 <i>Design Load Energy</i>	II-35
Persamaan 2.27 <i>Life Cycle Cost (LCC)</i>	II-37

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Persamaan 2.28 Nilai sekarang (PV) biaya O & M tahunan (Mpw).....	II-38
Persamaan 2.29 <i>Present Worth Factor</i> (PWF).....	II-38
Persamaan 2.30 Nilai sekarang (PV) dari biaya penggantian komponen (Rpw).....	II-38
Persamaan 2.31 <i>Capital Recovery Factor</i> (CRF)	II-39
Persamaan 2.32 <i>Levelized Cost of Energy</i> (LCOE).....	II-39
Persamaan 2.33 <i>Net Present Value</i> (NPV).....	II-39
Persamaan 2.34 <i>Cash Flow Benefit</i> (CFB).....	II-40
Persamaan 2.35 <i>Cash Flow Cost</i> (CFC)	II-40
Persamaan 2.36 <i>Payback Period</i> (PBP).....	II-40
Persamaan 2.37 <i>Internal Rate of Return</i> (IRR)	II-41
Persamaan 2.38 Produksi Energi Listrik per Tahun Generator Diesel.....	II-43
Persamaan 2.39 Emisi CO ₂ Generator Diesel	II-43
Persamaan 2.40 Jumlah Gas Metana (Kg)	II-43
Persamaan 2.41 Emisi CO ₂ Gas Metana.....	II-43
Persamaan 2.42 Biaya CER (Rp/Tahun).....	II-46

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 LAMPIRAN

Lampiran A-1 Izin Penelitian	A-1
Lampiran B-1 Studi Pendahuluan.....	B-1
Lampiran C-1 Konsumsi Energi Listrik Tahunan	C-1
Lampiran D-1 Estimasi Profil Beban Harian	D-1
Lampiran E-1 Estimasi Produksi TBS dan Konsumsi Bahan Bakar Solar Tahunan	E-1
Lampiran F-1 Perhitungan Ekonomi	F-1
Lampiran G-1 <i>Electrical</i> Hasil Simulasi HOMER Pro.....	G-1
Lampiran H-1 Dokumentasi	H-1

- Hak Cipta Diindungi Undang-Undang**
- 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.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik mempunyai peran penting dalam mewujudkan tujuan pembangunan nasional. Kebutuhan energi listrik di Indonesia secara kontinu mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi serta penambahan jumlah penduduk.

Tercatat pada *Indonesia Energy Outlook 2018*, kebutuhan energi listrik pada tahun 2016 hingga 2050 diproyeksikan meningkat lebih dari 7 kali lipat. Semula pada nilai 230,14 TWh menjadi 1.611 TWh. Selain itu, selama 34 tahun (tahun 2016-2050) ke depan juga disertai dengan pergeseran dominansi kebutuhan listrik, dari sektor rumah tangga ke sektor industri (industri pertanian, kertas, pupuk, baja, dan lainnya) [1].

Sektor industri di Indonesia masih sebagai penyumbang utama pertumbuhan perekonomian nasional. Data Badan Pusat Statistik (BPS) 2017 menunjukkan, salah satu sektor penyumbang devisa terbesar adalah sektor industri pertanian, khususnya ekspor minyak kelapa sawit dan produk turunannya [2]. Pada umumnya dalam memenuhi kebutuhan listrik sektor industri, seperti pada pengolahan kelapa sawit atau pabrik kelapa sawit (PKS) masih menggunakan generator diesel berbahan bakar fosil baik sebagai *start-up* (saat pabrik mulai operasi), ataupun sebagai *back up* (ketika defisit listrik). Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui dan berperan dalam peningkatan kadar CO₂ di udara yang memberikan dampak efek rumah kaca (*greenhouse effect*) serta perubahan iklim (*climate change*) [3].

Indonesia sebagai negara produsen dan eksportir minyak kelapa sawit (*crude palm oil/CPO*) terbesar di dunia, dengan produksi kelapa sawit pada tahun 2017 mencapai 35,36 juta ton [4]. Mengoptimalkan ekspor minyak kelapa sawit tidak terlepas dari peran penting PKS dengan energi listrik andal dalam mendukung kinerja mesin-mesin produksi di pabrik. Salah satu upaya menjaga keandalan energi listrik dan meminimalisir polusi CO₂ dari pembangkit listrik konvensional adalah memanfaatkan energi terbarukan, seperti energi biomassa padat maupun cair dari limbah PKS. Berdasarkan data Ditjen EBTKE (Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi) 2015 sumber daya energi biomassa berkisar 32.654 MW dengan sumber daya yang ada belum dapat dimanfaatkan sepenuhnya, karena total kapasitas terpasang hanya sekitar 1.717,1 MW terbagi masing-masing 1.626 MW untuk *off grid* dan 91,1 MW untuk *on grid* [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.

Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah perusahaan perkebunan kelapa sawit di Indonesia di tahun 2017 adalah sebanyak 1.779 perusahaan yang tersebar di 25 provinsi. Persentase PKS berdasarkan pulau tahun 2017, terbagi dalam 4 bagian yaitu Pulau Sumatera dengan persentase 57% (1.019 PKS) adalah yang paling banyak, diikuti Pulau Kalimantan dengan persentase 38% (680 PKS), Pulau Sulawesi dengan persentase 3% (44 PKS) dan lainnya (Jawa, Maluku, dan Papua) dengan persentase 2% (36 PKS) [4]. Limbah Pabrik Kelapa Sawit adalah salah satu energi biomasa yang mencapai ribuan ton tiap tahunnya. Diperkirakan limbah sebuah PKS dengan kapasitas 100.000 ton TBS (Tandan Buah Segar) per tahun dihasilkan 59.000 ton limbah cair, 23.000 ton TBK (Tandan Buah Kosong), 12.000 ton ampas serabut (*fiber*), dan 6.000 ton cangkang [5]. Persentase terbesar limbah PKS adalah dalam bentuk cair dan berpotensi untuk dikonversi menjadi energi listrik. PKS dengan kapasitas total sebesar 2.115 TBS/jam, mampu menghasilkan Biogas sebesar 42.300 m³/jam atau setara dengan 2.231,607 MWh/hari. Dengan besarnya potensi listrik dari limbah cair tersebut sehingga berpeluang besar untuk dikembangkan sebagai pembangkit listrik di PKS [6].

Provinsi Riau sebagai salah satu dari tiga provinsi dengan jumlah perusahaan perkebunan kelapa sawit terbanyak di Pulau Sumatera, menurut Direktori Perusahaan Perkebunan Kelapa Sawit 2017. Terdapat 200 perusahaan (masing-masing 18 milik negara dan 182 milik swasta) [4]. Banyaknya jumlah PKS tersebut tetapi hanya beberapa saja yang memanfaatkan limbah cair nya menjadi energi atau dijadikan sebuah pembangkit listrik, mengakibatkan berlimpahnya limbah cair yang dihasilkan dari produksi CPO [3]. Limbah cair kelapa sawit atau sering disebut juga POME (*Palm Oil Mill Effluent*) umumnya bersifat asam (pH 3,3–4,6), kental, berwarna kecokelatan dengan kandungan padatan, minyak dan lemak, *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) yang tinggi. Sehingga apabila POME dibuang langsung pada lahan atau sungai dapat mematikan vegetasi, pengontaminasi tanah, dan mencemari lingkungan karena dapat menurunkan kandungan oksigen terlarut di dalam air. Maka perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum limbah di buang ke lingkungan [3]. Berdasarkan data rata-rata tahun 2013-2017, Provinsi Riau merupakan sentra produksi minyak mentah kelapa sawit (*crude palm oil/CPO*) terbesar di Indonesia dengan kontribusi sebesar 23,80% ($\pm 7,33$ juta ton) [7]. Kabupaten penghasil kelapa sawit di Provinsi Riau, tersebar di 11 kabupaten/kota yang salah satunya Kabupaten Kuantan Singingi [7].

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.

Kabupaten Kuantan Singingi (Kuansing) merupakan salah satu Kabupaten dengan produksi CPO besar di Riau, dikarenakan subsektor perkebunan andalan Kabupaten ini adalah komoditas kelapa sawit, terdapat 126.550,88 Hektar lahan kelapa sawit pada tahun 2017 sedangkan produksinya mencapai 449.155,99 ton. Selain itu, PKS yang ada di Kabupaten Kuansing belum ada yang memanfaatkan POME nya sebagai pembangkit listrik. Pada tahun 2017 terdapat 21 PKS yang mengolah kelapa sawit di Kabupaten Kuansing, tersebar di 13 kecamatan, dan Kecamatan sentra utama produksi kelapa sawit berada di Kecamatan Kuantan Mudik [8].

Kecamatan Kuantan Mudik sebagai sentra utama produksi kelapa sawit di Kabupaten Kuansing yang produksinya pada tahun 2017 mencapai 92.735,16 ton. Terdapat 1 PKS pada Kecamatan Kuantan Mudik yang berada di Desa Pantai, yaitu PT. Tri Bakti Sarimas (TBS) Unit 1. PKS yang berada di Kecamatan Kuantan Mudik ini termasuk PKS yang belum memanfaatkan POME sebagai sumber energi terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBG) [8]. Memproduksi Biogas dengan menggunakan POME memiliki dua kelebihan utama. Secara ekonomis, baik Biogas maupun limbah akhir yang dihasilkan dari proses degradasi dapat dimanfaatkan, dan pada saat yang bersamaan PKS mendapatkan cara yang aman dan cepat untuk memproses limbahnya sehingga menghindari dampak negatif terhadap lingkungan (GRK) [9].

Pengurangan emisi GRK oleh industri dapat memberikan keuntungan ekonomi bagi perusahaan dengan pembangunan PLTBG dari pembiayaan karbon melalui MPB (Mekanisme Pembangunan Bersih) dan meningkatkan pendapatan PKS yang berasal dari *certified emission reduction* (CER). MPB atau *clean development mechanism* (CDM) yang mengatur program pengurangan emisi GRK mendorong perusahaan kelapa sawit untuk mengembangkan proyek PLTBG. Seiring dengan diterbitkannya CER atau sertifikat atas pengurangan emisi oleh suatu proyek CDM, artinya proyek CDM tersebut telah diperbolehkan melakukan perdagangan karbon (*carbon trading*). Oleh sebab itu, perlu dilakukan perhitungan emisi gas rumah kaca sebelum melakukan pembangunan PLTBG, untuk mengetahui potensi pengurangan emisi GRK dan biaya CER yang dapat diperoleh dari PLTBG [3].

Salah satu bentuk pemanfaatan POME pada PKS dengan menggunakan teknologi *anaerobik digestion* dapat menghasilkan energi, dengan asumsi setiap ton tandan buah segar menghasilkan 0,7 m³ limbah cair, PKS beroperasi 20 jam per hari, dan konsentrasi COD 55.000 mg/l. Maka, dapat dihitung potensi daya dari konversi POME menjadi Biogas yang

Hak Cipta Dimindungi 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.

dihasilkan oleh PKS di Indonesia pada kapasitas olah tertentu. Kapasitas olah PKS 30 ton/jam memiliki potensi daya 1,0 MWe, PKS dengan kapasitas 45 ton/jam memiliki potensi daya 1,6 MWe, PKS kapasitas 60 ton/jam memiliki potensi daya 2,1 MWe, sedangkan PKS dengan kapasitas 90 ton/jam memiliki potensi daya 3,2 MWe [3].

Berdasarkan hasil wawancara dengan Bapak Mujid kepala bagian teknisi di PT. TBS Unit 1 saat ini konsumsi energi listrik pada pabrik sebesar 24.633,92 kWh/hari. Sementara itu, pasokan listrik di suplai dari satu unit generator dengan turbin tenaga uap kapasitas 1.000kW dan defisit listrik di penuhi oleh dua unit generator diesel berbahan bakar *solar* kapasitas 800kW. Permasalahan yang sering terjadi pada PT. TBS Unit 1 adalah kerusakan boiler dan *blades* (sudu-sudu) dari turbin uap sehingga generator tenaga uap sebagai utama kelistrikan pabrik tidak dapat beroperasi, sedangkan dua unit generator diesel sebagai *back up* tidak mampu memenuhi kebutuhan listrik pabrik sepenuhnya. Selama ini kerusakan *blade* turbin uap sangat mengganggu proses produksi, dikarenakan dalam proses perbaikannya cukup lama terkait prosedur perusahaan sehingga menghabiskan waktu minimal 1 bulan. Oleh karena itu, sangat dibutuhkan solusi selain perbaikan atau penggantian turbin uap, karena faktor utama kerusakan adalah usia komponen. Penggantian *blade* baru pun hanya menunggu waktu saja dan akan terjadi permasalahan berulang.

Berdasarkan hasil wawancara dengan Bapak Agus kepala bagian pengolahan limbah di PT. TBS Unit 1, selain permasalahan *blade* dilain hal pihak perusahaan juga sedang berupaya untuk menyubstitusi penggunaan generator diesel dalam upaya meminimalisir emisi bahan bakar fosil dan tanggung jawab lingkungan, sekaligus dapat memenuhi kriteria sertifikasi ISPO, dan RSPO yang merupakan misi perusahaan saat ini. Tesrsertifikasinya PKS akan mampu memberikan dampak ekonomi yang lebih baik untuk perusahaan, karena akan memperluas izin perdagangan CPO milik perusahaan [10].

Sertifikasi *Indonesian Sustainable Palm Oil* (ISPO) dan *Roundtable on Sustainable Palm Oil* (RSPO) memiliki kesamaan tujuan salah satunya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dari perubahan fungsi lahan. Manfaat dari sertifikasi ini untuk PKS diantaranya adalah peningkatan jumlah produksi CPO, kualitas mutu CPO lebih unggul, meningkatnya harga jual CPO, serta tingkat penjualan dan jangkauan pasar CPO yang lebih luas. Memperoleh sertifikasi menjadikan perusahaan perkebunan kelapa sawit lebih mudah memasuki pasar, baik dalam negeri maupun jangkauan pasar ekspor yang lebih luas terutama ke Uni Eropa. Sehingga pendapatan yang diterima perusahaan dapat meningkat [3].

PT. TBS Unit 1 berpotensi memanfaatkan energi terbarukan dari POME nya, dengan kapasitas produksi aktif PT. TBS Unit 1 adalah 45 ton tandan buah segar per jam, beroperasi selama 20 jam/hari, dan dapat menghasilkan sebanyak 607,04 m³ POME/hari. Jika 607,04m³ limbah cair kelapa sawit tersebut di konversi menjadi Biogas, dengan kriteria POME sesuai dengan asumsi penelitian [3], maka potensi kapasitas pembangkitan daya yang bisa dihasilkan PLTBG adalah sekitar 18.400 kWh/hari. Namun potensi PLTBG ini saja belum cukup untuk substitusi generator diesel dan generator dengan turbin tenaga uap yang sering mengalami kerusakan atau sebagai penyuplai listrik keseluruhan di pabrik, karena masih terdapat defisit energi listrik sebesar 6.233,92 kWh/hari, sehingga dibutuhkan tambahan pembangkit listrik lainnya.

Selain memiliki potensi energi terbarukan dari POME, PT.TBS Unit 1 juga memiliki potensi energi terbarukan lainnya. Dilihat dari letak geografis melalui Google Earth®, Desa Pantai yang berada di Kecamatan Kuantan Mudik sebagai lokasi PKS berkoordinat 00° 43' 49" Lintang Utara dan 101° 38' 28" Bujur Timur. Berdasarkan data dari *Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER)* milik *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, pada koordinat tersebut berpotensi menghasilkan energi surya sebesar 4,7 kWh/m²/hari. Untuk potensi energi angin berdasarkan titik koordinat yang sama, berdasarkan data dari POWER milik NASA bahwa kecepatan angin rata-rata pada ketinggian 10 meter (m) sebesar 1,09 m/detik [11].

Terlihat bahwa PT. TBS Unit 1 memiliki beberapa potensi energi terbarukan yang bagus untuk dimanfaatkan secara optimal. Akibat potensi POME saja belum cukup memenuhi kebutuhan energi listrik, sehingga dilakukan pengembangan dengan potensi energi surya. Memaksimalkan pemanfaatan energi surya dipilih karena memiliki potensi lebih besar dibanding energi angin. Salah satu upaya pemanfaatan energi surya adalah menggunakan teknologi *solar PV*, dimana semakin banyak dan luas modul *solar PV* yang terhubung secara seri dan paralel dengan minim bayangan maka daya yang dihasilkan semakin besar [12]. Hal ini menunjukkan bahwa sebenarnya lokasi PT. TBS Unit 1 yang luas dan faktor bayangan yang sedikit juga memiliki potensi energi surya yang dapat dimanfaatkan secara optimal.

Sumber energi terbarukan dari Biogas maupun surya, keduanya memiliki potensi yang baik karena berada di sekitar PKS dan akan sangat berguna jika pemanfaatan dilakukan secara optimal untuk memenuhi kebutuhan energi listrik PKS dan sekitarnya. Seperti pemanfaatan POME menjadi PLTBG, dan pemanfaatan energi surya dengan penggunaan

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

teknologi energi terbarukan *solar PV (Photovoltaic)* untuk substitusi PLTU biomasa pembakaran limbah padat berupa cangkang dan serabut) dan generator diesel. Dimana pada sistem PLTU biomasa, boiler masih tetap dioperasikan guna memproduksi uap panas kebutuhan peralatan dan proses perebusan TBS. Mengonversi energi surya menjadi energi listrik juga memiliki keunggulan, salah satunya tidak memerlukan bahan bakar. Sehingga diharapkan dapat substitusi penggunaan bahan bakar generator diesel pada PKS. Namun kekurangan penggunaan *solar PV*, sangat dipengaruhi oleh kondisi radiasi matahari di siang hari, dan akan mengalami kekurangan produksi jika cuaca mendung di siang hari. Diketahui energi Biogas cenderung stabil (*non-intermittent*), jika dibandingkan dengan energi surya yang cenderung *intermittent* (tidak kontinu) [13].

Dengan pertimbangan diatas, teknologi yang tepat untuk solusi permasalahan di PT.TBS adalah memanfaatkan sumber energi terbarukan dari Biogas dan surya sebagai pembangkit listrik tenaga *hybrid* dengan konfigurasi *parallel*. Pembangkit listrik tenaga *hybrid* akan meningkatkan reliabilitas atau keandalan sistem tenaga listrik, tetapi pemilihan teknologi dan spesifik pembangkit yang tepat juga akan meningkatkan performa dan pengoperasian sistem pembangkit [14]. Dilihat dari letak geografis PT. TBS Unit 1 yang berada di dalam perkebunan dan belum mendapatkan suplai listrik dari PLN maka penyediaan energi listrik menggunakan sistem *Remote Area Power Supply (RAPS)* atau *off grid system*, sehingga tidak berpotensi nya *PLT hybrid on grid system* di PT. TBS ini. Pemilihan pembangkit listrik tenaga *hybrid off grid system* dikarenakan potensi Biogas saja tidak cukup sebagai pengganti generator turbin tenaga uap dan generator diesel yang ada, sehingga diperlukan tambahan pembangkit listrik lain yaitu *Solar PV*, guna memperoleh pembangkit listrik yang andal di PT. TBS Unit 1 dan sejalan dengan misi sertifikasi perusahaan. Hal ini didukung oleh wacana PT. TBS Unit 1 untuk pengembangan pembangkit listrik dari pengolahan POME yang selama ini masih sebatas dimanfaatkan untuk pupuk bagi tanaman kelapa sawit dan substitusi penggunaan generator turbin tenaga uap dan generator diesel dengan pembangkit yang lebih minim emisi seperti dari energi baru terbarukan (EBT). Selain itu, dari aspek ekonomi biaya investasi pembangkit listrik *hybrid* dari sumber EBT dianggap lebih murah jika dibandingkan dengan yang hanya menggunakan satu pembangkit listrik mandiri. Seperti *photovoltaic* mandiri, dikarenakan harga modul *photovoltaic* dan baterai yang mahal [14].

Untuk dapat mengetahui layak atau tidaknya sistem *PLT hybrid Solar PV-Biogas off grid system* ini perlu dilakukan perhitungan manual di masing-masing komponen agar

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.

diketahui spesifikasi yang sesuai bagi sistem, dan analisis ekonomi manual dilakukan pada parameter: *net present value* (NPV), waktu pengembalian investasi (*Payback Period*), dan *internal rate of return* (IRR). Selain itu juga dilakukan perhitungan potensi pengurangan emisi GRK, serta biaya CER dari PLTBG POME dan peniadaan diesel. Perhitungan potensi Biogas sesuai *handbook* Konversi POME Menjadi Biogas: Pengembangan Proyek di Indonesia, dimana isi dari buku ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab Winrock Internasional, dan pada *Solar PV* dilakukan perhitungan sesuai standard Internasional AS/NZS 4509.2.2010 *stand-alone power system part 2: system design*. Untuk mendukung analisis ekonomi dengan perhitungan manual juga dilakukan uji performa dan biaya ekonomi menggunakan *software tool* yang memiliki kemampuan menganalisa di sistem ini, sehingga di perlukan bantuan sebuah perangkat lunak yang memiliki kemampuan untuk melakukan hal ini, salah satunya HOMER (*Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources*) Pro. HOMER Pro adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh laboratorium energi terbarukan nasional di Amerika Serikat. Aplikasi ini digunakan untuk merancang dan mengevaluasi secara teknis dan ekonomi [15]. Dalam penelitian ini HOMER Pro juga digunakan sebagai evaluasi teknis dan ekonomi pada PLT *hybrid Solar PV-Biogas off grid system*.

Dari permasalahan dan solusi yang telah diuraikan, maka perlu di lakukan sebuah penelitian untuk mengetahui layak atau tidaknya pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga (PLT) *hybrid* dengan berdasarkan potensi yang tersedia, juga dilihat dari aspek teknis, ekonomi, serta potensi pengurangan emisi GRK dan biaya CER. Oleh karena itu penulis tertarik melakukan sebuah penelitian yang berjudul “**Analisis Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Solar PV-Biogas off Grid System** (Studi Kasus: PT. Tri Bakti Sarimas Kabupaten Kuansing Provinsi Riau)”.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, maka rumusan masalah penelitian dapat dirangkum dalam beberapa pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Berapa besar potensi daya listrik yang dapat dibangkitkan dari konversi POME dan energi surya untuk Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* di PT. TBS Kabupaten Kuansing Provinsi Riau?
2. Bagaimana analisis teknis dan ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Solar PV-Biogas off grid system* di PT. TBS Kabupaten Kuansing Provinsi Riau?

Berapa besar biaya dari *certified emission reduction* yang dapat diperoleh PT. TBS Kabupaten Kuansing Provinsi Riau apabila terlaksananya proyek Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* di PT. TBS Kabupaten Kuansing Provinsi Riau?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui dan menganalisis potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* dari POME dan surya di PT. TBS Kabupaten Kuansing Provinsi Riau.
2. Menghitung dan menganalisis Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Solar PV-Biogas off grid system* menggunakan *software* HOMER yang optimal dari aspek teknis dan ekonomi untuk PT. TBS Kabupaten Kuansing Provinsi Riau.
3. Mengetahui besar biaya dari *certified emission reduction* yang dapat diperoleh dari Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* di PT. TBS Kabupaten Kuansing Provinsi Riau?

1.4 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini dapat berfokus pada apa yang telah menjadi tujuan penelitian, berikut beberapa batasan yang menjadi ruang lingkup dalam penelitian ini:

1. Simulasi dalam penelitian ini menggunakan perangkat lunak HOMER (*Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources*) Pro versi 3.18.8.
2. Potensi energi terbarukan lokal yang akan digunakan dalam simulasi adalah potensi energi Biogas dari POME dan potensi energi surya.
3. Tahun implementasi proyek pada 2023, dengan menggunakan metode perhitungan regresi linier.
4. Penelitian ini membahas mengenai analisis Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Solar PV-Biogas off grid system*, berupa aspek teknis *Solar PV-Biogas*, Komponen yang dibutuhkan, Spesifikasi komponen, Jumlah komponen yang dibutuhkan, dan Energi listrik yang di hasilkan. Aspek ekonomi, pembahasan analisis ekonomi mengenai total *net present cost* (NPC) pembangkit selama periode 20 tahun, dan *levelized cost of energy* (LCOE) hasil simulasi dan *net present value* (NPV), waktu pengembalian investasi (*Payback Period*), *internal rate of return* (IRR) hasil perhitungan manual. Serta analisis pengurangan emisi CO₂.

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.

1.5 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.

Pada penelitian ini hanya menggunakan teknologi pembangkit serta komponen pendukung yang disediakan dalam *software* HOMER Pro, dan tidak membahas jaringan *distributed* pembangkit.

Perhitungan biaya *certified emission reduction* (CER) dilakukan berdasarkan dua aspek yaitu: akibat menyubstitusi bahan bakar diesel dan pemanfaatan gas metana.

Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi bagi PT. Tri Bakti Sarimas Kabupaten Kuansing Provinsi Riau mengenai potensi dan manfaat Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Solar PV-Biogas off grid system* di perusahaan tersebut.
2. Menjadi gambaran secara umum untuk merealisasikan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Solar PV-Biogas off grid system* di PT. Tri Bakti Sarimas Kabupaten Kuansing Provinsi Riau.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Sebelum melakukan penelitian, dilakukan studi literatur yang bertujuan untuk mencari rujukan dan penelitian yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan. Rujukan ini didapatkan dari jurnal, buku ataupun paper yang berhubungan dengan penelitian ini.

Pada penelitian mengenai analisis keekonomian pembangunan pembangkit listrik tenaga Biogas (PLTBG) dari POME di PKS Sungai Pagar milik PTPN V Pekanbaru. Pada penelitian ini PLTBG direncanakan dengan sistem *on-grid* berkapasitas 700 kW dengan menggunakan biodigester jenis *continuous stirred tank reactor* (CSTR). PKS dengan kapasitas pengolahan TBS 30 ton per jam, memiliki nilai COD sebesar 42.685 mg/liter, diperkirakan mampu memproduksi biometana setiap tahun sebesar 1.448.667 m³ dan akan menghasilkan listrik sebesar 5.794.668 kWh. Berdasarkan analisis ekonomi didapatkan nilai IRR sebesar 11,44%, waktu pengembalian modal selama 7 tahun 11 bulan, dan NPV sebesar Rp. 1,1 miliar, sehingga proyek ini layak secara finansial [16].

Penelitian dengan judul “*A Diesel Replacement Strategy for Off-Grid Systems Based on Progressive Introduction of PV and Batteries: An Indonesian Case Study*” [17] meneliti tentang strategi penggantian diesel secara bertahap pada sistem *off-grid* oleh PV dan baterai dengan studi kasus Wilayah Indonesia. Strategi dimulai dengan investasi awal yang lebih rendah dan secara bertahap menambah panel surya dan baterai pada tahun-tahun berikutnya menggunakan akumulasi penghematan dari penggunaan diesel yang lebih rendah. Ketika hanya generator diesel yang digunakan, biaya LCC selama 25 tahun adalah 10,53 juta USD, melalui optimasi bahwa dengan menurunkan investasi awal menjadi 0,25 juta USD dan secara bertahap menggunakan tabungan tahunan untuk berinvestasi kembali dalam pembelian panel surya dan baterai tambahan, biaya LCC berkurang menjadi 6,62 juta USD (hanya 3,8% diperlukan untuk investasi awal). Melalui pendekatan yang diusulkan, hambatan investasi awal penggantian sistem diesel mandiri yang besar dapat diminimalisir.

Penelitian dengan judul “*Design of Solar-Biomass-Biogas Based Hybrid System for Rural Electrification with Environmental Benefits*” [18] meneliti tentang perancangan pembangkit listrik *hybrid solar-biomass-Biogas* untuk rumah tinggal di daerah terpencil wilayah Sonipat, India. Peneliti melakukan analisis teknis, ekonomi dan emisi GRK dengan bantuan *software* HOMER untuk mengetahui desain optimal dari pembangkit listrik *hybrid*.

Diketahui sistem *hybrid* optimal terdiri dari 18 kW *solar* PV, 20 kW *biomass gasifier*, 35 kW generator Biogas, dan 48 kWh baterai, kajian finansial nya menjelaskan NPC sebesar \$2021,78, dan COE \$0.099/kWh, dengan kapasitas emisi GRK yang kecil singga dapat diabaikan.

Penelitian dengan judul “*Potential of Off-grid Solar PV/Biogas Power Generation System: Case Study of Ado Ekiti Slaughterhouse*” [19] meneliti tentang potensi pembangkit listrik *hybrid solar* PV/Biogas (kotoran sapi) sistem *off-grid* pada rumah potong di Kota Ado Ekiti, Nigeria. Peneliti melakukan analisis teknis dan ekonomi dengan bantuan *software* HOMER untuk mengetahui desain optimal dari pembangkit listrik *hybrid*. Rata-rata intensitas radiasi matahari di lokasi rumah potong adalah 4,93 kWh/m²/hari, dengan suplai *biomass* kotoran sapi sebesar 1150 kg/hari. Berdasarkan simulasi *software* HOMER, sistem pembangkit listrik *hybrid* yang optimal dengan suplai 62% Biogas generator dan 38% *solar* PV mampu memenuhi kebutuhan energi listrik harian 164 kWh, kajian finansial nya menjelaskan NPC sebesar \$92,988, dan LCOE \$0.232/kWh.

Pada penelitian yang mengenai analisis pemanfaatan POME sebagai sumber energi listrik dan mencegah potensi pemanasan global di PTPN I (Persero) Unit PKS Cot Girek, Kabupaten Aceh Utara. Pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai potensi energi listrik dari konversi POME, menghitung emisi gas karbon pada produksi pengolahan sawit dengan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dan menghitung biaya *Certified Emission Reduction* (CER) dari emisi karbon dioksida yang dapat dihasilkan PKS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi listrik yang dihasilkan dalam setahun mencapai 4.232,00 MWh/tahun dengan kebutuhan listrik pada pengolahan tandan buah segar sebesar 2.114,00 MWh/tahun, maka listrik yang dihasilkan melalui skenario pembangkit listrik tenaga Biogas adalah surplus. Hasil penghitungan emisi gas karbon dioksida menunjukkan total emisi CO² POME 32.195,2995 ton-CO²/tahun, maka didapat biaya CER sebesar Rp.4.459.048.981,00/tahun [20].

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, penelitian sebelumnya fokus terhadap analisis potensi energi listrik dari limbah cair pabrik kelapa sawit (POME) dan studi kelayakan ekonomi pembangkit listrik tenaga Biogas dengan *bio-digester* jenis CSTR. Penelitian sebelumnya mengenai analisis teknis dan ekonomi pembangkit listrik *hybrid solar* PV-Biogas namun hanya dalam skala kecil dan memanfaatkan Biogas dari kotoran hewan. Berdasarkan penelitian terdahulu yang telah dijelaskan, dapat disimpulkan bahwa sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* merupakan solusi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik

- 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.

di daerah yang belum terhubung listrik PLN seperti PKS terpencil. Dari penelitian terdahulu dijelaskan bahwa dengan sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid solar* PV-Biogas, kualitas layanan dan jaminan pasokan listrik lebih baik dibandingkan hanya pembangkit listrik tenaga surya. Pada penelitian terdahulu, *tools* simulasi yang dominan adalah menggunakan HOMER dengan memilih konfigurasi sistem yang optimal berdasarkan hasil optimasi dari banyak skenario yang dibuat. Pada penelitian ini juga akan menggunakan HOMER untuk simulasi sistem yang akan direncanakan. Dibandingkan dengan penelitian-penelitian terkait masih belum memakai suatu standar untuk perencanaan suatu pembangkit listrik tenaga *hybrid solar* PV-Biogas.

Pada penelitian ini akan menganalisis aspek teknis dan ekonomi satu sistem yang optimal dari pembangkit listrik tenaga *hybrid solar* PV-Biogas (POME) *off-grid* konfigurasi paralel yang sesuai dengan standar AS/NZS 4509.2.2010 *stand-alone power system part 2: system design* dan *handbook* Konversi POME Menjadi Biogas. Pada penelitian ini juga akan dilakukan perhitungan biaya *certified emission reduction* dari pengurangan emisi oleh pembangkit listrik tenaga Biogas dan substitusi generator diesel, yang belum dilakukan pada penelitian terkait. Selain itu penelitian ini belum pernah dilakukan sebelumnya ditempat yang akan diteliti.

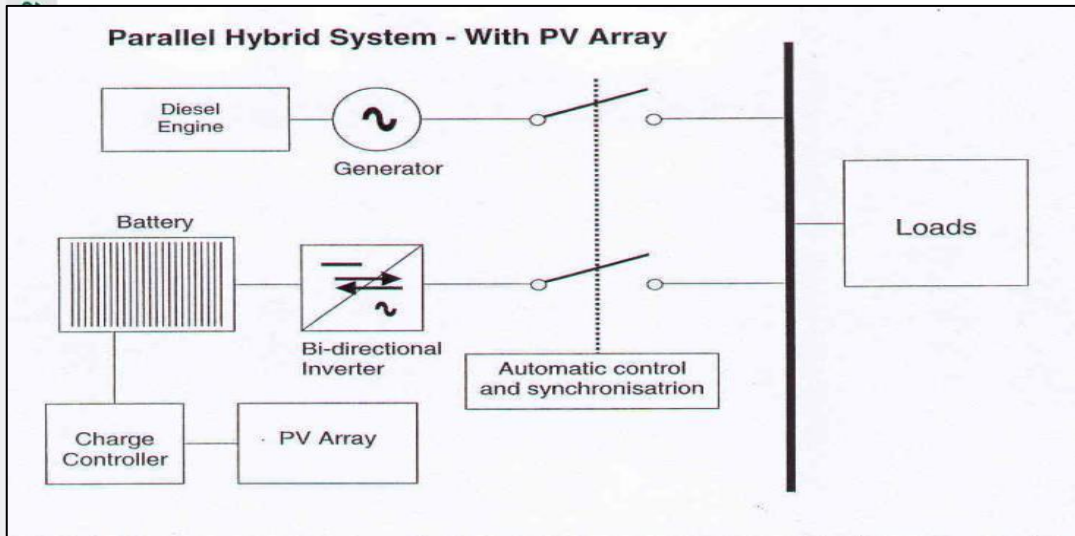
2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* merupakan sistem penggabungan antara dua atau lebih teknologi pembangkit listrik, yang dioperasikan secara bersama, termasuk unit penyimpanan (*storage*). Sistem tenaga hibrida biasanya mengandalkan energi terbarukan untuk menghasilkan 75-99% dari total pasokan (dalam beberapa kasus genset diesel telah dipasang, tetapi hampir tidak pernah digunakan karena kinerja yang baik dari energi terbarukan). Sebagian besar energi terbarukan membuat sistem ini hampir mandiri dan menurunkan harga energi dalam jangka panjang, dan genset diesel digunakan sebagai cadangan untuk membantu dalam periode beban tinggi atau ketersediaan daya terbarukan yang rendah. Sistem hibrida seringkali merupakan solusi energi jangka panjang yang paling murah [21].

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.



Gambar 2.1 Sistem *Hybrid Parallel* Terhubung PV Array [22].

Dalam penelitian ini sistem pembangkit yang akan di analisis adalah sistem pembangkit *hybrid* yang terdiri dari *solar photovoltaic* dan Biogas. Pemilihan teknologi *solar photovoltaic* dan Biogas didasarkan dari potensi energi terbarukan lokal yang bisa dimanfaatkan yaitu Biogas limbah cair kelapa sawit (POME) dan energi surya. Penggunaan *solar photovoltaic* pada penelitian ini sebagai pengganti/substitusi generator diesel terpasang pada PKS. Sedangkan pembangkit listrik tenaga Biogas sebagai pendukung (*backup*) ketika generator tenaga uap tidak mampu melayani beban.

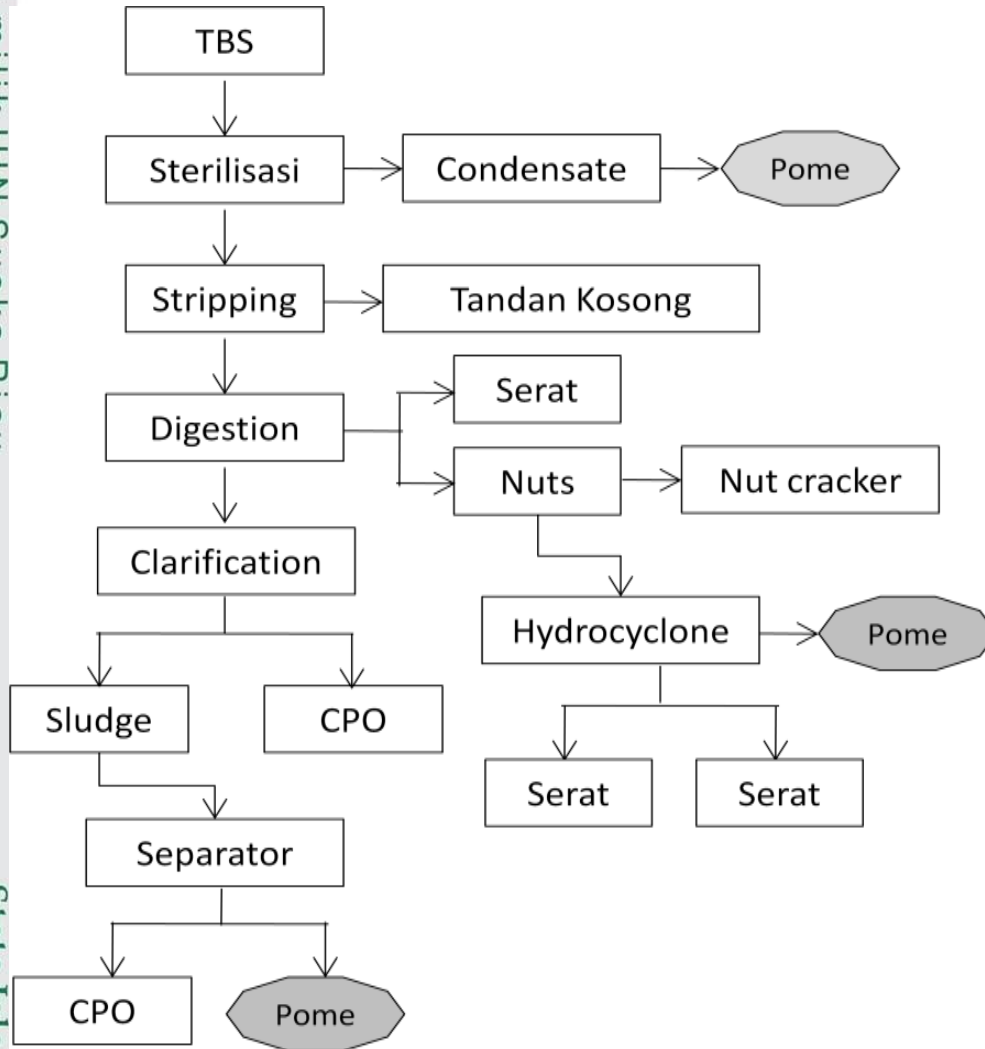
2.2.2 Remote Area Power Supply (RAPS)

Remote Area Power Supply (RAPS) merupakan sistem penyediaan listrik pada daerah yang terpencil ataupun terisolir (*isolate*), dikenal juga dengan sistem *off-grid*. Pada sistem ini pembangkit listrik yang akan dibangun tidak tersambung ke jaringan listrik utama atau disebut juga sistem yang berdiri sendiri (*Stand-Alone Power System/SAPS*). Salah satu contoh sederhana sistem RAPS adalah penggunaan generator diesel mandiri sebagai pembangkit listrik pada desa dengan lokasi terpencil, atau bisa menggunakan teknologi energi terbarukan *photovoltaic (PV)*, Biogas, turbin angin, micro/mini hydro, dan lain sebagainya [23].

2.2.3 Proses Pengolahan Kelapa Sawit

Pengolahan kelapa sawit di pabrik memiliki tujuan untuk memperoleh minyak sawit berkualitas baik. Proses tersebut berlangsung cukup panjang dan memerlukan kontrol yang cermat, dimulai dari pengangkutan tandan buah segar (TBS) dari tempat pengumpulan hasil (TPH) ke pabrik sampai dihasilkan minyak sawit dan hasil sampingnya. Pada dasarnya ada dua macam hasil olahan utama TBS di pabrik, yaitu minyak sawit yang merupakan hasil

pengolahan daging buah dan minyak inti sawit yang dihasilkan dari ekstraksi inti sawit [24]. Secara ringkas tahap-tahap proses pengolahan TBS sampai dihasilkan minyak ditampilkan pada Gambar 2.2 sebagai berikut:



Gambar 2.2 Proses Pengolahan *Crude Palm Oil* (CPO) [24].

Beberapa tahapan pengolahan buah kelapa sawit menjadi minyak sawit mentah (CPO) adalah sebagai berikut [24]:

a. Penerimaan Buah

Tandan buah segar (TBS) hasil pemanenan harus segera diolah lebih lanjut. Pada buah yang tidak segera diolah, maka kandungan asam lemak bebasnya semakin meningkat. Untuk menghindari hal tersebut, maksimal 8 jam setelah panen, TBS harus segera diolah. Untuk mendapat CPO dengan kualitas yang baik harus dilakukan pemilahan TBS dengan memperhatikan tingkat kerusakan buah yang sedikit dan tingkat kematangan yang baik.

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.

Perebusan dan Bantingan

TBS yang telah disortir kemudian direbus dalam suatu tempat perebusan (sterilizer) atau dalam ketel *rebus* pada suhu 143°C dengan tekanan 3 kg/cm² selama 60 menit. Akhir perebusan ditandai dengan beberapa gejala, antara lain bau buah yang gurih, empuk, dan buah mudah rontok. Buah yang sudah direbus kemudian dimasukkan ke dalam alat perontok. Proses sterilisasi mempunyai tujuan antara lain:

1. Menghentikan aktivitas enzim lipase. Terhentinya proses enzim lipase akan mengurangi kerusakan bahan.
2. Menggumpalkan protein dalam buah sawit, penggumpalan protein bertujuan agar protein tidak ikut terekstrak pada waktu pengepresan minyak (ekstraksi).
3. Memudahkan pelepasan buah dari tandan dan inti dari cangkang.
4. Memperlunak daging buah sehingga mempermudah proses ekstraksi.

c. Pelumatan (*Digester*)

Pelumatan ini bertujuan untuk melumatkan biji sawit sehingga daging buah mudah terlepas dari biji serta memudahkan pengeluaran minyak pada tahap pengepresan. Kondisi optimum pada tahap ini yaitu pada level suhu 95-100°C selama 10 hingga 20 menit. Tahapan pelumatan ini dilakukan pada silinder vertikal yang dilengkapi dengan empat pisau pengaduk dan satu set pisau pelempar yang berputar berlawanan arah [24].

d. Ekstraksi

Ekstraksi minyak dilakukan menggunakan *screw press* yang terintegrasi langsung dengan alat pelumat (*digester*). Pada tahap ini dihasilkan dua produk yaitu:

1. Campuran antara minyak, air, dan benda padat lainnya
2. Padatan berupa serat mesokarp buah sawit dan biji sawit hasil pemisahan TBS.

e. Pemurnian Minyak

Proses ini bertujuan untuk memperoleh minyak sebanyak-banyaknya dan menghasilkan CPO dengan kadar asam lemak bebas, kadar air, dan kadar kotoran yang sesuai dengan standar. Minyak mentah yang berasal dari hasil ekstraksi memiliki komposisi rata-rata 66% minyak, 24% air, dan 10% padatan bukan minyak. Karena tingginya proporsi padatan yang masih terdapat pada minyak maka harus dilakukan penambahan air panas agar padatan tersebut larut dengan air. Kemudian minyak disaring untuk memisahkan padatan tersebut. Selanjutnya minyak mentah dimasukkan ke dalam tangki yang berfungsi sebagai tempat penampungan minyak sawit mentah sementara sebelum mengalami proses pemurnian yang lebih lanjut. Minyak berada

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.

pada lapisan atas dipompakan menuju *continuous settling tank* (CST) sedangkan kotoran yang masih mengandung sekitar sepuluh persen minyak dialirkan ke parit untuk dikumpulkan kembali ke dalam main *settling tank*. Pada CST minyak dipisahkan dari kotoran dengan cara pengendapan [24].

Pengering Vakum

Pada pengering vakum, air dikeluarkan dengan sistem pengkabutan minyak di dalam ruang vakum sampai air tersisa 0,1%. Suhu minyak yang masuk antara 90°C hingga 95°C dengan tekanan vakum 30 bar. Minyak terhisap ke dalam tabung vakum melalui nozzle sampai seperti kabut. Uap air terhisap oleh *ejector* dan masuk ke dalam kondensor secara bertahap dan akhirnya ditampung [24].

Penyimpanan CPO

Minyak hasil produksi yang akan dipasarkan ditampung dalam tangki timbun. Bagian dalam tangki timbun umumnya dilapisi dengan bahan yang terbuat dari epoksi untuk mencegah kontaminasi logam besi yang berasal dari bahan tangki timbun. Suhu tangki timbun dikontrol pada suhu 32°C hingga 40°C. Suhu ini cukup untuk memperkecil kerusakan akibat pemanasan dan mampu mencegah minyak memadat [24].

2.2.4 Hasil Samping Pengolahan Pabrik Kelapa Sawit

Selain menghasilkan produk utama yang berupa CPO dan PKO, dalam proses produksi di PKS juga terdapat beberapa hasil samping yang dihasilkan antara lain: tandan kosong, cangkang, serabut, *decanted solid*, *sludge* limbah cair, abu janjang, dan limbah cair dalam jumlah yang sangat besar lebih dari 70% dari setiap pengolahan TBS per ton [3].

Tabel 2.1 Jenis & Estimasi Limbah yang Dihasilkan PKS/Ton TBS [3].

Jenis limbah	Produksi limbah (kg)
Tandan kosong	250
Serabut	130
Cangkang	70
<i>Decanted solid</i>	40
<i>Sludge</i> limbah cair	30
Abu Janjang	5
Limbah cair	600

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.

- 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.

2.2.4.1 Tandan kosong

Tandan kosong kelapa sawit adalah salah satu produk samping berupa padatan dari industri pengolahan kelapa sawit. Ketersediaan tandan kosong kelapa sawit cukup signifikan bila ditinjau berdasarkan rerata nisbah produksi tandan kosong kelapa sawit terhadap total jumlah tandan buah segar TBS yang diproses. Rerata produksi tandan kosong kelapa sawit adalah berkisar 22% hingga 24% dari total berat tandan buah segar yang diproses di Pabrik Kelapa Sawit. Hal ini mengakibatkan menumpuknya tandan kosong dari proses produksi dan menimbulkan lahan olahan untuk janjang kosong ini semakin luas [3].

2.2.4.2 Cangkang

Cangkang merupakan limbah yang dihasilkan dari pemrosesan kernel inti sawit dengan bentuk seperti tempurung kelapa, mempunyai kalor 3500 kkal/kg hingga 4100 kkal/kg, oleh sebab itu cangkang kelapa sawit digunakan sebagai alternatif bahan bakar, Cangkang sawit merupakan bagian paling keras pada komponen yang terdapat pada kelapa sawit. Saat ini pemanfaatan cangkang sawit di berbagai industri pengolahan minyak CPO belum begitu maksimal. Cangkang sawit memiliki banyak kegunaan serta manfaat bagi industri, usaha dan rumah tangga. Beberapa diantaranya adalah produk bernilai ekonomis tinggi, yaitu karbon aktif, asap cair, *fenol*, briket arang, dan tepung tempurung. Secara garis besar, cangkang sawit yang sering dibicarakan orang, memiliki kegunaan sebagai berikut [3]:

1. Sebagai bahan baku arang (sawit) atau *charcoal*.
2. Sebagai bahan bakar untuk boiler.
3. Bahan campuran untuk makanan ternak.
4. Cangkang sawit dipakai sebagai pengeras jalan/pengganti aspal, khususnya di perkebunan sawit.

2.2.4.3 Fiber (Serat)

Serat merupakan limbah sisa perasan buah sawit berupa serabut seperti benang yang diproduksi dari stasiun *fiber cyclone* setelah melewati proses ekstraksi melalui unit *screw press*. Bahan ini mengandung protein kasar sekitar 4% dan juga serat kasar 36% (*lignin* 26%) serta mempunyai kalor 2637 kkal/k hingga 3998 kkal/kg. Dikarenakan nilai kalor yang cukup tinggi ini maka serat banyak di dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar boiler dan di gunakan sebagai sumber energi listrik [3]. Dari hasil uji laboratorium nilai

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.

kalor sampel untuk sampel serabut, cangkang dan tandan kosong kelapa sawit yang diambil dari dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Nilai Kalor Produk Samping PKS [3].

Sampel	Nilai kalor (kl/g)
Cangkang	3.400
Tandan Kosong	1800
Fiber	2.637-4.554

2.2.4.4 Limbah Cair/POME (*Palm Oil Mill Effluent*)

Pengolahan tandan buah segar (TBS) kelapa sawit menghasilkan beberapa jenis limbah. Proses ekstraksi minyak, pencucian, dan pembersihan di pabrik menghasilkan limbah cair kelapa sawit atau POME (*Palm oil mill effluent*). Dalam ekstraksi minyak sawit terdapat 3 proses yang menghasilkan POME [3]:

1. Proses sterilisasi TBS
2. Proses pemurnian CPO, yang meliputi proses pemerasan, pemisahan, dan penjernihan
3. Pemerasan tandan kosong

POME merupakan hasil samping dari produksi di PKS yang paling besar bila dibandingkan dengan hasil produk yang lain. POME mempunyai kandungan senyawa kompleks yang tinggi seperti karbohidrat, protein, lemak dan mineral. POME merupakan cairan kental berwarna coklat yang mengandung total padatan yang tinggi (40,500 mg/L), minyak dan lemak (4000 mg/L), *Chemical oxygen demand* (COD) (50,000 mg/L) dan *Biological oxygen demand* (BOD) (25,000 mg/L). POME dapat mempunyai dampak buruk terhadap lingkungan seperti perairan sungai apabila dibuang tanpa diolah terlebih dahulu. Oleh karena itu mengurangi beban limbah POME sesuai standar mutu air bersih merupakan tantangan dan membutuhkan sistem pengolahan yang efisien dan efektif [3].

Pada Tabel 2.3 dijelaskan berapa kadar senyawa yang terkandung pada limbah cair, baik kadar limbah cair sebelum melalui *treatment* pengolahan, serta baku mutu kadar dari limbah cair yang bisa di alirkan ke sungai.

Tabel 2.3 Karakteristik POME Tanpa Diolah [3].

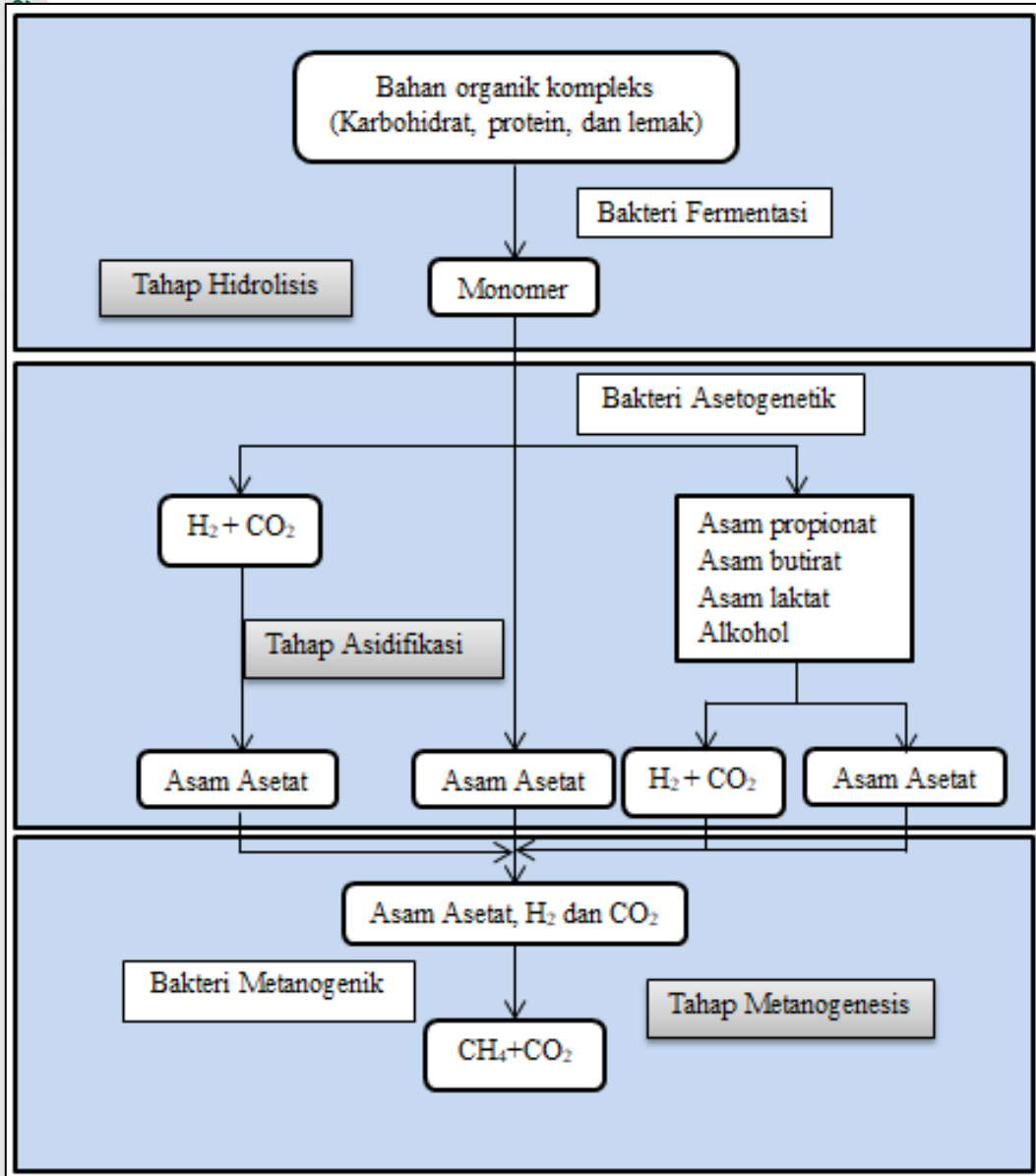
Parameter	Unit	Pome Tanpa Diolah		Baku Mutu Sesuai Aturan	
		Rentang	Rata-Rata	Sungai	Aplikasi Lahan
BOD ₅	Mg/l	8.200-35.000	21.280	100	5.000
COD	Mg/l	15.103-65.100	34.740	350	-
TSS	Mg/l	1.330-50.700	31.740	250	-
Amonia (NH ₃ N)	Mg/l	12-126	41	50	-
pH		3.3-4.6	4	6-9	6-9
Mekanisme POME	m ³ /ton CPO			2,5	

2.2.5 Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Menjadi Biogas

Pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit pada prinsipnya menggunakan metode dan peralatan yang sama dengan pengolahan limbah dari biomasa yang lain. Prinsip kimia yang terjadi pada proses pembentukan Biogas adalah terjadinya fermentasi dari pada karbohidrat, lemak dan protein oleh bakteri metana yang tidak tercampur udara atau dengan kata lain dengan proses *anaerobic digestion*. Proses pembentukan gas metana secara *anaerob* melibatkan interaksi kompleks dari sejumlah bakteri yang berbeda, protozoa maupun jamur. Beberapa bakteri yang berperan adalah *bactericides*, *clostridium butyrium*, *escherichia coli* dan beberapa bakteri usus lainnya, *methanobacterium*, dan *methanobacillus*. Dalam pembentukan Biogas adapun prosesnya terdiri atas tahap hidrolisis, pengasaman (asidifikasi), dan tahap metanogenesis [9].

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.



Gambar 2.3 Tahapan Pembentukan Biogas [9].

2.2.5.1 Hidrolisis

Pada tahap ini terjadi penguraian bahan-bahan organik yang kompleks menjadi sederhana, perubahan struktur bentuk polimer menjadi bentuk monomer yang berupa senyawa tak terlarut dengan berat molekul yang lebih ringan. Lipid berubah menjadi asam lemak rantai panjang dan gliserin, polisakarida menjadi gula (mono dan disakarida), protein menjadi asam amino dan asam nukleat, menjadi purin dan purimidin. Konversi lipid terjadi lambat dibawah suhu 20°C. Proses hidrolisis membutuhkan mediasi exo-enzim yang diekskresi oleh bakteri fermentative. Hidrolisis molekul kompleks dikatalisasi oleh enzim ekstra seluler seperti selulase, protease, dan lipase [3].

2.2.5.2 Pengasaman (Asidifikasi)

Pada tahapan ini, bakteri akan mengubah polimer sederhana hasil dari hidrolisis menjadi asam asetat (CH_3COOH), hidrogen (H_2), dan karbon dioksida (CO_2). Untuk mengubah menjadi asam asetat, bakteri membutuhkan oksigen dan karbon yang terdapat dalam larutan. Bakteri ini merupakan bakteri anaerob yang dapat tumbuh dengan keadaan asam yaitu pH 5,5 hingga 6,5 yang bekerja secara optimum pada temperatur sekitar 30°C . Asam asetat sangat diperlukan selanjutnya yang akan digunakan oleh mikroorganisme dalam pembentukan gas metana. Tahapan ini dilakukan oleh bakteri obligat anaerob dan sebagainya adalah bakteri anaerob fakultatif. Selain itu untuk terjadinya metabolisme secara merata diperlukan percampuran dengan konsentrasi air lebih besar dari 60% [3].

2.2.5.3 Asetogenesis

Tahapan ini adalah lanjutan dari tahap asidifikasi, pada tahapan ini sekitar dari 79% COD diubah menjadi asam asetat. Pembentukan asetat biasanya kadang-kadang disertai dengan pembentukan CO_2 dan hidrogen, tergantung dari kondisi oksidasi bahan organiknya. Etanol, asam butirat dan asam laktat diubah menjadi asam asetat oleh bakteri asetogenetik [3].

2.2.5.4 Metanogenesis

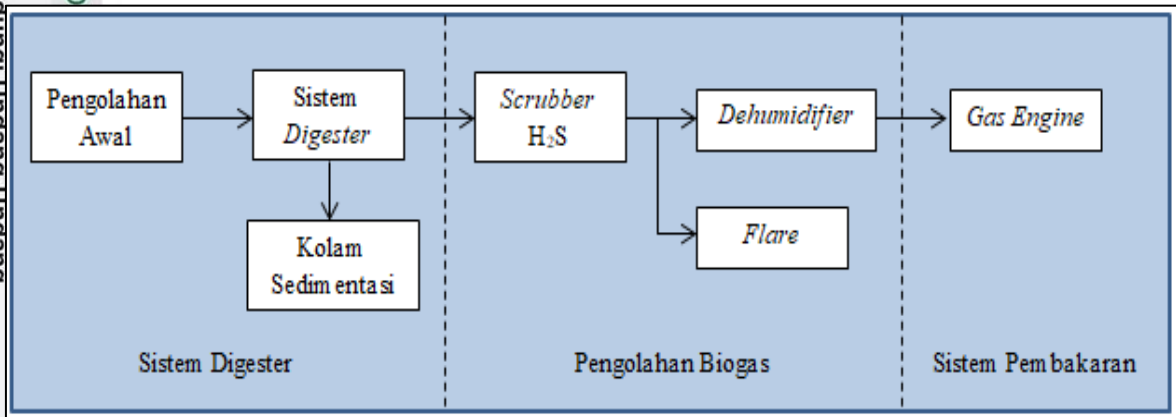
Pada tahapan ini adalah terbentuknya metana dan karbon dioksida. Metana dihasilkan dari asam asetat atau dari reduksi karbondioksida oleh bakteri asetotropik dan hidrogenotropik dengan menggunakan hidrogen. Pada tahapan ini senyawa dengan berat molekul rendah di dekomposisi oleh bakteri metanogenetik menjadi senyawa dengan berat molekul tinggi. Bakteri penghasil metana memiliki kondisi atmosfer yang sesuai akibat proses bakteri penghasil asam. Asam yang dihasilkan bakteri pembentuk asam akan digunakan untuk bakteri penghasil metana [3].

2.2.6 Pembangkit Listrik Tenaga Biogas

Pembangkit listrik tenaga Biogas (PLTBG) merupakan suatu pembangkit energi listrik menggunakan Biogas sebagai bahan bakar utama yang dihasilkan dari proses fermentasi pengolahan limbah di dalam suatu *digester*, dimana untuk mengonversi potensi Biogas dari *digester* menggunakan *gas engine*. Teori alur analisis teknis mengikuti referensi dari *e-book* yang disusun oleh Sri Rahayu dan kawan-kawan dengan tema “Konversi POME Menjadi Biogas”. Buku ini menjelaskan konversi POME menjadi energi listrik [3].

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.

Adapun bagian utama dalam pembangkit listrik tenaga Biogas (PLTBG) adalah sebagai berikut [3]:



Gambar 2.4 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biogas [3].

Dalam komponen PLTBG dibagi atas sistem digester, pengolahan Biogas dan sistem pembakaran. Berikut komponen-komponen utama dari suatu fasilitas komersial konversi POME menjadi Biogas[3]:

2.2.6.1 Digester

Sistem digester terdiri dari proses pengolahan awal, digester, dan kolam sedimentasi. Dalam proses ini, POME dikendalikan untuk mencapai nilai-nilai parameter yang dibutuhkan untuk masuk ke digester. Pada tahap ini, dilakukan proses penyaringan untuk menghilangkan partikel besar seperti kotoran dan serat. Proses pengadukan dan netralisasi pH dilakukan untuk mencapai pH optimal pada 6,5-7,5. Sebuah sistem pendingin (*cooling tower* atau *heat exchanger*) berfungsi untuk menurunkan suhu POME menjadi sekitar 40°-50°C. Suhu digester harus dijaga dibawah 40°C agar kondisi *mesophilic* optimal. Penurunan suhu ini juga dibantu dengan proses resirkulasi air limbah keluaran dari digester. Air limbah setelah pengolahan awal dipompa ke digester, dimana terdapat beberapa teknologi digester yang digunakan untuk mengonversi POME menjadi Biogas, antara lain sebagai berikut [3]:

- a. Kolam Tertutup (*Covered Lagoon*)

Covered lagoon, atau biasa disebut kolam tertutup, pada dasarnya merupakan kolam yang dilengkapi dengan membran penutup yang kuat untuk menyimpan Biogas. Kolam tertutup umumnya memiliki kontak bakteri ke substrat yang kurang baik, dengan tingkat pengolahan yang sangat rendah. Metode ini memerlukan waktu retensi hidrolis antara 20-90 hari dan membutuhkan area yang besar. Pada umumnya untuk kapasitas pengolahan limbah yang sama, investasi lebih rendah dibandingkan sistem tangki/CSTR, namun membutuhkan area yang lebih luas. Desain kolam tertutup

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

Biasanya untuk menangani limbah dengan kandungan padatan kurang dari 3%, dan umumnya beroperasi dalam kisaran suhu *mesophilic*. Operator harus menghilangkan padatan berserat di dalam limbah sebelum proses penguraian dapat dilakukan [3].



Gambar 2.5 Digester Covered Lagoon [3].

b. *Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*

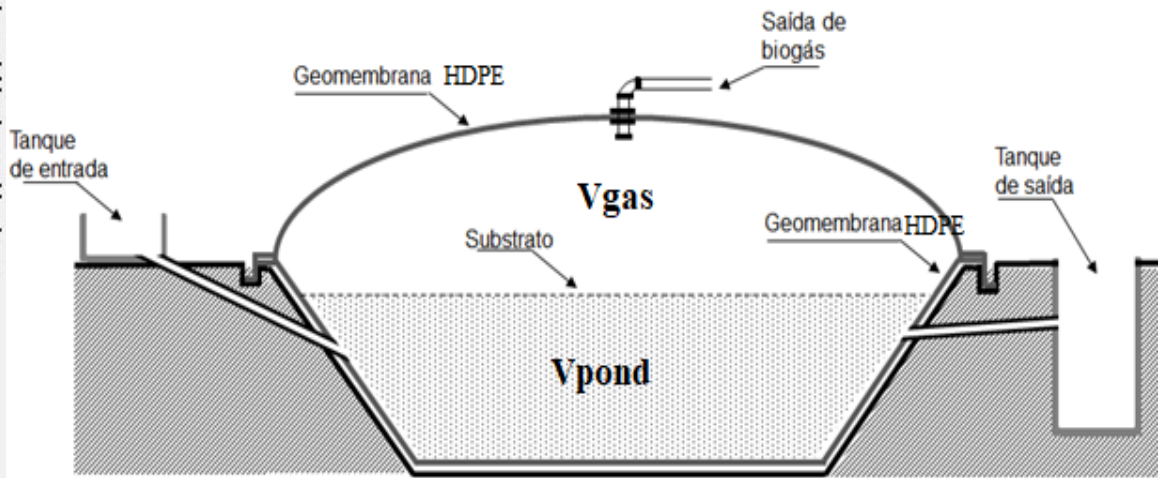
Continuous stirred tank reactor (CSTR), juga dikenal sebagai reaktor kontak, biasanya berbentuk silinder yang terbuat dari beton atau logam dengan rasio diameter dan tinggi silinder yang kecil. Sistem ini dilengkapi dengan perangkat *thickener*, *clarifier*, atau *Dissolved Air Flootation (DAF)* untuk memekatkan biomasa. CSTR dapat beroperasi pada suhu *mesophilic* maupun termofilik. Pengadukan dalam CSTR dapat dilakukan secara mekanik, hidrolik, maupun injeksi gas. CSTR dapat mengakomodasi berbagai padatan dalam rentang yang besar. Selain itu, CSTR juga dapat memproses campuran dari berbagai jenis limbah. Desain ini umumnya digunakan untuk limbah dengan kandungan padatan 3% hingga 10%. Bila dibandingkan dengan kolam anaerobik, CSTR memerlukan biaya modal dan operasional yang lebih tinggi untuk memelihara stabilitas dan keandalan produksi Biogas [3].



Gambar 2.6 *Continuous Stirred Tank Reactor* [3].

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.

Dibawah ini gambar bentuk penampang digester covered lagoon yang digunakan dalam perencanaan digester dengan penjelasan sebagai berikut:



Gambar 2.7 Penampang Digester Biogas *Covered Lagoon* [25].

Ukuran digester ditentukan berdasarkan laju alir POME, beban COD, dan waktu retensi hidrolis (HRT) yang diperlukan untuk penguraian yang optimal. Sehingga dapat ditentukan ukuran volume kolam penampung lumpur (V_{pond}) dengan persamaan berikut [3]:

$$V_{pond} (m^3) = HRT (hari) \times \text{Aliran limbah cair harian} (m^3/hari) \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

HRT: Lama waktu rata-rata suatu senyawa yang mudah larut untuk tetap berada di dalam *bio-digester* (20-90 hari).

Kapasitas ruang penampung gas (V_{gas}) adalah 20% dari volume digester, sehingga volume total digester pada tipe *cover lagoon* dihitung dengan persamaan sebagai berikut [3]:

$$\text{Volume Digester} = V_{pond} (m^3) + V_{gas} (m^3)$$

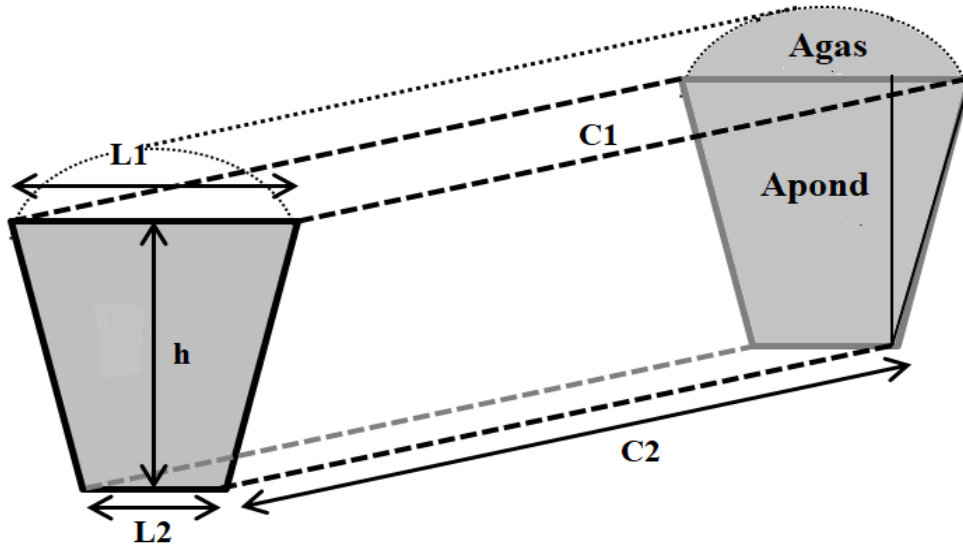
$$\text{Volume Digester} = V_{pond} (m^3) + 20\% \text{ Volume Digester}$$

$$\text{Volume Digester} - 20\% \text{ Volume Digester} = V_{pond} (m^3)$$

$$80\% \text{ Volume Digester} = V_{pond} (m^3)$$

$$\text{Volume Digester} (m^3) = V_{pond} (m^3) \div 80\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Untuk mendesain bagian *lagoon* pada digester, dapat dilihat pada gambar dimensi geometrik kolam digester dibawah ini:



Gambar 2.8 Dimensi Geometrik *Digester Covered Lagoon* [26].

Berdasarkan gambar dimensi geometrik *lagoon* diatas, berlaku ketentuan bentuk geometrik sisi-sisi digester sehingga dapat dihitung luas total geo membran HDPE yang dibutuhkan untuk melapisi *lagoon* dan men cover nya secara keseluruhan guna memaksimalkan *methane capture* dengan persamaan 2.3 [25], 2.4 [27], dan 2.5 [27] berikut.

$$A_{pond} (m^2) = \left(\frac{1}{2} \times \frac{L1+L2}{2} \times h \times 2\right) + \left(\frac{1}{2} \times \frac{C1+C2}{2} \times h \times 2\right) + (C2 \times L2) \dots\dots\dots (2.3)$$

$$A_{gas} (m^2) = \pi \frac{L1}{2} \left(\frac{L1}{2} + C1\right) \dots\dots\dots (2.4)$$

$$A_{Total} (m^2) = A_{pond} (m^2) + A_{gas} (m^2) \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

- A_{Total} = Luas seluruh permukaan digester (m²)
- A_{pond} = Luas permukaan *lagoon* (m²)
- A_{gas} = Luas permukaan *cover* (m²)
- L1 = Lebar *lagoon* bagian atas (m)
- L2 = Lebar *lagoon* bagian bawah (m)
- C1 = Panjang *lagoon* bagian atas (m)
- C2 = Panjang *lagoon* bagian bawah (m)
- h = Tinggi *lagoon* (m)

Hak Cipta Ditanggung 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.

2.2.6.2 Scrubber Hidrogen Sulfida (H₂S)

Untuk digunakan menjadi bahan bakar pembangkit listrik, maka proses pemurnian menjadi sesuatu yang sangat penting. Untuk menjaga umur komponen pembangkit harus dilakukan pemurnian Biogas dari unsur H₂S. Pencucian (pengurangan) H₂S dari Biogas dapat dilakukan secara fisika, kimia ataupun biologi. Pemurnian secara fisika dilakukan dengan cara penyerapan dengan air, pemisahan dengan menggunakan membran atau absorpsi dengan menggunakan karbon aktif. Tujuan dari pencucian Biogas adalah sebagai berikut [3]:

1. Mencegah korosi
2. Menghindari keracunan H₂S (maksimum yang diperbolehkan adalah 5ppm)
3. Mencegah kandungan sulfur dalam Biogas, yang jika terbakar akan menjadi SO₂ atau SO₃, yang lebih berbahaya dari pada H₂S
4. Mengurangi SO₂ yang terbawa oleh gas buang Biogas sehingga dapat mengurangi titik embun dalam cerobong.

Sebelum Biogas digunakan untuk bahan bakar *gas engine*, konsentrasi H₂S harus diturunkan hingga 200 ppm. Ada 3 jenis *scrubber* yang digunakan dalam desulfurisasi dalam Biogas, yaitu *scrubber* kimia, *scrubber* biologis, *scrubber* air. *Scrubber* kimia menggunakan bahan kimia seperti NaOH untuk mengubah H₂S menjadi SO₄. *Scrubber* biologis menggunakan bakteri sulfur oksidasi untuk mengubah H₂S menjadi SO₄. *Scrubber* air bekerja berdasarkan penyerapan fisik dari gas-gas terlarut dalam air dan menggunakan air bertekanan tinggi. *Scrubber* biologis biasa digunakan pada aplikasi POME menjadi energi listrik karena biaya operasionalnya lebih rendah daripada yang lain [3].



Gambar 2.9 Scrubber H₂S [3].

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

2.2.6.3 Dehumidifier Biogas

Alat ini berfungsi untuk gas mengurangi kadar air dalam Biogas yang akan dialirkan ke dalam *gas engine*. *Dehumidifier* mengambil air yang terkandung di dalam Biogas, sehingga mengoptimalkan proses pembakaran pada mesin, mencegah pengembunan, dan melindungi mesin dari pembentukan asam. Biogas dikatakan berkualitas baik ketika kelembapan nya dibawah 80%, sehingga meningkatkan efisiensi mesin dan mengurangi konsumsi bahan bakar gas [3].



Gambar 2.10 *Dehumidifier* Biogas [3].

Adapun sistem *dehumidifier* Biogas yang tersedia di pasaran dengan spesifikasi dibawah ini:

Tabel 2.4 Spesifikasi *Dehumidifier* Biogas

No	Model	Laju aliran gas (m ³ /h)	Gas Inlet Connection	Gas Outlet Connection	Condensate removed (kg/h)
1	skd60-007-R	60	DN80	DN40	3,1
2	skd105-010-R	105	DN80	DN40	5,4
3	skd165-014-R	165	DN125	DN50	8,5
4	skd265-024-R	265	DN125	DN50	13,5
5	skd240-029-R	240	DN125	DN50	12,8
6	skd360-039-R	360	DN200	DN100	19,3
7	skd510-057-R	510	DN200	DN100	27,3
8	skd720-076-R	720	DN200	DN100	38,5
9	skd1110-116-R	1110	DN350	DN150	59,4
10	skd1620-116-R	1350	DN350	DN150	68,5

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.

2.2.6.4 Flare Biogas

Flare digunakan untuk membakar kelebihan Biogas. Dengan alasan keamanan, PLTBG harus dipasang *flare* untuk membakar kelebihan Biogas terutama pada saat Biogas tidak dapat di umpankan ke *gas engine* ataupun peralatan pembakar lainnya. Kelebihan produksi Biogas mengakibatkan laju alir Biogas melebihi batas maksimum Biogas yang dapat masuk ke dalam *gas engine*. *Flare* juga digunakan pada saat *gas engine* tidak beroperasi atau dalam masa pemeliharaan. Operator tidak boleh melepaskan Biogas ke atmosfer secara langsung karena sifatnya yang mudah terbakar pada konsentrasi tinggi. Selain itu, pelepasan Biogas secara langsung sama halnya dengan pelepasan gas rumah kaca ke atmosfer seperti layaknya pembuangan limbah terbuka [3].



Gambar 2.11 *Flare* [3].

2.2.6.5 Gas engine

Gas engine sama halnya dengan motor bakar, yang membedakannya adalah bahan bakar yang digunakan berupa gas alam, Biogas yang berasal dari proses konversi dari asifikasi. Pada *gas engine* udara yang bercampur dengan gas di dalam karburator masuk melalui saluran intake ke ruang pembakaran, pada saat bersamaan melalui percikan bunga api *spark plug (busi)* terjadi pembakaran yang akan menghasilkan tenaga listrik.

Pada saat sekarang ini, *gas engine* lebih banyak digunakan karena memiliki efisiensi yang lebih tinggi hingga 76%-86%, juga menghasilkan gas buang yang lebih ramah lingkungan. Keunggulan menggunakan *gas engine* adalah sebagai berikut:

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.

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.

Ukuran yang lebih kecil dengan volume 5,7 x 1,7 x 2,3. Sehingga dapat ditempatkan pada ruang yang lebih kecil dengan beberapa unit *gas engine*, serta dapat diatur sesuai dengan kapasitas laju aliran gas.

Kontainer kedap suara yang dapat mengurangi polusi suara/kebisingan sehingga, tidak membutuhkan ruangan tertutup dan dapat ditempatkan di luar ruangan, serta dapat beroperasi dengan normal tanpa membuat kebisingan.

Di dalam mesin ini knalpot sudah menjadi satu bagian dengan mesin, sehingga tidak membutuhkan biaya untuk membeli knalpot sebagai sistem pembuangan mesin.

Beberapa produk *gas engine* memiliki efisiensi mencapai 76-86%.

Proses yang terjadi pada saat membangkitkan listrik sama halnya dengan mesin secara umum, *gas engine* tipe MWM TCG dapat membangkitkan listrik dengan menggunakan gas yang mengandung CH₄, CO₂ dan Nitrogen, serta O₂. Penggunaan gas dapat digunakan tanpa dilakukan pemurnian terlebih dahulu, namun harus memiliki kandungan metana sekitar 27-60% untuk dapat menghasilkan listrik sebesar 800 kW [28]. Adapun model MWM TCG seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.12 *Gas engine* MWM TCG [28].

2.2.7 Perhitungan Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas POME

Perhitungan potensi pembangkitan energi dari Biogas dapat dilakukan dengan menggunakan nilai dari beberapa parameter penting. Tabel 2.5 menguraikan parameter *input* yang harus diidentifikasi.

Tabel 2.5 Menghitung Potensi Energi Listrik dari POME [3].

Parameter	Unit	Keterangan
Jam operasi	Jam/hari	Rata-rata jumlah jam operasi pabrik dalam sehari
Hari operasi	Hari/tahun	Rata-rata jumlah hari pabrik beroperasi dalam setahun
TBS tahunan	Ton TBS/tahun	Jumlah TBS yang diproses dalam setahun
Rasio POME terhadap TBS	m ³ /ton TBS	Rasio volume POME yang dihasilkan per TBS yang diolah POME : TBS = (m ³ POME) / (ton TBS)
COD	mg/L	COD limbah cair hasil analisis laboratorium

Perhitungan ini didasarkan pada beberapa asumsi parameter operasi. Tabel 2.6 dibawah ini merinci asumsi tersebut.

Tabel 2.6 Asumsi dalam Menghitung Potensi Daya [3].

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Keterangan
Rasio konversi CH ₄ terhadap COD	CH ₄ /COD	0,35	Nm ³ CH ₄ /kg COD <i>removed</i>	Volume metana yang dihasilkan per kg COD yang dihilangkan dari air limbah secara teoritis
Efisiensi COD <i>removal</i>	COD _{eff}	80-95	%	Persentase COD yang akan diubah menjadi metana
Nilai Energi Metana	CH _{4,ev}	35,7	MJ/m ³ CH ₄	Kandungan energi metana
Rata-rata efisiensi kelistrikan	Gen _{eff}	38-42	%	Efisiensi <i>gas engine</i> dalam mengonversi nilai energi metana menjadi energi listrik

Dikarenakan PLT *hybrid* ini di proyeksi akan di bangun pada tahun 2023, maka diperlukan prediksi untuk mengetahui jumlah TBS yang diolah dan kandungan COD di tahun 2023. Penulis menggunakan model *regresi linier* sederhana, sehingga perkiraan jumlah TBS dan kandungan COD dapat dihitung dengan persamaan [29]:

$$P_x(\text{Tahun}) = P_a(1 + r)^x \dots\dots\dots (2.6)$$

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan 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:

P_x = Jumlah TBS (ton) atau COD (mg/L) pada tahun x (proyeksi)

P_a = Jumlah TBS (ton) atau COD (mg/L) pada tahun awal proyeksi

r = Rata-rata pertumbuhan per tahun (%)

t = Selang waktu proyeksi (tahun)

Berdasarkan karakteristik limbah cair PKS dan asumsi yang tercantum di atas, dapat dilakukan perhitungan potensi daya. Bagian berikut menunjukkan tahap perhitungan [3]:

$$\text{Bahan baku harian} \left(\text{ton} \frac{\text{TBS}}{\text{hari}} \right) = \frac{\text{TBS olah tahunan}}{\text{hari operasi dalam setahun}} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$\text{Aliran limbah cair harian} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) = \text{kapasitas olah} \times \frac{\text{jam operasi dalam setahun}}{\text{hari operasi dalam setahun}} \times \text{rasio POME terhadap TBS} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$\text{COD loading} \left(\frac{\text{kg COD}}{\text{hari}} \right) = \text{COD} \times \text{Aliran limbah cair harian} \times \frac{\text{kg}}{1.000.000 \text{ mg}} \times \frac{1.000 \text{ l}}{\text{m}^3} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$\text{Produksi CH}_4 \left(\frac{\text{m}^3 \text{CH}_4}{\text{hari}} \right) = \text{COD loading} \times \text{COD}_{\text{eff}} \times \frac{\text{CH}_4}{\text{COD}} \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan:

COD_{eff} : Nilai efisiensi penyisihan COD yang akan diubah menjadi metana adalah sebesar 80%, dimana nilai $\text{COD}_{\text{eff}} = 80\%$ merupakan nilai dengan produksi Biogas terendah.

$$\text{Kapasitas pembangkitan (MW)} = \frac{\text{Produksi CH}_4 \times \text{CH}_{4, \text{ev}} \times \text{Gen}_{\text{eff}}}{24 \times 60 \times 60} \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan:

Gen_{eff} : Nilai efisiensi dari *gas engine* diperoleh berdasarkan kapasitas *gas engine* dan ketersediaan barang di pasaran, dimana digunakan nilai $\text{Gen}_{\text{eff}} = 43,1\%$.

$$\text{Kapasitas daya harian} \left(\frac{\text{MWh}}{\text{hari}} \right) = \text{kapasitas pembangkitan} \times \frac{\text{Produksi CH}_4}{\text{fuel consumption}} \dots \dots \dots (2.12)$$

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

2.2.8 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

2.2.8.1 Pengertian PLTS

Berdasarkan SNI 8395:2017, PLTS adalah sistem pembangkit listrik yang energinya bersumber dari radiasi matahari melalui konversi sel *photovoltaic*. Sistem *photovoltaic* mengubah radiasi sinar matahari menjadi listrik. Semakin tinggi intensitas radiasi (iradiasi) matahari yang mengenai sel *photovoltaic*, semakin tinggi daya listrik yang dihasilkannya.

Karena listrik seringkali dibutuhkan sepanjang hari, maka kelebihan daya listrik yang dihasilkan pada siang hari disimpan di dalam baterai sehingga dapat digunakan kapan pun untuk berbagai alat listrik [30].

Sistem *photovoltaic* dapat dianalogikan dengan sistem penampungan air hujan. Jumlah air yang ditampung berubah sesuai dengan cuaca, sehingga terkadang banyak air yang terkumpul, terkadang tidak ada sama sekali. Pada sistem *photovoltaic*, jumlah listrik yang dikumpulkan oleh sistem *photovoltaic* tergantung dengan cuaca. Saat hari cerah, banyak listrik yang dihasilkan, sedangkan saat berawan, sedikit listrik yang dihasilkan [30].

2.2.8.2 Komponen-Komponen PLTS

A. Solar Photovoltaic (PV)

Solar Photovoltaic (PV) adalah Modul yang mengonversi langsung cahaya matahari menjadi arus listrik. Bahan-bahan tertentu, seperti silikon, secara alami melepaskan elektron ketika mereka terkena cahaya, dan elektron ini kemudian dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan arus listrik. PV memiliki beberapa tipe, beberapa jenis PV akan di jelaskan sebagai berikut [31]:

1. Monocrystalline

Monocrystalline juga disebut dengan kristal tunggal (mono-Si), Jenis ini adalah jenis yang memiliki efisiensi yang paling tinggi di kelasnya. Dibuat dengan potongan-potongan kristal yang sama, sehingga memiliki karakteristik yang sama setiap selnya, efisiensi pada *monocrystalline* mampu mencapai 15-20% oleh karena itu harga *monocrystalline* lebih mahal di kelasnya.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
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.

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.



Gambar 2.13 PV *Monocrystalline* [31].

Kelemahan dari *monocrystalline* adalah memiliki bentuk seperti terpotong pada bagian tepi atau segi enam, apabila di satukan dengan sel yang lain maka akan membentuk ruang kosong pada daerah tengah antara sel. Hal ini menyebabkan ruang sisa yang cukup banyak apabila di pasang dengan skala besar. Kelemahan berikutnya yang terdapat pada *monocrystalline* adalah penyerapan panas yang lebih banyak dari *polycrystalline* hal ini dikarenakan warna pada sel *monocrystalline* berwarna hitam, akibatnya suhu pada permukaan sel *monocrystalline* lebih panas dibandingkan dengan *polycrystalline*.

2. *Polycrystalline*

Polycrystalline dibuat lebih sederhana di bandingkan *monocrystalline*, cara pembuatannya ialah dengan mencairkan kristal-kristal silikon dan menuangnya ke cetakan kemudian didinginkan, karena menggunakan cetakan maka *polycrystalline* dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan. Efisiensi yang di hasilkan oleh *polycrystalline* adalah sekitar 13-16%.



Gambar 2.14 PV *Polycrystalline* [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.

Warna kebiruan pada *polycrystalline* menyebabkan suhu pada permukaan sel tidak setinggi pada *monocrystalline*, akan tetapi untuk menghasilkan daya listrik yang sama *polycrystalline* akan membutuhkan luas permukaan yang lebih luas.

Thin Film

Thin Film merupakan panel surya yang menggunakan banyak lapisan material sebagai lapisan pembentuknya, ketebalan pada material yang terdapat pada panel ini mencapai nanometer (nm) hingga micrometer (μm). Efisiensi PV *thin film* (5-6%) dengan biaya material dan biaya produksi pembuatan jauh lebih murah dibandingkan *monocrystalline* atau *polycrystalline*.



Gambar 2.15 PV *Thin Film* [31].

B. *Inverter Bidirectional*

Inverter adalah perangkat keras yang berfungsi untuk mengubah atau mengonversikan arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) dikarenakan arus yang dihasilkan oleh panel surya adalah arus searah. Untuk jenis *inverter* pada jaringan PLTS *off grid* biasanya tidak menggunakan *Maximum Power Point Tracker* (MPPT). Pada *inverter bidirectional*, maka apabila sebuah *inverter* (DC ke AC) juga dilengkapi dengan kemampuan sebagai *rectifier* yaitu dari AC ke DC. *Inverter bidirectional* pada hakikatnya berfungsi sebagai [32]:

1. *Voltage conditioning* sebelum di catu ke *load*.
2. Berfungsi sebagai *Inverter* dengan mengonversi listrik DC yang dihasilkan *solar PV system* menjadi listrik AC yang akan di catu ke *load*.
3. *Inverter bidirectional* dengan hibrid PLTD atau turbin angin dapat berfungsi sebagai charger untuk pengisian baterai dengan memanfaatkan kelebihan listrik dari genset tersebut.
4. Berfungsi mengatur pengisian baterai dari modul surya.

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.

Mengatur dan mengelola pembangkit mana yang harus bekerja sesuai dengan kebutuhan beban (*load*), termasuk mematikan dan menyalakan genset.

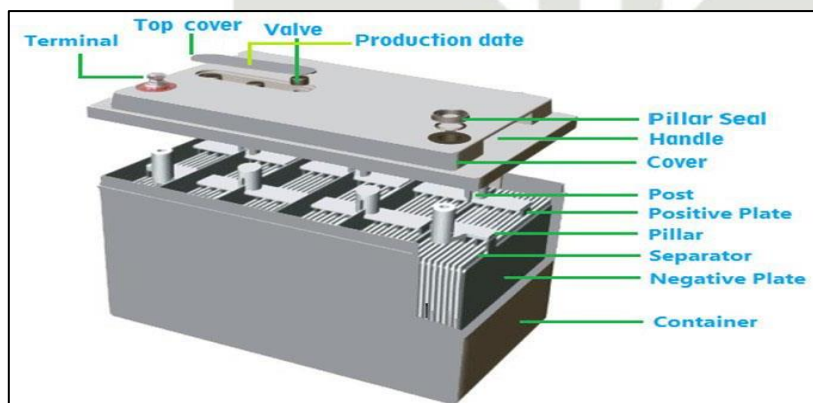


Gambar 2.16 *Bidirectional Inverter* [33].

C. Baterai

Pengertian baterai berdasarkan SNI 8395:2017 adalah alat yang terdiri dari satu atau lebih sel dimana energi kimia diubah menjadi energi listrik dan digunakan sebagai penyimpan energi listrik. Tanpa baterai maka energi surya hanya dapat digunakan pada saat ada sinar matahari saja karena tidak ada alat penyimpan energinya. Pada umumnya untuk sistem PLTS *off grid* digunakan baterai yang bebas perawatan yaitu baterai VRLA (klep pengatur asam timbal atau *valve regulated lead acid*).

Karena baterai tipe ini memiliki lubang katup yang berfungsi untuk pertukaran gas sehingga umur baterai akan tetap maksimal.



Gambar 2.17 Konstruksi Baterai VRLA [31].

2.2.9 Perhitungan Kapasitas Komponen Utama PLTS

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

2.2.9.1 PV Array

Dalam menetapkan jumlah dan kapasitas PV array yang akan digunakan, ada beberapa hal yang menjadi variabel perhitungan. Adapun variabel-variabel yang menjadi perhitungan tersebut, yaitu [34]:

a. *Oversupply Co-Efficient* (f_o)

Di mana setiap data sumber bulanan atau bulan terburuk digunakan untuk energi terbarukan ukuran generator, ‘kelebihan pasokan yang efisiensi f_o ’ dapat digunakan dalam proses perencanaan untuk memungkinkan ukuran yang dibutuhkan. Untuk keperluan ukuran generator, beban desain harus dikalikan terlebih dahulu dengan kelebihan pasokan efisiensi f_o . *Typical* untuk efisiensi f_o diberikan masuk Tabel 2.7. Nilai yang sesuai harus di butuhkan berdasarkan pertimbangan di atas, begitu pula pada sifat bebannya. Beban kritis memerlukan nilai yang lebih tinggi, dari pada beban kritis.

Tabel 2.7 Nilai-nilai tipikal untuk *coefficient over supply* [34].

Jenis energi terbarukan	<i>oversupply coefficient, f_o</i>
<i>Photovoltaic array</i> (seluruhnya atau terutama)	1.3 – 2.0

b. Nominal efisiensi baterai (η_{bat})

Pada setiap PLTS digunakan baterai jenis *lead acid*, menurut AS/NZS 4509.2:2010 baterai jenis *lead acid* memiliki efisiensi 90% sampai 95%.

c. Pemilihan modul surya

Pemilihan modul Surya ditentukan oleh peneliti sendiri karena setiap jenis modul surya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing.

d. *Irradiation On Tilted Plane* (H_{tilt})

Irradiation on tilted plane adalah radiasi yang diterima oleh modul surya saat modul surya berada di kemiringan yang telah di tentukan.

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.

Design Load Ah

Design load Ah adalah kebutuhan energi listrik dalam satuan *Ampere-hour* (Ah) untuk menghitung *Design load Ah* menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Design\ load\ Ah = \frac{E_{tot}}{V_{dc}} \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

- Design load Ah* = Kebutuhan energi listrik (Ah)
- E_{tot} = Total kebutuhan energi harian (Wh)
- V_{dc} = Nominal tegangan DC (V)

f. *Required Array Output*

Required array output adalah nominal daya yang harus di suplai oleh *photovoltaic array* (dalam satuan Ah) dengan memperhitungkan efisiensi baterai (η_{bat}). Untuk menghitung *required array output* menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Required\ array\ output(Ah) = \frac{Design\ load\ Ah}{\eta_{bat}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

- Design load Ah* = Kebutuhan energi listrik (Ah)
- η_{bat} = Efisiensi baterai (%)

e. *Daily Charge Output Per Module*

Daily charge output per module adalah energi yang di hasilkan satu modul per hari (dalam Ah). Untuk menghitung *daily charge output per module* menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Daily\ charge\ output\ per\ module = (1 - Toleransi\ pabrik) \times I_{T,V} \times f_{dirt} \times H_{tilt} \dots (2.15)$$

Keterangan:

- Toleransi Pabrik = Toleransi pabrik terhadap daya keluaran (%)
- $I_{T,V}$ = Arus hubung singkat dibawah temperatur operasi (NOCT) (A)
- f_{dirt} = Derating factor karena debu (%)
- H_{tilt} = Irradiation on tilted plane (kWh/m²/hari)

f. *Number of parallel strings required (N_p)*

Number of parallel strings required adalah jumlah modul *photovoltaic* yang akan dihubungkan secara paralel. Untuk menghitung *Number of parallel strings required* menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

$$N_p = \frac{\text{Required array output} \times f_o}{\text{Daily charge output per module}} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan:

f_o = Oversupply co-efficient (1,3-2)

Number Of Series Modules Per String (N_s)

Number of series modules per string adalah jumlah modul *photovoltaic* yang akan di hubungkan secara seri. Untuk menghitung *Number of series modules per string* menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$N_s = \frac{V_{dc}}{V_{oc}} \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan:

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

V_{oc} = Nominal tegangan modul (V)

h. *Total Number Of Modules In Array (N)*

Total number of modules in array adalah total keseluruhan modul *photovoltaic* yang akan di gunakan. Jumlah modul *photovoltaic* yang akan digunakan. Untuk menghitung *Total number of modules in array* menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$N = N_p \times N_s \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan:

N_p = *Number of parallel string required*

N_s = *Number of series modules per string*

i. Kapasitas Total PV Array ($P_{PV \text{ array}}$)

Setelah didapatkan jumlah keseluruhan modul *photovoltaic* yang akan digunakan, maka kapasitas daya dari *photovoltaic* pada sistem pada pembangkit hibrida dapat di hitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_{PV \text{ array}} = \text{jumlah modul PV} \times \text{daya per modul PV (Wp)} \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan:

$P_{PV \text{ array}}$ = kapasitas daya dari setiap PV array (Wp)

2.2.9) Baterai

Dalam perancangan dan pemilihan baterai yang akan digunakan, ada beberapa variabel perhitungan yang harus dimasukkan, yaitu [34]:

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.

Design load Ah

Design load Ah baterai adalah kebutuhan energi listrik dalam satuan *Ampere-hour* (Ah). Untuk menghitung daya dalam satuan *ampere* menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Design load Ah baterai} = \frac{E_{\text{tot}}}{V_{\text{dc}}} \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan:

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

V_{dc} = Tegangan *inverter* yang digunakan (V)

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

Target hari otonomi (T_{aut}) Merupakan target ketika operasi maksimum baterai tanpa masukan energi dari *photovoltaic array* dan generator sebelum melebihi DoD maksimum baterai. Berdasarkan standar AS/ NZS 4509.2.2010, untuk sistem hibrida menggunakan generator dengan kontrol otomatis dapat menggunakan waktu otonomi 2 sampai 3 hari.

c. *Maximum depth of discharge* (DoD_{max})

Merupakan batas pengosongan dari baterai, besarnya muatan listrik maksimum dari baterai yang diizinkan untuk digunakan. Sebagai contoh, penarikan muatan listrik sebesar 40 Ah dari baterai dengan kapasitas 100 Ah, maka ini bisa di katakan DoD sebesar 80%, sehingga dalam proses penarikan muatan listrik 20% di dalam setiap baterai, hal ini bertujuan untuk menjaga umur pakai baterai agar tahan lama.

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

Menurut AS/NZS 4509.2.2010, pemilihan C_x harus di pertimbangkan dengan beban maksimum dan durasi beban. *Discharge rate* 100-jam cocok digunakan untuk kebutuhan beban yang rendah dan *discharge rate* 20 jam cocok digunakan untuk beban yang tinggi.

e. Faktor koreksi temperatur

Berdasarkan standar AS/NZS 4509.2.2010, faktor koreksi temperatur untuk baterai dengan *discharge rate* 20 jam (C_{20}) adalah sebesar 98%.

f. Kapasitas baterai yang diperlukan (Ah).

Besarnya kapasitas baterai yang diperlukan dalam sistem pembangkit listrik *hybrid* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Ah} = \frac{\text{Design load Ah} \times T_{\text{aut}}}{DoD_{\text{max}} \times \text{Faktor koreksi temperatur}} \dots\dots\dots (2.21)$$

- 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.

Keterangan:

- $Design\ load\ Ah$ = Kebutuhan energi listrik (Ah)
- T_{aut} = Target hari otonomi (hari)
- DoD_{max} = Batas pengosongan dari baterai (%)

Pemilihan baterai

Pada penelitian ini pemilihan baterai sesuai dengan spesifikasi dan kebutuhan sistem.

Jumlah baterai di hubungkan seri

Untuk perhitungan baterai di hubungkan seri dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Baterai terhubung seri} = \frac{V_{dc} (inverter)}{V_{dc} (baterai)} \dots\dots\dots (2.22)$$

Keterangan:

- $V_{dc} (inverter)$ = Nominal tegangan bus DC (V)
- $V_{dc} (baterai)$ = Nominal tegangan baterai (V)

i. Jumlah baterai terhubung paralel

Untuk perhitungan baterai di hubungkan paralel dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Baterai terhubung paralel} = \frac{\text{kapasitas baterai di perlukan (Ah)}}{\text{kapasitas baterai pada } C_x(\text{Ah})} \dots\dots\dots (2.23)$$

j. Total jumlah baterai

Setelah di dapatkan jumlah baterai yang terhubung secara paralel dan seri maka dapat di hitung jumlah baterai dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Total} = \text{Baterai terhubung seri} \times \text{Baterai terhubung paralel} \dots\dots\dots (2.24)$$

2.2.9.3 Inverter

Menurut AS/NZS 4509.2:2010, pada tahap perancangan dan pemilihan *inverter* perlu memperhatikan hal-hal berikut [34]:

- a. Kapasitas daya *inverter* ditentukan dari daya *output* seluruh PV *array*
- b. Kapasitas daya *inverter* yang direncanakan harus dlebihihkan 10% (*safety factor*)
- c. Kualitas gelombang (direkomendasikan *pure sine wave*)
- d. Efisiensi *inverter*
- e. Rentang tegangan operasi DC
- f. Tegangan dan frekuensi keluaran
- g. Konfigurasi sistem

Dari beberapa kriteria di atas maka dalam menentukan kapasitas *inverter* pada penelitian ini, akan disesuaikan dengan kebutuhan dari kapasitas PLTS. Untuk keamanan *inverter* ditambahkan 10% atau dikalikan 1,1 dari daya *inverter* yang sudah direncanakan, sehingga kapasitas *inverter* dapat di hitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kapasitas Inverter (kW)} = \text{Beban puncak (kW)} \times 1,1 \dots\dots\dots (2.25)$$

2.2.10 Perencanaan Pembangkit Tenaga Listrik

Dalam perencanaan pembangkit listrik, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu sebagai berikut [32]:

1. Perkiraan Beban
 Perkiraan beban merupakan hal yang perlu dilakukan dalam perencanaan pembangkit listrik dalam sistem interkoneksi maupun yang berdiri sendiri (*isolated*), yang meliputi analisis kebutuhan beban selama umur proyek (*lifetime*), termasuk memperkirakan beban puncak, beban harian, dan beban tahunan.
2. Perencanaan Teknis Pembangkit
 Perencanaan teknis pembangkit yang meliputi pemilihan teknologi pembangkit yang akan digunakan, seperti perhitungan dan pemilihan komponen-komponen sistem hibrida.
3. Perencanaan Pengembangan
 Pada tahap ini dilakukan perencanaan pengembangan awal dengan menentukan kapasitas produksi pembangkit yang akan dibangun, investasi dan biaya produksi energi listrik.
4. Perencanaan Pengoperasian
 Pada tahap ini, dilakukan tahap perencanaan sistem pengoperasian. Untuk sistem pembangkit skala kecil yang berdiri sendiri, maka akan merencanakan manajemen sistem otomatis, manual maupun semi otomatis.
5. Perencanaan Lingkungan
 Memperhatikan lingkungan sekitar juga termasuk hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan pembangkit listrik, sehingga perencanaan lingkungan juga berhubungan dengan lokasi yang akan dipilih agar tidak mengganggu lingkungan sekitar. Dalam tahap ini juga akan dilakukan perencanaan dalam mengatasi limbah maupun polusi yang ditimbulkan pembangkit.

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.

2.2.11 Sistem Konfigurasi Pembangkit Listrik *Hybrid*

Pada subbab ini, pembahasan yang diambil dari standar internasional *Stand Alone Power Sistem Part 2 New Zealand (AS/NZS 4509-2).2010* sebagai berikut [34]:

2.2.11.1 Pemilihan Generator

Dalam memilih sumber pembangkit, faktor-faktor berikut harus dipertimbangkan:

1. Biaya terinstal dan biaya pemeliharaan.
2. Dampak lingkungan.
3. Preferensi pengguna lainnya.
4. Mengesampingkan peraturan atau batasan terkait penggunaan sumber daya atau pemasangan dari generator dan peralatan terkait.
5. Ukuran untuk pemuatan yang mencukupi.

Berikut langkah pemilihan generator lebih lanjut [34]:

A. Generator Energi Terbarukan

Dalam memilih generator energi terbarukan, faktor tambahan berikut harus diambil memperhitungkan:

1. Waktu dan biaya untuk memperoleh data sumber daya yang dapat diandalkan.
2. Kecukupan sumber daya terbarukan berdasarkan data terukur atau perkiraan.
3. Korelasi dengan beban pada skala harian, mingguan dan musim.
4. Di mana lebih dari satu generator energi terbarukan digunakan.

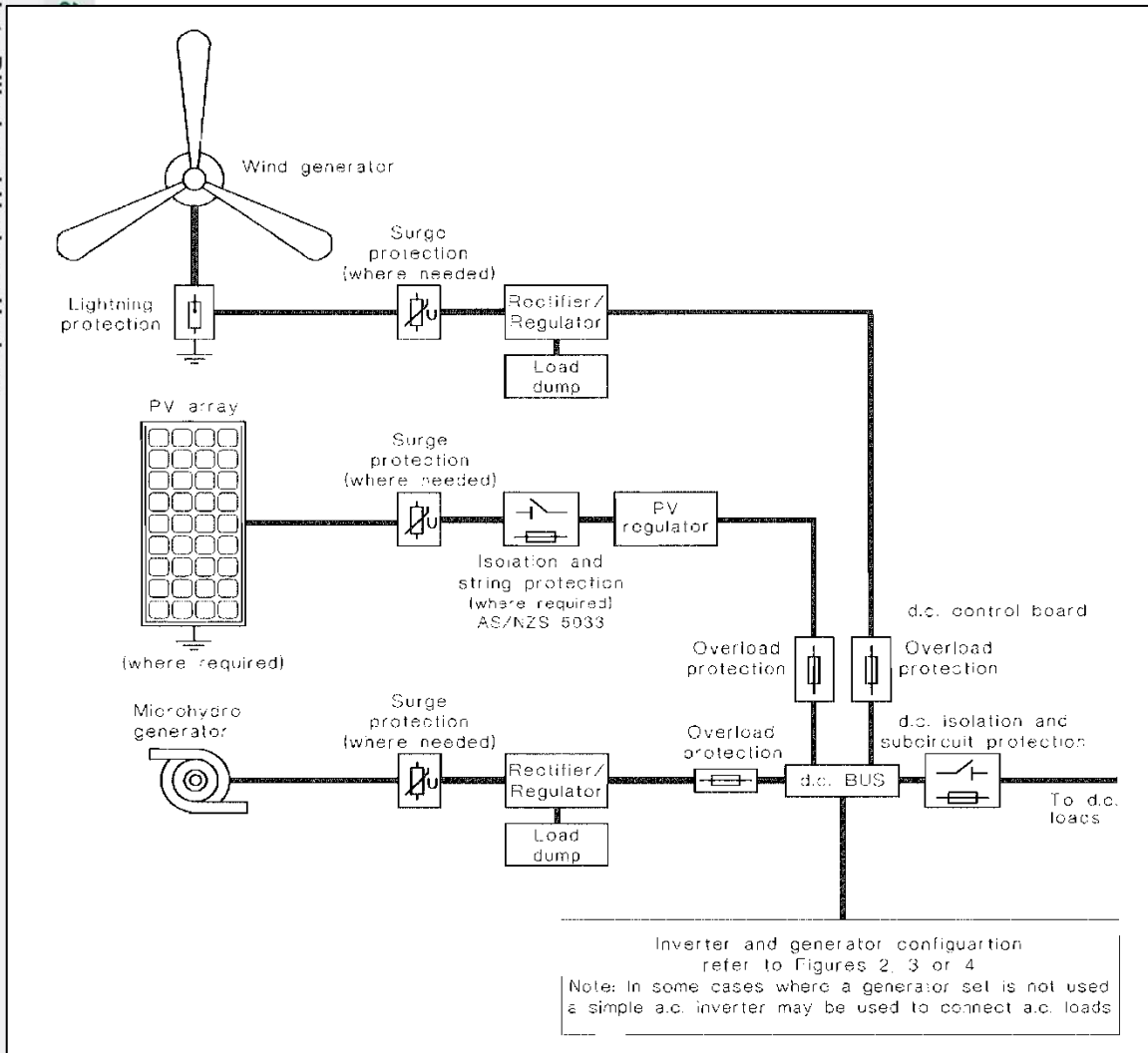
B. Hubungan Umum Generator

Di mana lebih dari satu generator digunakan, *output* generator dapat dihubungkan secara umum di AC atau *bus* DC. Di sistem *bus* DC sumber terbarukan umumnya terhubung 10 *bus* DC dan baterai melalui regulator individu. Beban DC kemudian dihubungkan 10 *bus* dan beban AC terhubung ke *inverter* yang di pasok dari *bus* DC.

Dalam sistem *bus* AC, *inverter* dua arah terhubung ke bank baterai membentuk *bus* AC. Sumber yang dapat diperbarui dalam konfigurasi ini kemudian terhubung melalui *inverter* individu ke *bus* AC. Sumber mempertimbangkan kebutuhan untuk penyimpanan menengah untuk digunakan pada saat-saat ketika sumber daya tidak tersedia harus dipertimbangkan dengan hati-hati.

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.



Gambar 2.18 Dari *Input Energi Dasar DC* [34].

C. Konfigurasi Pembangkit Listrik *Hybrid*

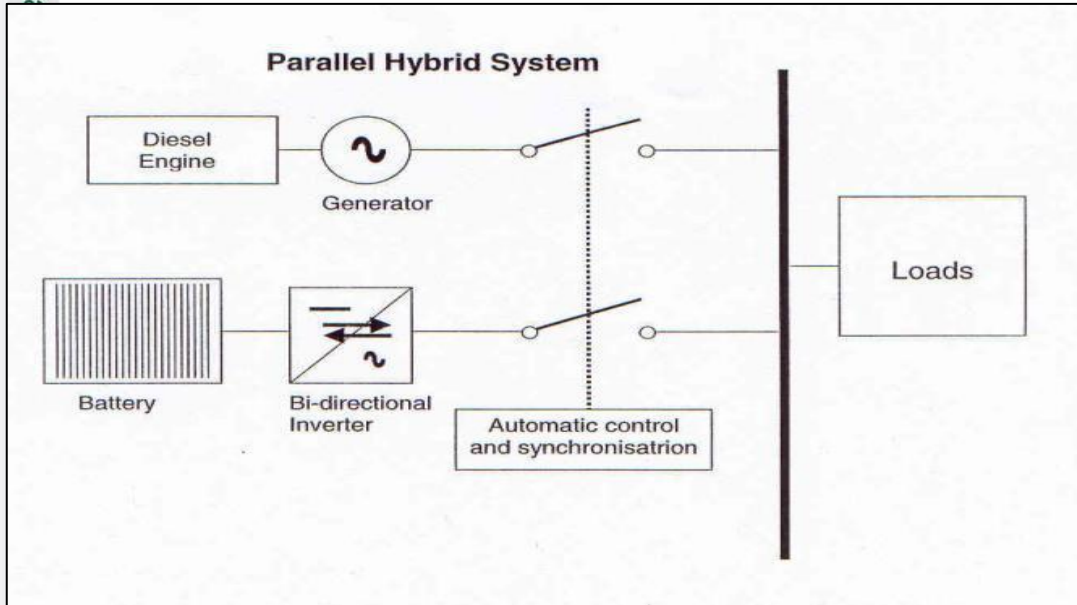
Konfigurasi beberapa pembangkit listrik umumnya terhubung ke dalam sistem di salah satu dari tiga cara yaitu, konfigurasi seri dan *switched* hanya berlaku untuk sistem *bus* DC. Konfigurasi paralel berlaku untuk sistem *bus* AC dan DC [34].

D. Konfigurasi Paralel

Pada jalur *bus* AC, komponen pembangkit AC dapat langsung dihubungkan ke jalur *bus* AC atau menggunakan *inverter* AC/AC agar penggabungan komponen menjadi stabil. Untuk komponen DC bisa langsung terhubung ke *charge control* untuk pengisian baterai, dan pada konfigurasi ini juga membutuhkan *bi-directional inverter* untuk pengisian baterai dari *bus* AC [34]. Konfigurasi ini ditunjukkan pada Gambar 2.17.

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.



Gambar 2.19 Konfigurasi Sistem Hibrida Paralel [34].

Konfigurasi ini digunakan karena sesuai teknologi pembangkit yang akan digunakan dalam sistem *hybrid* yang direncanakan. Kelebihan konfigurasi ini adalah menggunakan satu *inverter* multi fungsi yaitu *bidirectional inverter*. Sehingga konfigurasi ini dinilai lebih efisien karena secara teknis lebih memudahkan dalam instalasi, operasional dan perawatan (O&M). Sedangkan dari segi ekonomis biaya investasi awal, O&M, dan penggantian komponen lebih murah karena tidak menggunakan banyak komponen.

2.2.1 Menentukan Spesifikasi Umum Sistem

Dalam menentukan spesifikasi umum *hybrid solar PV/Biogas system* menggunakan persamaan yang bersumber dari standar AS/NZS 4509.2:2010, adalah sebagai berikut [34]:

1. Menentukan efisiensi *inverter* (η_{inv})

Dalam menentukan efisiensi *inverter* dianjurkan menggunakan *inverter* dengan efisiensi yang tinggi.

2. *Design load energy* (E_{tot})

Design load energy adalah kebutuhan energi listrik total yang harus di suplai dari pembangkit. Untuk menghitung *design load energy* dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_{tot} = \frac{E}{\eta_{inv}} \dots\dots\dots (2.26)$$

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)
- E = Konsumsi energi listrik per hari (Wh)
- η_{inv} = Efisiensi energi dari *inverter* (%)

4. Menentukan Sudut Kemiringan (*Tilt Angle*)

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°.

Tabel 2.8 *Approximate Optimum Tilt Angle Power PV System* untuk *Array* Tetap [34].

Latitude	Sudut Kemiringan Optimal Terdekat		
	Tidak ada variasi beban per musim	Puncak musim dingin	Puncak musim panas
5° - 25°	Lat - Lat +5°	Lat +5° - Lat +15°	Lat -5° - Lat +5°
25° - 45°	Lat +5° - Lat +10°	Lat +10° - Lat +20°	Lat - Lat +10°

4. Menentukan Nominal Tegangan *Bus* DC (V_{DC})

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.

2.2.13 Aspek Ekonomi Terhadap *Hybrid Solar PV/Biogas*

Aspek ekonomi adalah tinjauan investasi dari sudut pandang perusahaan yang merasakan manfaat dari proyek nantinya. Perhitungan manual analisis ekonomi bertujuan untuk mengetahui apakah proyek yang akan dibangun memang memberikan manfaat yang lebih besar dari pada biaya yang akan dikeluarkan atau sebaliknya, sehingga dapat diketahui layak atau tidaknya proyek yang akan dijalankan.

Pada bagian ini di gambarkan metodologi untuk mengestimasi biaya-biaya yang timbul untuk pemanfaatan energi matahari dan Biogas dari POME ke energi listrik, biaya-biaya yang terdapat pada sistem *hybrid solar* PV/Biogas adalah biaya komponen, operasional, pemeliharaan dan biaya penggantian komponen yang harus dikeluarkan selama umur proyek agar sistem *hybrid solar* PV/Biogas dapat beroperasi dengan baik.

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

2.2.13.1 Aspek Biaya

Aspek biaya pembangunan meliputi biaya investasi awal yang terdiri dari biaya seluruh komponen dan biaya perawatan sistem hingga biaya pergantian komponen selama sistem beroperasi. Adapun aspek biaya sistem *hybrid solar* PV/Biogas adalah [35]:

a. Biaya Awal (*Initial Cost*)

Biaya investasi awal adalah biaya yang dikeluarkan untuk membangun sebuah sistem hingga siap digunakan. Biaya ini biasanya dikeluarkan di awal-awal pembangunan dalam jumlah yang relatif besar dan berdampak jangka panjang. Salah satu contoh investasi awal adalah biaya keseluruhan bahan baku sistem, biaya pekerja, dan lainnya.

b. Biaya Operasional dan Perawatan (*Operational and Maintenance Cost*)

Biaya operasional dan perawatan adalah biaya yang dikeluarkan setelah sistem sudah siap digunakan. Biaya ini biasanya dikeluarkan secara rutin atau periodik waktu tertentu dalam jumlah yang relatif sama.

c. Biaya Pergantian Komponen (*Replacement Cost*)

Biaya pergantian komponen adalah biaya yang dikeluarkan dalam rangka menjaga/menjamin *performance* sistem agar selalu prima dan siap untuk dioperasikan. Contohnya adalah biaya untuk mengganti (*replacement*) salah satu alat pendukung sistem apabila terjadi kerusakan.

d. Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost*)

Biaya siklus hidup suatu sistem adalah semua biaya yang dikeluarkan oleh suatu sistem, selama kehidupannya. Biaya siklus hidup ditentukan oleh nilai sekarang atau *present value* (PV) dan biaya total sistem *hybrid* yang terdiri dari biaya investasi awal, penggantian komponen, operasional dan pemeliharaan. Biaya siklus hidup (LCC) diperhitungkan dengan Persamaan sebagai berikut [35]:

$$LCC = C + M_{PW} + R_{PW} \dots\dots\dots (2.27)$$

Keterangan:

LCC = *Life Cycle Cost* (Rp)

C = Penjumlahan dari biaya investasi awal (Rp)

M_{PW} = Biaya nilai sekarang untuk total biaya pemeliharaan dan operasional selama n tahun atau selama umur proyek (Rp)

R_{PW} = Biaya nilai sekarang untuk biaya penggantian yang harus dikeluarkan selama umur proyek (Rp)

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.

Nilai sekarang (PV) biaya O & M tahunan yang akan dikeluarkan beberapa waktu mendatang (selama umur proyek) dengan jumlah pengeluaran yang tetap. Dihitung dengan Persamaan sebagai berikut [35]:

$$M_{PW} = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \dots\dots\dots (2.28)$$

Keterangan:

- A = Biaya O&M tahunan (Rp)
- i = Tingkat diskonto/suku bunga (%)
- n = Umur proyek (tahun)

Sedangkan untuk menghitung nilai sekarang (PV) dari biaya penggantian komponen untuk beberapa waktu mendatang (selama umur proyek) digunakan Persamaan 2.30 di bawah ini namun, sebelum itu nilai diskonto untuk beberapa waktu mendatang atau *present worth factor* (PWF) harus diketahui. Perhitungan PWF menggunakan Persamaan sebagai berikut [35]:

$$PWF = \left(\frac{1+a}{1+i} \right)^n \dots\dots\dots (2.29)$$

$$R_{PW} = B \times PWF \dots\dots\dots (2.30)$$

Dimana:

- a = inflasi (%)
- B = Biaya penggantian komponen (Rp)

e. *Levelized Cost of Energy* (LCOE)

Perhitungan biaya energi listrik atau *Cost of Energy* (COE) suatu sistem *hybrid solar* PV/Biogas ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal atau *Capital Recovery Factor* (CRF) dan produksi energi tahunan *hybrid solar* PV/Biogas. Faktor pemulihan modal adalah faktor yang dipergunakan untuk mengonversikan semua arus kas biaya siklus hidup (LCC) menjadi serangkaian pembayaran atau biaya tahunan dengan jumlah yang sama. Faktor pemulihan modal diperhitungkan dengan Persamaan sebagai berikut [35]:

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.

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \dots\dots\dots (2.31)$$

Dimana:

- i = Tingkat bunga ril tahunan (%)
- N = Periode dalam tahun

Biaya produksi energi listrik pada *hybrid solar* PV/Biogas dapat dihitung dengan Persamaan sebagai berikut [35]:

$$LCOE(Rp/kWh) = \frac{LCC \times CRF}{\text{Produksi Energi}} \dots\dots\dots (2.32)$$

2.2.13.2 Aspek Finansial

Pada umumnya ada tiga metode yang biasa dipertimbangkan untuk dipakai dalam penelitian aliran kas dan suatu investasi, yaitu metode: *Net Present Value* (NPV), *Payback Period* (PBP), dan *Internal Rate of Return* (IRR) [35].

1. *Net Present Value* (NPV)

NPV adalah metode yang digunakan untuk menghitung nilai bersih pada waktu saat ini metode perhitungan ini terdiri dari *cash flow benefit* (CFB) dan *cash flow cost* (CFC). Untuk menentukan NPV menggunakan Persamaan sebagai berikut [35]:

$$NPV(Rp) = \sum CFB(Rp) - CFC(Rp) \dots\dots\dots (2.33)$$

Jika:

- a. NPV > 0, berarti usaha layak untuk dilaksanakan
- b. NPV < 0, berarti usaha tidak layak untuk dilaksanakan
- c. NPV = 0, berarti usaha yang dijalankan tidak untung dan tidak rugi

Dalam pengoperasian sebuah proyek akan menimbulkan pendapatan ataupun pengeluaran disebut *cash* untuk biaya pendapatan disebut dengan *cash flow benefit* sedangkan untuk pengeluaran disebut dengan *cash flow cost*.

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.

Cash Flow Benefit (CFB)

CFB adalah aliran uang masuk di setiap tahun selama sistem berjalan. Aliran uang masuk dihitung berdasarkan nilai suku bunga pada tahun tersebut. Menghitung nilai CFB dengan Persamaan berikut [35]:

$$CFB (Rp) = \sum_{t=0}^n Cost(1 + i) \dots\dots\dots (2.34)$$

b. *Cash Flow Cost (CFC)*

CFC adalah aliran uang keluar di setiap tahun selama sistem bekerja. Uang ini terdiri dari total investasi sistem selama n tahun. Jika selama waktu yang ditentukan terdapat pembayaran berulang dengan nilai yang sama, maka perhitungan CFC menggunakan faktor bobot sekarang (PWF). Menghitung nilai CFC dapat menggunakan Persamaan berikut [35]:

$$CFC (Rp) = \sum_{t=0}^n investasi - PWF \dots\dots\dots (2.35)$$

2. Waktu Pengembalian Investasi (*Payback Period*)

Payback Period adalah lama waktu yang dibutuhkan untuk pengembalian modal atau investasi awal saat proyek dibangun. *Payback Period* dapat dicari dengan menghitung nilai pemasukan selama proyek bekerja dan dengan menghitung nilai bersih sekarang. Dalam *payback period* ini rencana investasi dikatakan layak (*feasible*) jika $k \leq n$ dan sebaliknya, (dimana k adalah jumlah periode pengembalian, dan n adalah umur investasi). Dihitung dengan persamaan berikut [35]:

$$PBP(\text{tahun}) = \frac{Inv_{cost}}{CFB_{Average}} \dots\dots\dots (2.36)$$

Dimana:

Inv_{cost} = Biaya investasi awal (Rp)

$CFB_{Average}$ = Rata-rata pendapatan per tahun (Rp)

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.

Internal Rate of Return (IRR)

Internal Rate of Return adalah metode perhitungan investasi dengan menghitung tingkat bunga yang menyamakan nilai sekarang investasi dengan nilai sekarang dari penerimaan-penerimaan kas bersih di waktu mendatang. Diketahui jika [35]:

1. IRR lebih besar dari pada suku bunga Bank maka proyek layak dilaksanakan.
2. IRR lebih kecil dari pada suku bunga Bank maka proyek tidak layak untuk dilaksanakan.

Untuk menghitung IRR dapat menggunakan persamaan berikut [35]:

$$IRR(\%) = i_1 + \left\{ \left(\frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \right) \times (i_2 - i_1) \right\} \dots\dots\dots (2.37)$$

Dimana:

- IRR = *Internal Rate of Return* (%)
- NPV₁ = *Net Present Value* dengan tingkat bunga rendah (Rp)
- NPV₂ = *Net Present Value* dengan tingkat bunga tinggi (Rp)
- i₁ = Tingkat bunga pertama (%)
- i₂ = Tingkat bunga kedua (%)

2.2.14 Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)

Gas rumah kaca (GRK) merupakan gas-gas yang dapat memerangkap panas di atmosfer. Gas-gas ini dapat terbentuk secara alami, namun dapat juga terbentuk dari hasil aktivitas manusia seperti proses-proses industri. Tergolong gas rumah kaca utama dalam atmosfer bumi adalah uap air, karbon dioksida, metana, nitrogen oksida, dan ozon. Setiap gas rumah kaca memiliki efek pemanasan global yang berbeda. Potensi pemanasan global atau *global warming potensial* (GWP) adalah indeks yang memperkirakan efek pemanasan global masing-masing gas berdasarkan sifat perangkap panasnya. GWP membandingkan panas yang terperangkap oleh gas rumah kaca tertentu dengan jumlah panas yang terperangkap oleh massa yang sama dari karbon dioksida. Oleh karena itu GWP dari karbon dioksida adalah 1. Tabel 2.9 berikut menyajikan indeks GWP [3].

Tabel 2.9 Indeks *Global Warming Potential* (GWP) untuk Gas Rumah Kaca Umum [3].

Senyawa	Persamaan Kimia	<i>Global Warming Potential</i> (GWP) dalam rentang waktu			
		20 tahun	100 tahun	100 tahun	500 tahun
Karbon dioksida	CO ₂	1	1	1	1
Metana	CH ₄	72	21	25	76
Dinitrogen oksida	N ₂ O	289	310	298	153

Tabel 2.9 di atas berdasarkan laporan tahun 2007 dari *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPPC), sebuah organisasi di bawah Perserikatan Bangsa-Bangsa yang menarik konsensus dari para ahli di seluruh dunia tentang isu-isu perubahan iklim. Namun, sebagian besar perhitungan GRK menggunakan data dari laporan sebelumnya yang diterbitkan pada tahun 2001 dengan menggunakan rentang waktu 100 tahun. Berdasarkan data tahun 2001, 100 tahun GWP untuk metana adalah 21, yang berarti bahwa jumlah CO₂ dan CH₄ yang sama masuk ke atmosfer, maka metana akan menjebak panas 21 kali lipat dibandingkan karbon dioksida dalam rentang waktu 100 tahun ke depan. 1 ton CH₄ = 21 ton CO₂-equivalent (CO₂eq) [3]. Berikut tabel faktor konversi jenis emisi lainnya.

Tabel 2.10 Faktor Konversi Emisi

Input	Faktor Konversi	Satuan	Sumber
Solar	2,6873	Kg-CO ₂ -eq/liter	[36]
Limbah POME	12,6	Kg-CH ₄ -eq/m ³	[37]

2.2.14.1 Perhitungan Potensi Pengurangan Emisi GRK

Pemanfaatan Biogas sebagai pembangkit listrik merupakan salah satu alternatif dalam rangka mengganti/substitusi pembangkit listrik tenaga fosil. Selain sumber-sumber energi fosil yang semakin terbatas, pembangkit listrik tenaga fosil melepaskan CO₂ akibat dari pemanfaatan pembakaran energi fosil. CO₂ merupakan salah satu emisi penghasil gas rumah kaca. Limbah cair kelapa sawit (POME) tanpa pengendalian akan melepaskan CH₄ ke udara akibat dari proses fermentasi alami. CH₄ termasuk salah satu emisi penghasil gas rumah kaca selain CO₂, CH₄ mempunyai sifat polutan 21 kali lebih besar jika dibandingkan CO₂. Berdasarkan hal tersebut pemanfaatan limbah cair kelapa sawit (POME) sebagai bahan baku Biogas mempunyai kontribusi dua kali dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, yaitu [3]:

Hak Cipta Universitas 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 mengumpukan 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.

Perhitungan pengurangan emisi akibat mengganti/substitusi bahan bakar fosil adalah sebagai berikut [3]:

- a) Menghitung besarnya energi listrik per tahun yang dihasilkan oleh pembangkit listrik generator diesel. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{Energi listrik per tahun (MWh)} = \text{Kapasitas terpasang pembangkit (MW)} \times \text{Jam operasi pembangkit per tahun (h)} \dots\dots (2.38)$$

- b) Menghitung emisi CO₂, persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{Emisi CO}_2 \text{ (tCO}_2\text{)} = \text{Energi listrik per tahun (MWh)} \times \text{emission factor} \left(\frac{\text{tCO}_2}{\text{MWh}} \right) \dots (2.39)$$

Dimana:

Emission factor = Nilai faktor emisi dari bahan bakar adalah 0,0002786 (tCO₂/MWh-MFO).

2. Perhitungan pengurangan emisi akibat pembakaran gas metana adalah sebagai berikut [3]:

- a. Menghitung besarnya gas metana (CH₄) yang dihasilkan dari instalasi Biogas (sub bab 2.2.7)

- b. Menghitung besarnya gas metana (CH₄) dalam satuan Kg gas, dengan persamaan:

$$\text{Jumlah gas metana (Kg)} = \text{Jumlah gas metana (m}^3\text{)} \times \text{massa jenis gas} \dots\dots\dots (2.40)$$

Dimana:

Massa jenis gas = Nilai massa jenis untuk gas metana (CH₄) adalah 0,656 (kg/m³).

- c. Menghitung gas metana (CH₄) yang dikonversi menjadi CO₂ dengan persamaan:

$$\text{Emisi CO}_2 \text{ (tCO}_2\text{)} = (\text{Jumlah gas metana (Kg)} \times \text{GWPC}_{\text{CH}_4}) \times 10^{-3} \dots\dots\dots (2.41)$$

Dimana:

GWPC_{CH₄} = (*Global Warming Potential*) CH₄ adalah 21

Untuk mendapatkan hasil potensi pengurangan emisi GRK dari PLTBG maka dilakukan penjumlahan perhitungan pengurangan emisi akibat mengganti/substitusi bahan bakar fosil dengan perhitungan pengurangan emisi akibat pembakaran gas metana.

2.2.15 Pasar Karbon

Pasar karbon adalah kumpulan kebutuhan/keinginan terhadap hak atas emisi gas rumah kaca dalam satuan setara-ton-CO₂ (ton CO₂eq). Selain pasar karbon, ada juga istilah “perdagangan karbon”. Kedua istilah ini seringkali tertukar dalam penggunaannya. Di dalam Peraturan Presiden No. 46 tahun 2008 tentang Dewan Nasional Perubahan Iklim, perdagangan karbon didefinisikan sebagai “kegiatan jual beli sertifikat pengurangan emisi karbon dari kegiatan mitigasi perubahan iklim”. Terlihat perbedaan yang jelas antara istilah “pasar karbon” dan “perdagangan karbon” dimana pasar (*market*) adalah penyebab bagi perdagangan. Pasar karbon dapat dikategorikan berdasarkan (i) dasar pembentukannya; dan (ii) cara perdagangannya. Berdasarkan cara perdagangannya, secara umum pasar karbon dibagi menjadi dua jenis, yakni: (a) *trading*; dan (b) *crediting* [9].

2.2.15.1 Pasar Karbon *Crediting*

Sistem ini bernama lengkap *baseline-and-crediting*. Di Indonesia, sistem inilah yang umumnya diasosiasikan dengan pasar karbon, semata karena kita sudah mulai akrab dengan Mekanisme Pembangunan Bersih atau *Clean Development Mechanism* (CDM) yang termasuk dalam pasar karbon jenis ini. Pada jenis pasar ini, penurunan emisi adalah selisih dari skenario emisi tanpa adanya kegiatan/proyek penurunan emisi (*baseline*) dengan emisi aktual setelah adanya proyek. Berikut gambar ilustrasi sistem *crediting* [9].



Gambar 2.20 Ilustrasi Sistem *Crediting* [9].

Clean Development Mechanism (CDM) merupakan salah satu jenis mekanisme pasar dalam Protokol Kyoto yang masuk ke dalam kategori *crediting*. Sebagaimana telah disinggung sebelumnya, negara maju/industri dalam Protokol Kyoto diwajibkan untuk

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.

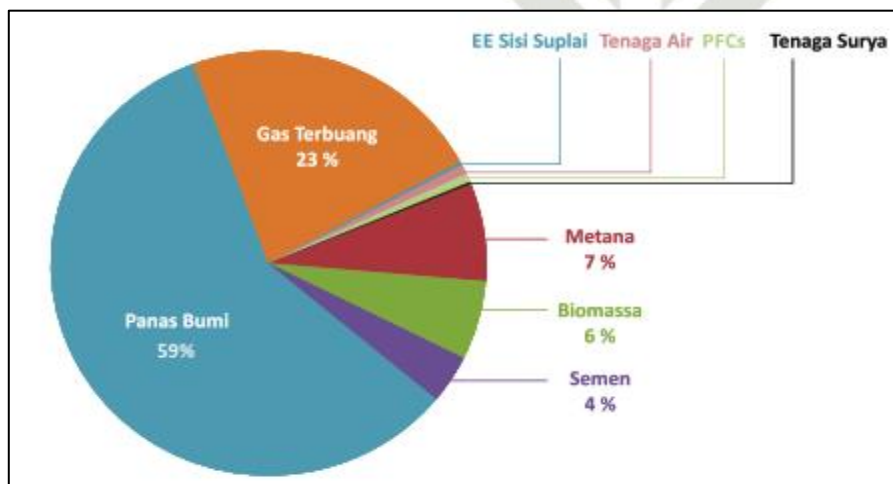
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.

menurunkan emisi GRK rata-ratanya dalam periode tahun 2013-2020 (periode komitmen kedua) sebesar 18% di bawah tingkat emisi tahun 1990. CDM juga dimaksudkan untuk membantu negara berkembang mendapatkan investasi teknologi bersih dalam upaya menuju pembangunan berkelanjutan yang rendah karbon di negaranya masing-masing. Keluaran skema CDM adalah kredit karbon yang dinamakan CER (*Certified Emission Reduction*). Dimana setiap CER mewakili pengurangan emisi GRK setara satu ton karbon dioksida yang telah diverifikasi [9].

Negara Annex I adalah negara-negara yang telah menyumbangkan GRK yang tinggi akibat kegiatan manusia sejak revolusi industri tahun 1850-an, seperti: Amerika Serikat, Australia, Austria, Belanda, Jepang, dan lainnya. Sedangkan Negara Non-Annex I adalah negara-negara yang tidak termasuk dalam Annex I, yang kontribusinya terhadap GRK jauh lebih sedikit serta memiliki pertumbuhan ekonomi yang jauh lebih rendah. Indonesia termasuk dalam negara Non-Annex I [9].

Indonesia sebagai Negara *non* Annex I dalam UNFCCC dan telah meratifikasi Protokol Kyoto bisa memanfaatkan CDM untuk memberi insentif pada kegiatan-kegiatan pembangunan bersih. Ratifikasi Protokol Kyoto memungkinkan pihak-pihak Indonesia berpartisipasi dalam CDM dan menjual CER-nya kepada pihak-pihak Negara Annex I yang membutuhkan. Proyek CDM di Indonesia yang telah diusulkan ke UNFCCC adalah sejumlah 242 proyek. Dari total proyek tersebut, 212 proyek telah mendapatkan persetujuan dari Komnas MPB. Per bulan September 2013, proyek Indonesia yang telah mendapatkan CER ada 33 proyek dengan total CER yang didapat setara dengan kurang lebih 9.2 juta ton CO₂. Berikut proporsi CER Indonesia berdasarkan jenis proyeknya [9].



Gambar 2.21 Proporsi CER Indonesia Berdasarkan Jenis Proyeknya [9].

2.2.15.2 Perhitungan Biaya *Certified Emission Reduction*

Untuk menghitung besar biaya *certified emission reduction* dari emisi karbon dioksida yang mampu dikurangi setelah proyek PLTBG terlaksana dan substitusi generator diesel digunakan persamaan sebagai berikut [3]:

$$\begin{aligned} \text{Biaya CER (Rp/tahun)} &= (\text{Emisi CO}_2 \text{ POME (ton CO}_2\text{/ton CPO)} \\ &\quad \times \text{Harga Certificate CO}_2 \text{ (USD/ton CO}_2\text{)} \\ &\quad \times \text{Nilai Tukar Uang (Rp)} \\ &\quad \times \text{Total Pengolahan CPO (ton CPO/tahun)(2.42)} \end{aligned}$$

Adapun data yang dibutuhkan untuk perhitungan biaya *certified emission reduction* antara lain: pengolahan CPO (dalam 1 ton), kapasitas POME (m³/ton CPO), faktor konversi emisi POME (kg-CH₄-eq/m³), faktor konversi emisi gas metana (kg-CO₂-eq/kg-CH₄), harga *certificate* CO₂, dan nilai tukar uang (kurs dalam Rp).

2.2.16 HOMER

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai perangkat lunak HOMER yang akan digunakan untuk analisis teknis dan ekonomi dalam penelitian ini. Adapun penjelasan mengenai perangkat lunak HOMER sebagai berikut [38].

2.2.16.1 Pendahuluan

Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources (HOMER) adalah perangkat lunak komputer yang dikembangkan oleh US *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) untuk membantu dalam perencanaan sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* menggunakan teknologi energi terbarukan. HOMER mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit *hybrid* yang berdiri sendiri (*stand-alone*) maupun terhubung ke jaringan listrik utama (*grid connected*). HOMER juga memungkinkan *designer* untuk membandingkan banyak pilihan desain yang berbeda berdasarkan manfaat teknis dan ekonomi. Perangkat lunak HOMER menyediakan banyak pilihan pembangkit listrik yang terdiri dari PV, turbin angin, *micro hydro*, hidro kinetik, biomasa, genset (diesel, bensin, biodiesel, Biogas), *fuel cell*, baterai, dan lain sebagainya [38].

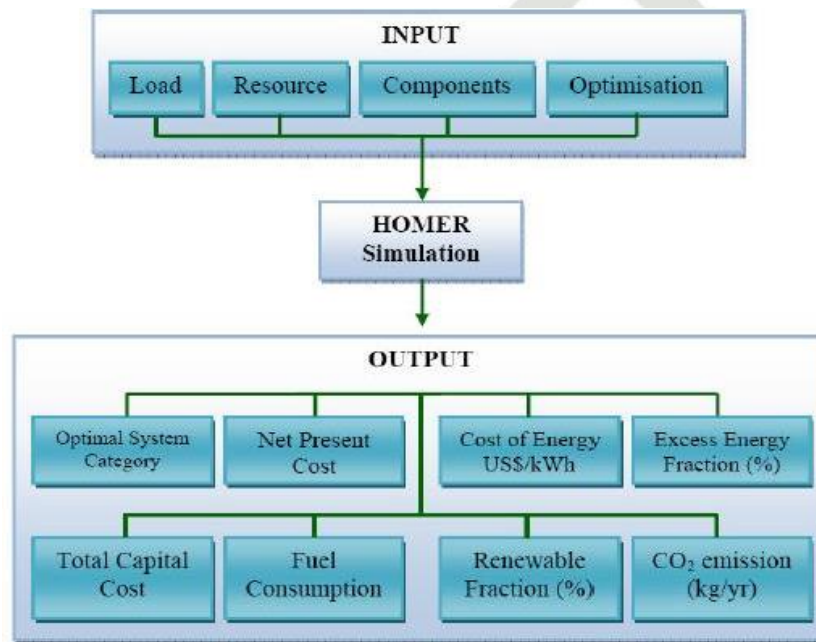
HOMER melakukan tiga tugas pokok: simulasi, optimasi, dan analisis sensitivitas. Proses simulasi, HOMER mensimulasikan operasi sistem untuk setiap 8.760 jam dalam setahun untuk menentukan kelayakan teknis dan biaya siklus hidup (*life-cycle cost*). Dalam

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.

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 optimasi, HOMER mensimulasikan banyak konfigurasi sistem yang berbeda, menampilkan secara berurutan beberapa hasil simulasi yang dimulai dari *Net Present Cost* (NPC) terendah. Dalam proses simulasi ini HOMER juga memperkirakan semua biaya investasi awal sampai biaya selama masa operasi sistem seperti biaya penggantian komponen-komponen, dan biaya *operational* dan *maintenance* (O&M). Proses analisis sensitivitas, HOMER melakukan beberapa optimasi berbagai asumsi masukan untuk mengukur efek dari ketidakpastian atau perubahan dalam model *input* [38].



Gambar 2.22 Diagram Alur Simulasi dan Optimasi HOMER [39].

2.2.16.2 Prinsip Kerja HOMER

A. Simulasi (*simulation*)

Proses simulasi menentukan bagaimana konfigurasi dari sistem, kombinasi dari besarnya kapasitas komponen-komponen sistem, dan strategi operasi yang menentukan bagaimana komponen-komponen tersebut dapat bekerja bersama dalam periode waktu tertentu. HOMER dapat mensimulasikan berbagai macam konfigurasi sistem tenaga mikro, yang berisikan beberapa kombinasi dari photovoltaic, turbin angin, turbin air, generator, hidrogen, baterai, *inverter*, dan lain-lain. Sistem tersebut dapat terhubung ke jaringan transmisi ataupun terpisah, digunakan untuk melayani beban ac ataupun dc dan beban *thermal* [38].

2. Optimisasi (*Optimization*)

Proses optimisasi dilakukan setelah proses simulasi dilakukan. Simulasi memodelkan dan merancang konfigurasi sistem secara khusus, maka proses optimasi dilakukan

Untuk menentukan kemungkinan teroptimal dalam konfigurasi sistem. Pada daftar hasil optimisasi, HOMER menggunakan nilai NPC yang terendah hingga tertinggi. Sistem dikatakan optimal, apabila salah satu konfigurasi sistem menunjukkan NPC terendah untuk jangka waktu yang telah ditentukan. Tujuan dari proses optimisasi adalah menentukan nilai optimal dari konfigurasi sistem dimana variabel nilai masukan dapat diubah-ubah sesuai keinginan pengguna [38].

Analisis Sensitivitas (*Sensitivity Analysis*)

Tahap selanjutnya adalah tahap analisis sensitivitas. Analisis sensitivitas ini akan menunjukkan bagaimana hasil konfigurasi sistem yang optimal apabila nilai parameter masukan (*input*) berbeda-beda. Pengguna dapat menunjukkan analisis sensitivitas dengan memasukan beberapa nilai variabel sensitivitas. Pada tahap ini, pengguna HOMER dapat memasukan rentang nilai untuk nilai variabel tunggal ataupun nilai variabel ganda yang dinamakan variabel sensitivitas. Contohnya termasuk harga tenaga listrik pada jaringan transmisi, harga bahan bakar, suku bunga per tahun, dan lain-lain [38].

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.

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 *numeric*/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 delapan tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini. Dimana delapan tahap tersebut, yaitu:

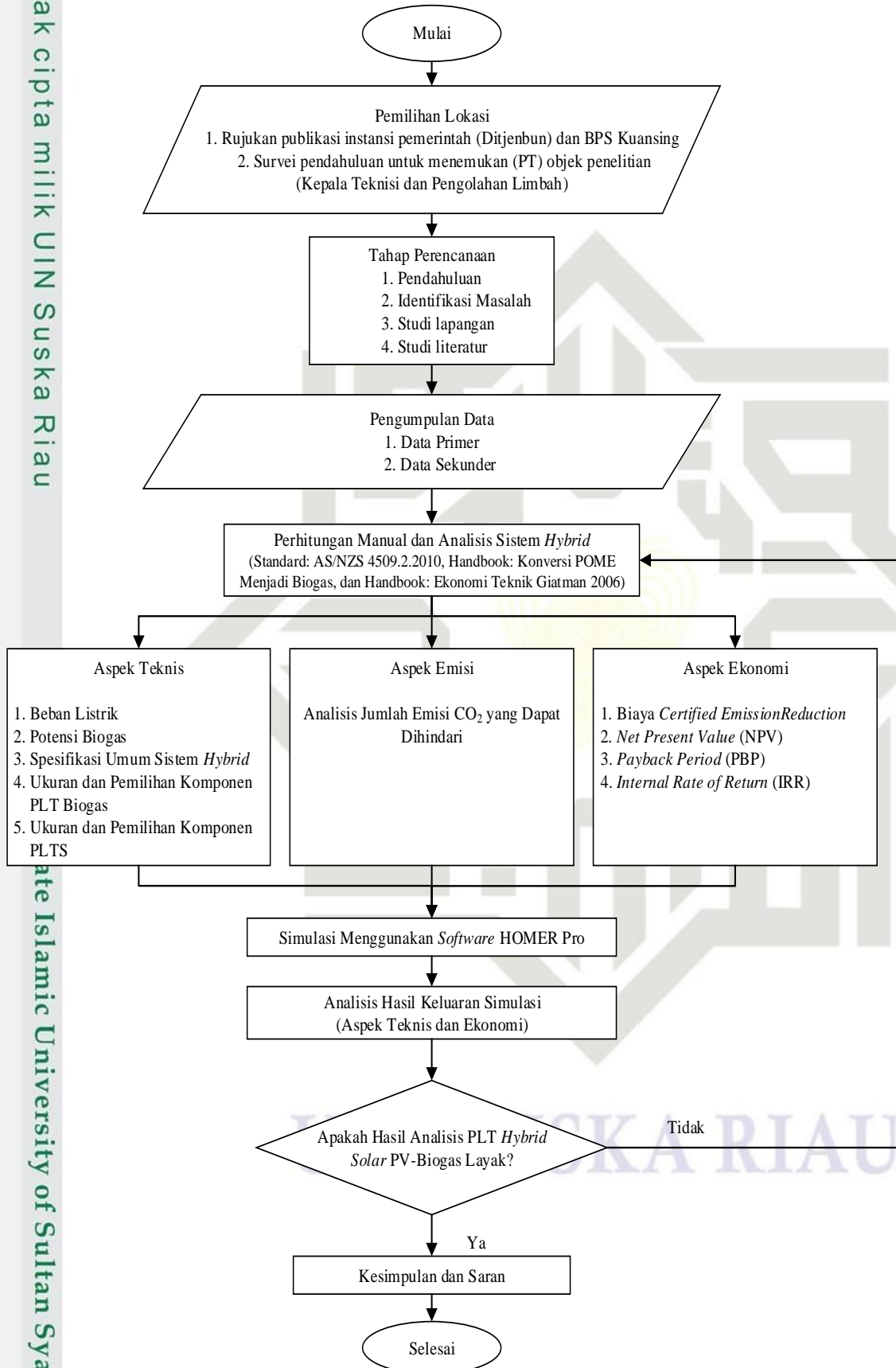
1. Pemilihan Lokasi
2. Tahap Perencanaan
3. Pengumpulan Data
4. Perhitungan Manual dan Menganalisis Sistem *Hybrid* : Aspek Teknis, Emisi, dan Ekonomi
5. Simulasi Menggunakan *Software* HOMER Pro
6. Analisis Hasil Keluaran Simulasi: Analisis Teknis dan Ekonomi
7. Analisis Kelayakan Sistem
8. Kesimpulan dan Saran

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

UIN SUSKA RIAU

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.



Gambar 3.1 Diagram Alur Tahapan Penelitian.

3.3 Pemilihan Lokasi Penelitian

Dalam penelitian ini dimulai dengan pemilihan lokasi. Pemilihan lokasi bersumber dari studi literatur yang dilakukan berdasarkan data yang dipublikasi oleh Instansi Pemerintah (Ditjenbun), maupun BPS Kabupaten Kuantan Singingi, dan juga didasari dari studi pendahuluan secara langsung pada lokasi objek penelitian. Objek pada penelitian ini adalah PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1, berada di Desa Pantai, Kecamatan Kuantan Mudik, Kabupaten Kuantan Singingi, Provinsi Riau. Pemilihan objek ini dengan alasan sebagai berikut:

- a. PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1 memenuhi kebutuhan energi listrik secara mandiri, karena secara geografis berada di tengah perkebunan kelapa sawit yang belum terjangkau jaringan listrik utama dari PLN (Persero).
- b. Pembangkit listrik utama di PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1 sering mengalami kerusakan pada boiler dan sudu turbin (dua tahun sekali), sedangkan generator diesel sebagai cadangan juga tidak mampu memenuhi kebutuhan listrik PKS dan kerap menyebabkan defisit energi listrik dalam proses produksi.
- c. Potensi Biogas dari POME dan energi surya merupakan sumber energi terbarukan dinilai bagus untuk dioptimalkan dalam memenuhi kebutuhan listrik di PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1.

3.4 Tahap Perencanaan

Untuk melaksanakan penelitian, tahap perencanaan merupakan hal yang utama untuk mempersiapkan agar semua hal teknis yang di laksanakan tersusun dengan jelas dan untuk mempermudah penelitian sesuai rencana. Adapun perencanaan yang disusun dalam penelitian ini yaitu:

1. Pendahuluan

Pendahuluan ini terdapat pada bab 1, pada tahapan ini bertujuan menentukan latar belakang yang terkait dari penelitian, menentukan rumusan masalah yang akan dijadikan sebagai bahan untuk penelitian, menjelaskan dari tujuan penelitian, membahas tentang batasan masalah dari penelitian, dan menjelaskan manfaat dari penelitian. Hal ini bertujuan untuk mempermudah peneliti dalam menemukan masalah dan pemecahan masalah saat melakukan penelitian. Data-data yang di ambil berdasarkan hasil wawancara, laporan perusahaan, dan hasil pengamatan secara langsung di PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1 dalam studi pendahuluan ini sebagai berikut:

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.

Kebutuhan listrik pada PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1 berasal dari unit proses pengolahan di pabrik, kantor, penerangan jalan, dan domestik (perumahan).

Pasokan listrik PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1 di suplai dari satu unit generator dengan turbin tenaga uap kapasitas 1.000 kW dimana defisit listrik di penuhi oleh dua unit generator diesel berbahan bakar *solar* kapasitas 800 kW.

Beban listrik harian PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1 yaitu 24.633,92 kWh.

Pihak PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1 mengeluhkan defisit energi listrik akibat kerusakan berat komponen pembangkit listrik tenaga biomasa yang terjadi secara kontinu minimal sekali dalam tiga tahun (10-tahun terakhir) dan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk perbaikan (± 3 bulan).

e. PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1 mempunyai potensi Biogas dari POME yang belum dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik. Selain itu, lokasi PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1 mempunyai potensi energi surya sebesar 4,7 kWh/m²/hari dengan penyinaran total 5 jam per harinya.

f. PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1 mempunyai lahan seluas ± 8 Hektar untuk di bangunnya pembangkit listrik tenaga *hybrid solar* PV-Biogas.

g. PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1 mendukung upaya pemanfaatan POME menjadi PLTBG dan menyubstitusi penggunaan generator diesel berbahan bakar fosil.

2. Identifikasi Masalah

Langkah ini dilakukan untuk menentukan permasalahan yang terjadi di PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1, sehingga dapat dianalisis kelayakan pembangunan pembangkit listrik tenaga *hybrid solar* PV-Biogas *off grid system* di PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1. Dalam studi pendahuluan yang telah dilakukan, maka dapat diidentifikasi bahwa PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1 mengeluhkan defisit energi listrik akibat kerusakan berat komponen pembangkit listrik tenaga biomasa yang terjadi secara kontinu, karena membutuhkan waktu yang cukup lama untuk perbaikan akibatnya mengganggu proses produksi CPO. Selain itu pihak perusahaan juga sedang berupaya untuk menyubstitusi penggunaan generator diesel dalam upaya meminimalisir emisi, guna memenuhi kriteria sertifikasi ISPO, dan RSPO karena akan memperluas izin perdagangan CPO dan memberikan dampak ekonomi yang lebih baik untuk perusahaan.

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.

3.1. Studi Lapangan

Langkah ini dilakukan dengan cara mengamati secara langsung pada lokasi yang menjadi objek penelitian yang bertujuan untuk mengenal kondisi pada lokasi penelitian yaitu pada PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1 serta mengumpulkan data yang akan dibahas dalam penelitian ini, dengan cara melakukan wawancara, dan observasi dengan pihak PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1 yang menjadi objek penelitian.

3.2. Studi Literatur

Studi penelitian ini berisikan penelitian-penelitian terkait sebelumnya yang telah pernah dilakukan, untuk mendapatkan referensi serta berisikan landasan teori dan metode untuk menyelesaikan penelitian ini. Studi literatur yang di ambil ialah penelitian yang berkaitan tentang pembangkit listrik tenaga *hybrid solar* PV-Biogas.

3.5 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini dilakukan pengumpulan data sebagai nilai masukan pada perencanaan pembangkit listrik tenaga *hybrid solar* PV-Biogas secara manual. Beberapa data yang digunakan sebagai berikut:

- a) 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 PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1 yang menjadi objek penelitian.
2	Opini perusahaan terkait implementasi PLTBG, dan misi sertifikasi PKS berkelanjutan (ISPO dan RSPO).	Wawancara kepada kepala bagian Limbah di PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1 yang menjadi objek penelitian.

b) 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®
2	Potensi energi surya dan temperatur	<i>Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER)</i> milik <i>National Aeronautics and Space Administration (NASA)</i> , Amerika Serikat.
3	Azimuth Matahari	suncalc.org [40]
4	Data operasi: operasional pabrik, TBS olah tahunan, produksi POME, dan konsumsi energi listrik.	<i>Book report</i> PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1
5	Harga pasar <i>Certificate CO₂</i>	Butar, dkk [41]
6	Harga dan spesifikasi komponen	<i>Marketplace</i>
7	<i>Discount rate, kurs</i> dan inflasi	[42] dan [43]

3.5.1 Profil Beban Listrik

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data pembacaan kWh meter yang terdapat di panel (kamar mesin) guna mengetahui konsumsi energi listrik saat proses pengolahan di pabrik kantor, penerangan, dan domestik (perumahan). Tujuan dari pembuatan profil beban listrik adalah untuk mendapatkan konsumsi beban harian dan beban puncak. Dimana beban harian dan beban puncak digunakan untuk menentukan kapasitas generator Biogas, solar PV, inverter dan baterai yang akan dibutuhkan. Berikut tahap pembuatan profil beban listrik di PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1:

a. Pembuatan Profil Beban

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data pembacaan kWh meter atau *rating* penggunaan daya per jam dan disusun kedalam tabulasi untuk mengetahui beban per jam, beban puncak, dan total beban harian yang digunakan oleh PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1.

Pembuatan Estimasi Profil Beban pada Tahun 2023

Pada tahap ini dilakukan perkiraan profil beban pada tahun implementasi proyek (2023), dengan menggunakan persamaan 2.6 *regresi linear* dan pendistribusian kebutuhan daya per jam berdasarkan persentase hasil profil beban pada tahap a.

3.5.2 Potensi Biogas dari POME

Pada penelitian ini, akan dihitung potensi Biogas dari POME yang ada di PT. TBS (Unit PKS-1 Bukit Payung). Dalam mendapatkan model pembangkit listrik tenaga Biogas dilakukan beberapa perhitungan sesuai dengan *handbook* Konversi POME Menjadi Biogas: Pengembangan Proyek di Indonesia. Berikut tahapan perhitungan potensi Biogas dari POME di PT. TBS (Unit PKS-1 Bukit Payung):

- Perhitungan perkiraan jumlah TBS dan aliran limbah cair harian yang terdapat di PT. TBS (Unit PKS-1 Bukit Payung) saat tahun implementasi menggunakan persamaan (2.7), dan (2.8).
- Perhitungan COD *loading* dari POME yang terdapat di PT. TBS (Unit PKS-1 Bukit Payung) menggunakan persamaan (2.9).
- Perhitungan potensi produksi gas metana dari POME yang terdapat di PT. TBS (Unit PKS-1 Bukit Payung) menggunakan persamaan (2.10).

3.5.3 Potensi Energi Surya

Pada tahap penelitian ini, menggunakan titik koordinat lokasi PT. Tri Bakti Sarimas (Unit PKS 1-Bukit Payung) yang terletak di Desa Pantai, Kecamatan Kuantan Mudik, Kabupaten Kuantan Singingi, Provinsi Riau, diperoleh dari Google Maps. Potensi energi surya dari titik koordinat tersebut, diakses dari data POWER NASA. Data yang diakses pada POWER yaitu data radiasi matahari ($\text{kWh/m}^2/\text{hari}$) dan data *clearness index* per bulan. Potensi energi surya atau radiasi matahari digunakan untuk mengetahui berapa kapasitas *solar PV* yang digunakan dalam memenuhi kebutuhan beban.

3.6 Perhitungan Manual dan Menganalisis Sistem *Hybrid*

Pada tahap ini dilakukan perhitungan manual dan menganalisis sistem pembangkit *hybrid* berupa aspek teknis, ekonomi, dan emisi. Hasil perhitungan aspek teknis secara manual pembangkit listrik *hybrid solar PV-Biogas off grid system* ini menjadi *input* pada proses simulasi menggunakan *software* HOMER Pro.

3.6.1 Aspek Teknis

Aspek teknis adalah tinjauan investasi dari sudut pandang teknis. 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 solar* PV-Biogas pada penelitian ini sebagai berikut:

3.6.1.1 Menentukan 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 *bus* DC
- d. Menentukan 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

3.6.1.2 Menentukan Ukuran dan Pemilihan Komponen

A. Menentukan Ukuran dan Pemilihan Komponen PLTBG

Dalam pemilihan dan perhitungan komponen pembangkit listrik tenaga Biogas, pada penelitian ini dilakukan secara teoritis yang sesuai dengan *handbook* Konversi POME Menjadi Biogas: Pengembangan Proyek di Indonesia sesuai dengan pembahasan pada bab 2. Urutan perencanaan komponen Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dimulai dengan:

1. Penentuan Sistem Digester

Teknologi digester yang digunakan adalah kolam tertutup, karena kebanyakan pabrik menggunakan jenis kolam tertutup didukung faktor desain nya yang sederhana dan biaya yang lebih rendah. Pemilihan digester dan perhitungan volume digester pada sub bab (2.2.6.1).

2. Pengolahan Biogas

Tahapan selanjutnya adalah menentukan perencanaan pengolahan Biogas, yang terdiri atas *scrubber* atau pemurnian gas dari unsur H_2S dan perencanaan *dehumidifier* dengan menentukan spesifikasi dan model, serta perencanaan *flare* untuk membakar sisa gas metana yang dihasilkan dibahas pada sub bab (2.2.6.2, 2.2.6.3, dan 2.2.6.4).

Sistem Pembakaran Biogas.

Kemudian, tahapan menentukan ukuran dan pemilihan *gas engine* sebagai sistem pembakaran Biogas, berdasarkan potensi gas metana yang dihasilkan dari POME (limbah cair pabrik kelapa sawit) dibahas pada sub bab (2.2.6.5).

B. Menentukan Ukuran dan Pemilihan Komponen *Solar Photovoltaic*

Menentukan ukuran dan pemilihan komponen *photovoltaic* pada tahap ini adalah, melakukan perhitungan secara teoritis yang sesuai dengan Australian/New Zealand *Standard*TM AS/NZS 4509.2:2010 tentang *Stand Alone Power System Part 2: System Design*. Berdasarkan standar tersebut ada 3 tahapan yang digunakan pada penelitian ini, dalam melakukan perencanaan sistem pembangkit listrik *solar PV*. 3-tahapan tersebut yaitu:

1. Menentukan ukuran dan pemilihan *PV array*, yang meliputi: penentuan kapasitas dan spesifikasi modul *PV* yang akan digunakan dibahas pada sub bab (2.2.9.1).
2. Menentukan ukuran dan pemilihan baterai, yang meliputi: penentuan kapasitas dan spesifikasi baterai yang akan digunakan dibahas pada sub bab (2.2.9.2)
3. Menentukan ukuran dan pemilihan *inverter*, yang meliputi: penentuan kapasitas dan spesifikasi *inverter* yang akan digunakan (sub bab 2.2.9.3).

Setelah analisis teknis perencanaan sistem *hybrid* secara manual dalam menghitung spesifikasi utama sistem dan komponen-komponen sistem *hybrid*, kemudian dilakukan analisis teknis melalui simulasi menggunakan *software* HOMER Pro bertujuan untuk mengetahui potensi suplai energi listrik yang dihasilkan, serta kinerja komponen-komponen utama sistem *hybrid*.

3.6.2 Aspek Emisi

Pada tahap ini dilakukan perhitungan manual dan analisis aspek emisi guna mengestimasi pengurangan emisi CO₂ yang bisa dilakukan ketika proyek pembangkit listrik tenaga *hybrid solar PV-Biogas* dilaksanakan. Analisis aspek emisi dalam penelitian ini berdasarkan beberapa parameter yaitu: substitusi generator diesel berbahan bakar *solar*, dan saat kolam POME masih dalam keadaan terbuka. Perhitungan potensi pengurangan emisi gas rumah kaca (CO₂), secara teoritis merujuk *handbook* Konversi POME Menjadi Biogas: Pengembangan Proyek di Indonesia. Adapun tahapannya sebagai berikut:

- a. Menghitung besarnya energi listrik per tahun yang dihasilkan oleh pembangkit listrik generator diesel dan besar emisi CO₂ nya menggunakan persamaan (2.38) dan (2.39).

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. Menghitung besarnya gas metana (CH_4) yang dihasilkan POME sebelum proyek Biogas dilaksanakan dalam satuan kg gas menggunakan persamaan (2.40).

2. Menghitung gas metana (CH_4) POME yang dikonversi menjadi CO_2 menggunakan persamaan (2.41).

3. Tahapan akhir adalah menjumlahkan hasil poin a dan c diatas.

Analisis aspek emisi pada penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan penurunan emisi gas rumah kaca CO_2 dari proyek yang diusulkan. Hasil dihitung sebagai ton setara CO_2 emisi yang dapat dihindari per tahun.

3.6.3 Aspek Ekonomi

Pada tahap ini dilakukan perhitungan manual dan analisis aspek ekonomi sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid solar* PV-Biogas. 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.

Parameter/kriteria yang digunakan pada penelitian ini dalam analisis meliputi *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Payback Period* (PBP). Berikut alur perhitungan manual aspek ekonomi, yaitu:

- a. Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost*), yang berguna untuk mengetahui nilai sekarang atau *present value* (PV) dan biaya total sistem *hybrid* yang terdiri dari biaya investasi awal, penggantian komponen, operasional dan pemeliharaan. Menghitung nilai LCC digunakan persamaan (2.27).
- b. *Net Present Value* (NPV), yang berguna untuk menghitung nilai sekarang dari setiap arus kas masuk (*Cash Flow Benefit*) berupa biaya CER dengan persamaan (2.34) dan (2.42), serta arus kas keluar (*Cash Flow Cost*) dengan persamaan (2.35), yang didiskontokan pada biaya modal (2.42). Menghitung nilai NPV digunakan persamaan (2.33).
- c. *Payback Period* (PBP), berguna untuk mengetahui berapa lama waktu pengembalian biaya investasi. Menghitung nilai PBP digunakan persamaan (2.36).
- d. *Internal Rate of Return* (IRR), parameter ini berguna menghitung tingkat bunga yang dapat menyamakan antara present value dari semua aliran kas dari suatu investasi proyek. Menghitung nilai IRR digunakan persamaan (2.37).

Evaluasi dari ketiga parameter kelayakan ekonomi yang digunakan adalah ketika nilai NPV > 0 , nilai IRR lebih besar dari pada suku bunga Bank berarti proyek layak untuk dilaksanakan, dan dalam *payback period* ini rencana investasi dikatakan layak (*feasible*) jika nilai PBP lebih kecil atau sama dengan umur investasi proyek (*life time*). Dikarenakan rencana pembangunan pembangkit akan dilakukan di tahun 2023, maka untuk melakukan analisis ekonomi ini mengikuti arah suku bunga yang ada.

Setelah perhitungan manual ketiga aspek tersebut, tahap berikutnya adalah simulasi menggunakan *software* HOMER Pro sistem PLT *Hybrid* aspek teknis dan ekonomi. Dimana pada tahap ini hanya menggunakan hasil perhitungan manual aspek teknis saja dalam *input* simulasi aspek teknis, dan untuk *input* ekonomi tidak menggunakan hasil perhitungan manual aspek ekonomi, berikut dijabarkan pada sub bab 3.7.

3.7 Simulasi Menggunakan *Software* HOMER Pro

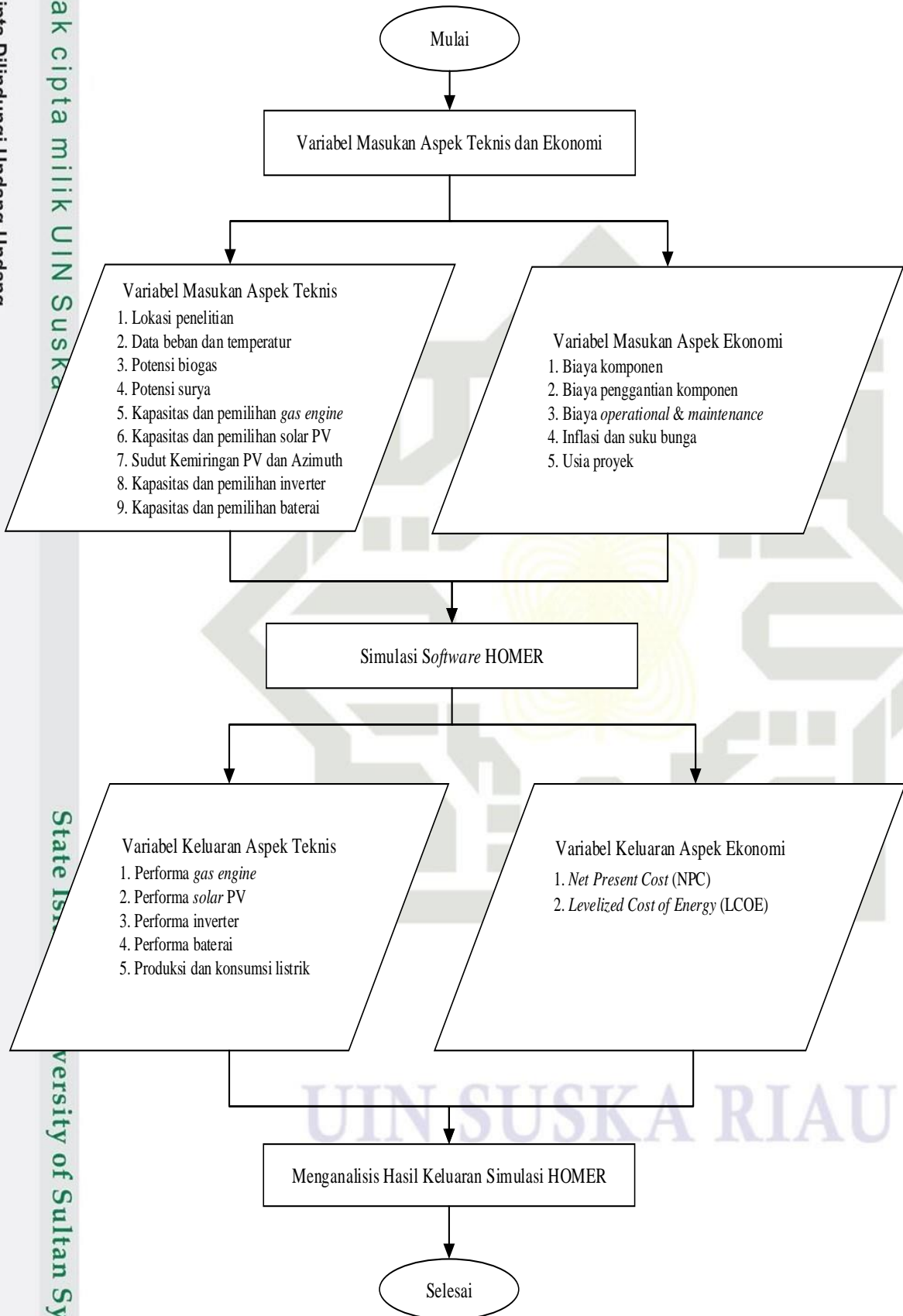
HOMER Pro mampu menganalisis sistem pembangkit secara teknis dan menghitung ekonomi selama umur proyek. Pada tahapan ini variabel perhitungan teknis berdasarkan standar AS/NZS 4509.2.2010, dan *handbook* Konversi POME Menjadi Biogas: Pengembangan Proyek di Indonesia, akan digunakan sebagai *input* aspek teknis, sedangkan untuk *input* aspek ekonomi berupa biaya pembelian komponen, O&M, penggantian, suku bunga, dan inflasi. Tujuan dari tahap ini adalah: Pertama, untuk mengetahui apakah sistem yang di rencanakan sudah optimal. Kedua, mendapatkan hasil ekonomi (NPC dan LCOE saja) selama umur proyek. Ketiga, mendapatkan hasil kinerja/performa sistem secara teknis selama umur proyek.

Pada perencanaan pembangkit listrik tenaga *hybrid solar* PV-Biogas pada *software* HOMER Pro dengan *off grid system* ditetapkan oleh peneliti menggunakan konfigurasi listrik *parallel*. Kelebihan konfigurasi ini adalah menggunakan satu *inverter* multi fungsi yaitu *bidirectional inverter*. Sehingga konfigurasi ini dinilai lebih efisien karena secara teknis lebih memudahkan dalam instalasi, operasional dan perawatan (O&M). Sedangkan dari segi ekonomis biaya investasi awal, O&M, dan penggantian komponen lebih murah karena tidak menggunakan banyak komponen.

Dalam penelitian ini, secara lebih rinci disajikan *flowchart* dan tahapan umum simulasi *software* HOMER Pro 3.18.8 untuk pembangkit listrik tenaga *hybrid solar* PV-Biogas sebagai berikut:

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.



Gambar 3.2 Diagram Alur Simulasi *Software* HOMER Pro.

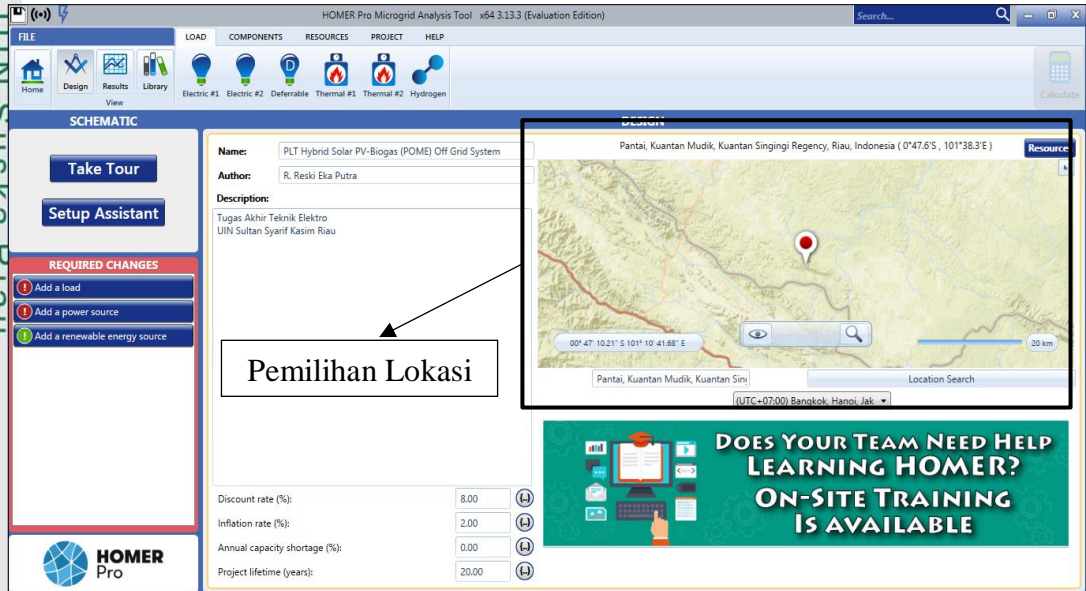
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.

3.7.1 Tahapan Simulasi

Penentuan Lokasi

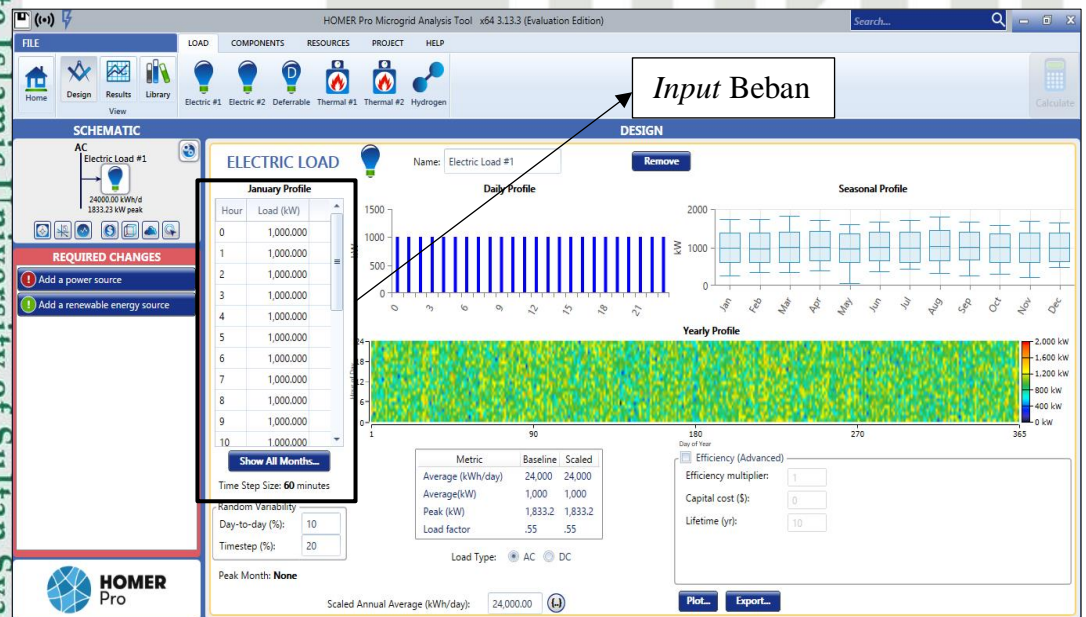
Pada tahapan ini memilih lokasi yang ingin kita pasang suatu pembangkit. Pada HOMER Pro akan menampilkan peta dan kita *input* koordinat lokasi pembangunan pembangkit tersebut.



Gambar 3.3 Pemilihan Lokasi

2. Memasukan Profil Beban.

Konsumsi energi listrik di PT. TBS (Unit PKS-1 Bukit Payung) yang ada akan dimasukkan kedalam *software* HOMER Pro supaya terlihat grafik yang akan diteliti.



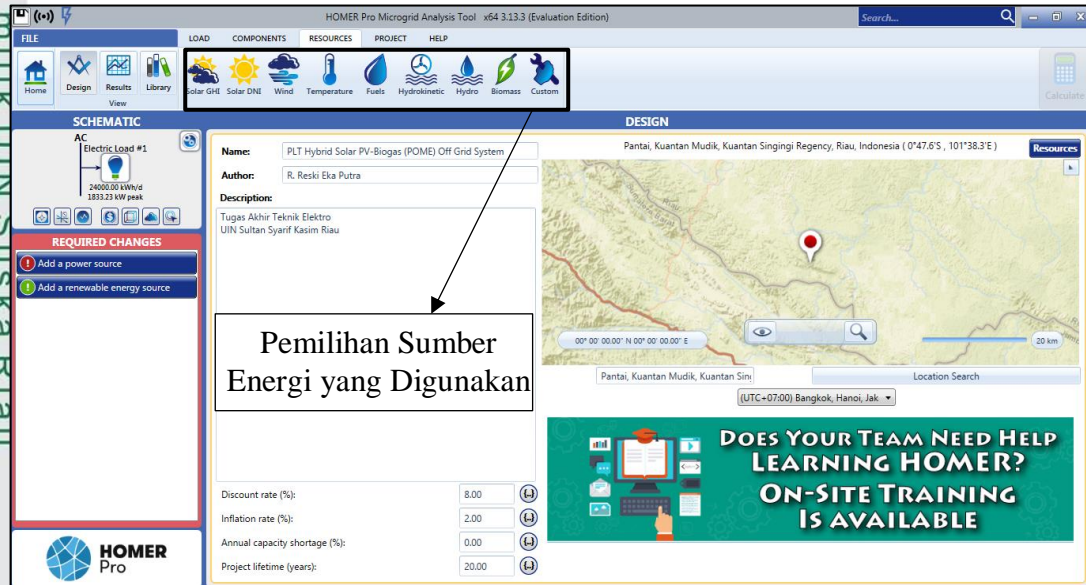
Gambar 3.4 Menentukan Profil Beban

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.

Memasukan Data Potensi Energi Terbarukan

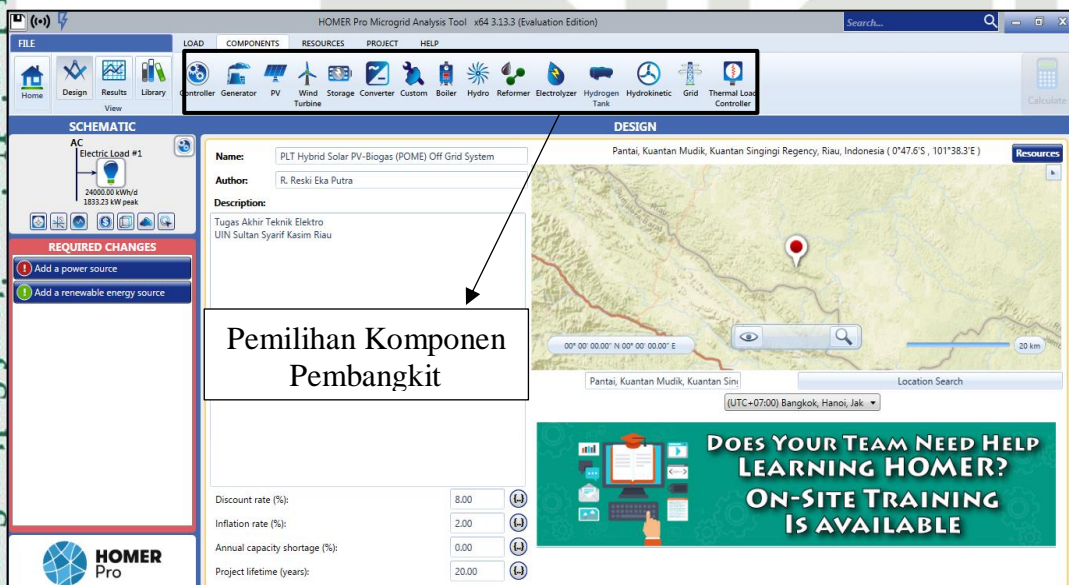
Dalam *software* HOMER Pro sudah ada *tools* yang akan mengunduh file energi terbarukan yang ada di lokasi yang sudah kita tentukan.



Gambar 3.5 Potensi Energi Terbarukan

4. Pemilihan Komponen Sistem Pembangkit

Ukuran dan kebutuhan komponen pembangkit yang akan dipilih menyesuaikan dengan profil beban yang ada. Dalam pemilihan komponen ini peneliti juga akan memasukkan harga yang sesuai dengan harga komponen aslinya. Peneliti juga memasukkan nilai inflasi yang ada, sehingga dalam penghitungan analisis ekonomi mendapatkan nilai yang maksimal.



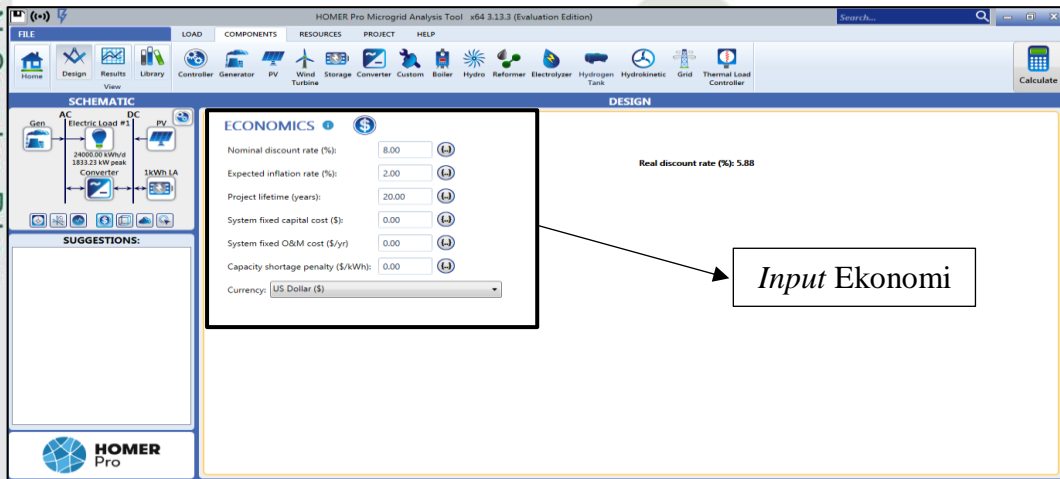
Gambar 3.6 Pemilihan Komponen Sistem Pembangkit Hybrid

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

Input Ekonomi

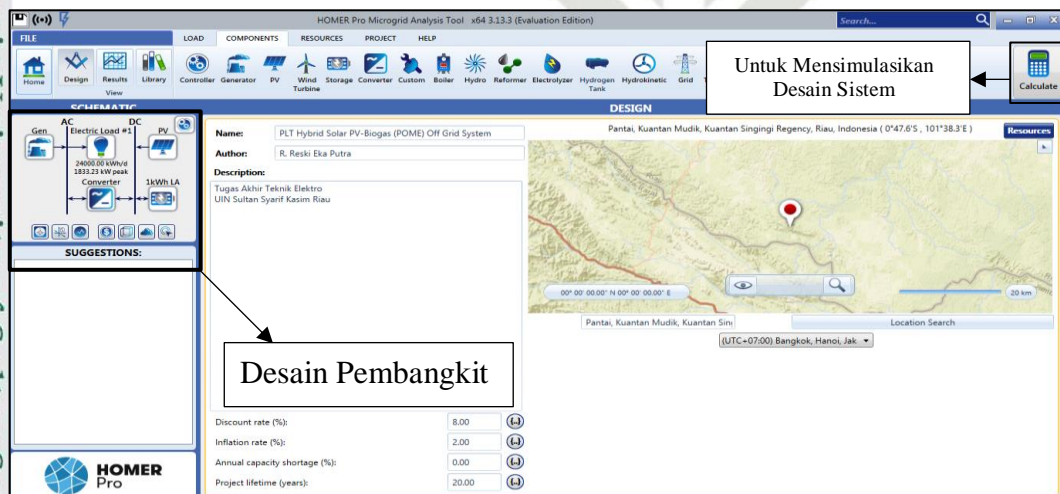
Dalam melakukan analisis ekonomi selama umur proyek, HOMER Pro memerlukan data *input discount rate* (suku bunga), inflasi tahunan, usia proyek, *capital cost* (biaya tambahan pada investasi awal), dan biaya operasional & perawatan. Suku bunga dan inflasi dalam penelitian ini mengacu pada Bank Indonesia. Tampilan *input ekonomi* pada HOMER Pro ditampilkan pada Gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7 *Input Ekonomi* pada HOMER Pro

6. **Konfigurasi dan simulasi**

Pada tahapan ini peneliti akan menentukan konfigurasi pembangkit listrik *hybrid off grid system* yaitu paralel. Komponen konfigurasi paralel ini terdiri dari generator Biogas, PV, *inverter*, baterai, dan beban. Setelah konfigurasi selesai, dilakukan simulasi untuk mendapatkan suatu rekomendasi pembangkit listrik tenaga *hybrid solar* PV-Biogas yang optimal.



Gambar 3.8 Konfigurasi dan Simulasi

Setelah dilakukan simulasi akan muncul hasil optimasi sistem berdasarkan variabel masukan teknis dan ekonomi sebelumnya. Pada penelitian ini, karena menggunakan perencanaan *multi-years* (20 tahun) sehingga hasil simulasi optimal yang dipilih adalah apabila *unmet electrical load* pada sistem bernilai 0%, ini terjadi ketika permintaan beban bernilai lebih kecil dari persediaan energi listrik yang ada, sehingga beban dapat dilayani oleh sistem. Selain itu, *capacity shortage* atau besarnya kekurangan energi per tahun harus bernilai 0%.

Variabel keluaran pada sistem meliputi: Aspek Teknis (performa *gas engine*, performa *solar PV*, performa *inverter*, performa baterai dan produksi listrik dari sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* yang direncanakan), dan Aspek Ekonomi (analisis biaya yang timbul selama umur proyek (total NPC), dan biaya produksi listrik per kWh (LCOE)).

3.8 Analisis Hasil Keluaran Simulasi HOMER Pro

Setelah mendapatkan hasil simulasi, maka pada tahap ini akan dilakukan analisis pada sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid solar PV-Biogas* yang paling optimal dari hasil simulasi HOMER Pro tersebut. Analisis pada sistem optimal yang akan dilakukan meliputi:

1. Analisis Teknis, mencakup analisis performa *gas engine*, performa *solar PV*, performa *inverter*, performa baterai dan produksi listrik dari sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* yang direncanakan.
2. Analisis Ekonomi, mencakup analisis biaya yang timbul selama umur proyek (total NPC), dan biaya produksi listrik per kWh (LCOE).

Tujuan dari tahap ini yaitu agar pembangkit listrik tenaga *hybrid solar PV-Biogas off grid system* sesuai dengan perencanaan yang diharapkan, yaitu dengan kriteria suplai listrik kontinyu, biaya yang timbul selama umur proyek (NPC) rendah, dan biaya energi (LCOE) rendah.

3.9 Analisis Kelayakan Sistem

Analisis kelayakan sistem dari pembangkit listrik tenaga *hybrid solar PV-Biogas off grid* adalah tahap akhir dari penelitian ini, di mana pada tahap ini akan memberikan kesimpulan apakah sistem yang direncanakan layak untuk dibangun. Standar kelayakan pada sistem adalah pertama berdasarkan pertimbangan aspek teknis (suplai listrik kontinyu selama umur proyek, dan semua komponen dalam performa baik). Kedua, kelayakan aspek

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

ekonomi berdasarkan parameter analisis *net present cost* (NPV) bernilai positif, *payback period* (PBP) bernilai lebih kecil atau sama dengan usia proyek, nilai *internal rate of return* (IRR) lebih besar dari pada suku bunga selama proyek berlangsung, dan juga nilai LCOE, maupun NPC yang rendah hasil simulasi HOMER Pro juga menjadi pertimbangan. Selain kedua aspek kelayakan tersebut, besarnya jumlah emisi CO₂ yang dapat dihindari dengan adanya sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid solar* PV-Biogas turut menjadi parameter pendukung dalam menganalisis kelayakan sistem.

Berdasarkan syarat-syarat kelayakan pembangkit listrik tenaga *hybrid solar* PV-Biogas diatas, apabila hasil analisis kelayakan sistem tidak memenuhi syarat kelayakan, maka penelitian analisis teknis dan ekonomi pembangkit listrik tenaga *hybrid solar* PV-Biogas *off grid system* diulang dari perhitungan manual aspek teknis, hingga perhitungan manual aspek kelayakan ekonomi dan biaya CER dari emisi CO₂. Sebaliknya apabila hasil analisis kelayakan sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid solar* PV-Biogas *off grid* di PT. TBS (Unit PKS-1 Bukit Payung) memenuhi syarat kelayakan secara teknis, ekonomi, dan emisi, maka penelitian ini dilanjutkan dengan membuat kesimpulan dan saran.

3.10 Kesimpulan dan Saran

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

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 V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal yaitu sebagai berikut:

1. Dari potensi jumlah limbah cair kelapa sawit (POME) sebesar 701,45 m³/hari, dengan COD 29.291,28kg/hari dapat menghasilkan gas metana murni sebesar 8.765,41m³/hari yang mampu memproduksi energi listrik sebesar 24.960 kWh/hari atau setara dengan 67,41% dari total beban listrik harian di PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1. Sehingga defisit energi listrik sebesar 32,59% dipenuhi dengan memanfaatkan potensi energi surya sebesar 4,7 kWh/m²/hari untuk menghasilkan listrik sebesar 15.950 kWh/hari.
2. Desain pembangkit listrik tenaga *hybrid solar PV-Biogas off grid system* yang optimal hasil perhitungan secara teoritis dan simulasi HOMER Pro 3.18.8 terdiri dari generator Biogas berkapasitas 1.560 kW, PV array berkapasitas 4.040,22 kWp, 1 unit *inverter bidirectional* 2000 kW, dan 10.125 unit baterai pada C₂₀ berkapasitas 1.547 Ah dengan tegangan per unit 2 volt. Sistem pembangkit listrik *hybrid solar PV-Biogas off grid system* yang didesain mampu melayani kebutuhan beban secara kontinyu selama 20 tahun dengan produksi energi listrik di tahun pertama sebesar 14.932190kWh/tahun dan pada tahun ke 20 sebesar 2.283.787kWh/tahun, dengan rata-rata kelebihan energi selama umur proyek mencapai 25,23% dari total produksi.
3. Pembangkit listrik tenaga *hybrid solar PV-Biogas off grid system* di PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1 memerlukan investasi awal sebesar Rp. 255.703.711.995,64 yang terdiri dari biaya operasional dan perawatan sebesar Rp. 3.663.575.629,00 dan biaya penggantian *inverter* pada tahun ke-17 sebesar Rp. 7.273.110.000,00. Serta *levelized cost of energy* (LCOE) atau biaya energi listrik adalah sebesar Rp.1.512,73/kWh. Pada aspek analisis kelayakan ekonomi nilai *Net Present Value* didapatkan positif sebesar Rp. 136.266.578.753, *Internal Rate of Return* (9,41%) dan *Payback Period* 13 tahun bulan 18 hari. Berdasarkan analisis kelayakan nilai NPV, IRR dan PBP pembangkit listrik tenaga *hybrid solar PV-Biogas off grid system* di PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1 layak dibangun.
4. Diketahui dengan menyubstitusi generator diesel berbahan bakar solar maka dapat mengurangi emisi sebesar 1,78 ton CO₂/tahun, dan dengan jumlah pembakaran gas

metana yang dapat dilakukan sebesar 8.765,41 m³/hari dapat mengurangi emisi sebesar 44.073,75 ton CO₂/tahun. Sehingga dalam setahun total pengurangan emisi CO₂ yang dapat dilakukan sebesar 44.075,53 ton, yang menghasilkan manfaat finansial penjualan CER sebesar Rp.6.611.062.500/tahun.

5.2 Saran

Dari penelitian yang sudah dilakukan, ada beberapa saran yang perlu dipertimbangkan untuk peneliti selanjutnya yaitu:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan perancangan pembangkit listrik *hybrid* dan melakukan penambahan analisis sensitivitas ekonomi pada sistem.
2. Penelitian selanjutnya disarankan dapat melakukan penelitiannya hingga menjadi sebuah dokumen proyek.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] (BPPT) Badan Pengkajian Penerapan Teknologi Indonesia, “Indonesia Energy Outlook 2018 : Sustainable Energy for Land Transportation,” Jakarta, 2018.
- [2] Anonim, “Sawit Kembali Jadi Penyumbang Devisa Terbesar,” *BUMN*, 2018. [Online]. Available: <http://www.bumn.go.id/ptpn5/berita/1-Sawit-Kembali-Jadi-Penyumbang-Devisa-Terbesar>. [Accessed: 14-Dec-2019].
- [3] Rahayu *et al.*, *Konversi POME Menjadi Biogas : Pengembangan Proyek di Indonesia*. Jakarta: Winrock International, 2015.
- [4] (BPS) Badan Pusat Statistik Indonesia, “Direktori Perusahaan Perkebunan Kelapa Sawit Indonesia 2017,” Jakarta, 2018.
- [5] R. Budiarto and A. Agung, “Potensi Energi Limbah Pabrik Kelapa Sawit,” *Tek. Fis. U G M*, vol. 325, no. 1, pp. 1–6, 2009.
- [6] Y. M. Alkusma, H. Hermawan, and H. Hadiyanto, “Pengembangan Potensi Energi Alternatif Dengan Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Baru Terbaru Di Kabupaten Kotawaringin Timur,” *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 14, no. 2, p. 96, 2016.
- [7] (Kementan) Kementrian Pertanian Indonesia, “Outlook Kelapa Sawit,” Jakarta, 2017.
- [8] (BPS) Badan Pusat Statistik Kabupaten Kuantan Singingi, “Kabupaten Kuantan Singingi Dalam Angka,” Taluk Kuantan, 2018.
- [9] Suyitno, A. Sujono, and Dharmanto, *Teknologi Biogas Pembuatan, Operasional, dan Pemanfaatan*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2010.
- [10] D. Asril, *et al*, *Penerapan Prinsip dan Kriteria RSPO untuk Petani/Pabrik Kelapa Sawit*. Jakarta: RSPO Indonesia, 2012.
- [11] NASA, “Prediction of Worlwide Energy Resource,” 2010. [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Accessed: 14-Jun-2019].
- [12] Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, 6th ed. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2000.

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.

- [13] Power and Water Corporation, *Solar/Diesel Mini-Grid Handbook*. Darwin: Australian Renewable Energy Agency (ARENA), 2014.
- [14] M. H. Nehrir *et al.*, “A review of *hybrid* renewable/alternative energy systems for electric power generation: Configurations, control, and applications,” *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 2, no. 4, pp. 392–403, 2011.
- [15] HOMER Energy, *HOMER® Pro Version 3.7 User Manual*. USA: HOMER Energy, 2016.
- [16] S. Agus, R. D. P. Etie, Yudiartono, A. Wijono, and L. Niken, “Analisis Keekonomian Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Dari Pome Dengan Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR),” *Maj. Ilm. Pengkaj. Ind.*, vol. 13, no. 1, pp. 75–84, 2019.
- [17] G. Carlos D Rodríguez, O. Gandhi, M. Bieri, T. Reindl, and S. K. Panda, “A Diesel Replacement Strategy for Off-Grid Systems Based on Progressive Introduction of PV and Batteries: An Indonesian Case Study,” *Appl. Energy*, vol. 229, pp. 1218–1232, 2018.
- [18] A. Priyanka, S. K. Kaur, and M. Rizwan, “Design of *Solar-Biomass-Biogas* Based *Hybrid* System for Rural Electrification with Environmental Benefits,” *Int. J. Recent Innov. Trends Comput. Commun.*, vol. 5, no. 6, pp. 450–456, 2017.
- [19] S. Shereefdeen Oladapo, M. Ibrahim, I. Mahmud, T. Oluwafemi, and K. O. Olusuyi, “Potential of Off-grid *Solar* PV/Biogas Power Generation System: Case Study of Ado Ekiti Slaughterhouse,” *IJRER*, vol. 9, no. 3, pp. 1309–1318, 2019.
- [20] M. Sidqi, Ichwana, and K. Siregar, “Kajian Pemanfaatan POME di Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Listrik dan Mencegah Potensi Pemanasan Global (Study on the Utilization of POME in Palm Oil Mill as a Source of Electrical Energy and Prevent Global Warming Potential) Kelapa sawit mer,” *J. Ilm. Mhs. Pertan.*, vol. 3, no. 3, pp. 1–10, 2018.
- [21] W. Marcus, S. Rolland, and C. Guerrero, *Hybrid Mini-Grids for Rural Electrification : Lessons Learned*. Belgium: Alliance for Rural Electrification, 2014.

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.

- [22] C. V. Nayar, S. J. Phillips, W. L. James, T. L. Pryor, and D. Remmer, "Novel Wind/Diesel/Battery Hybrid Energy System," *Sol. Energy*, vol. 51, no. 1, pp. 65–78, 1993.
- [23] G. Léna, *Rural Electrification with PV Hybrid Systems: Overview and Recommendations for Further Deployment*. International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme, 2013.
- [24] H. Hesty and A. Nugroho, *CCP dan CP Pada Proses Pengolahan CPO dan CPKO*. Yogyakarta: Deepublish, 2017.
- [25] C. Nogueira, E. Maria, C. Avelino, M. Tejo, and J. N. Silva, "PROJETO DE UNIDADE DE BIOENERGIA E TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE ABATEDOUROS DE AVES DE CORTE," 2016.
- [26] J. Martí Herrero, *Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación*. 2019.
- [27] D. da S. Ribeiro, "DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES DE UM BIODIGESTOR EM FUNÇÃO DA PROPORÇÃO GÁS/FASE LÍQUIDA," vol. 1, no. 27, 2011.
- [28] "MWM TCG 2020 V16," 2020. [Online]. Available: <https://www.mwm.net/mwm-chp-gas-engines-gensets-cogeneration/gas-engines-power-generators/gas-engine-tcg-3016-s/>. [Accessed: 06-Feb-2020].
- [29] H. Johan, *Analisis Regresi Linier*. Jakarta: Gunadrama, 2018.
- [30] K. Bayuaji *et al.*, *Panduan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat*. Jakarta Selatan: Ditjen EBTKE, 2018.
- [31] D. Hadiyanto and T. H. Tua, *Komponen PLTS Terpusat*. Jakarta Timur: Pusdiklat Ketenagalistrikan EBTKE, 2016.
- [32] N. Zulkarnain, *Praktik Penyusunan Studi Kelayakan PLTS*. Jakarta Timur: Pusdiklat Ketenagalistrikan EBTKE, 2016.
- [33] "Bidirectional Inverter 2000," *EATON*, 2020. .
- [34] *Australian/New Zealand Standard TM 4509.2 Stand-alone power systems-Part 2: System design*. Sydney: SAI Global Limited, 2010.
- [35] Giatman, *Ekonomi Teknik*, 1st ed. Jakarta: PT. RajaGrafindo Persada, 2006.

- © Hak Cipta milik UIN Suska Riau
- Hak Cipta Diindungi Undang-Undang
- [36] DEFRA, “Guidelines to Defra/DECC’s GHG Conversion Factors for Company Reporting,” 2012.
 - [37] S. Yacob, M. A. Hassan, Y. Shirai, M. Wakisaka, and S. Subash, “Baseline study of methane emission from open digesting tanks of palm oil mill effluent treatment,” *Chemosphere*, vol. 59, no. 11, pp. 1575–1581, 2005.
 - [38] L. Tom, P. Gilman, and P. Lilienthal, *Micropower System Modeling With Homer*. John Wiley & Sons, Inc, 2006.
 - [39] Kunaifi, “Program Homer Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida di Provinsi Riau,” *semmasIF*, pp. 18–27, 2010.
 - [40] “SunCalc org,” 2020. [Online]. Available: <https://www.suncalc.org>. [Accessed: 03-Mar-2020].
 - [41] D. P. Butar-butur, M. N. Amin, and T. Kasim, “Analisis Biaya Produksi Listrik per KWh Menggunakan Bahan Bakar Biogas Limbah Cair Kelapa Sawit (Aplikasi pada PLTBGS PKS Tandun),” *Singuda Ensikom*, vol. 3, no. 1, pp. 17–22, 2013.
 - [42] (BPS) Badan Pusat Statistik Daerah, “Analisis Makro Ekonomi DIY,” Yogyakarta, 2018.
 - [43] D. R. Kusuma, “Sri Mulyani Ramal Rupiah Tembus Rp15.200 per Dolar AS di 2024,” *Kumparan BISNIS*, 2019. [Online]. Available: <https://kumparan.com/kumparanbisnis/sri-mulyani-ramal-rupiah-tembus-rp-15-200-per-dolar-as-di-2024-1rqUGDpbJX/full>. [Accessed: 13-Mar-2020].
 - [44] EFI, “Lagoon Cover Anaerobic Digester A Cost Effective Solution for Energy Recovery,” Gaston United State, 2014.
 - [45] A. W. P, M. Fahrurrozi, and M. Hidayat, “Studi Tekno-Ekonomi Pemurnian Biogas dari Limbah Domestik,” *Stud. Tekno-Ekonomi Pemurnian Biogas dari Limbah Domest.*, vol. 6, no. 2, pp. 43–50, 2014.
 - [46] Y. M. D. PUTRA, “PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS (PLTBG) ON GRID SYSTEM DARI SAMPAH ORGANIK KOTA PEKANBARU,” UIN Suska Riau, 2019.
 - [47] Z. Rivaldo, “Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Rantau Sakti,” Surakarta, 2017.

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 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.

- [48] F. Colville, "Top 10 solar module suppliers in 2018," *PV-Tech & Solar Media Ltd*, 2019. [Online]. Available: <https://www.pv-tech.org/editors-blog/top-10-solar-module-suppliers-in-2018>. [Accessed: 07-Jan-2020].
- [49] "Canadian Solar Inc," 2019. [Online]. Available: www.canadiansolar.com. [Accessed: 23-Nov-2019].
- [50] "Trojan Battery Company," 2019. [Online]. Available: trojanbattery.com. [Accessed: 27-Nov-2019].
- [51] "Geomembran HDPE," *PT. Pandu Equator Prima*. [Online]. Available: office@pandu-equator.com. [Accessed: 18-May-2020].
- [52] "Jasa dan Produk," *PT. HEXAMITRA DAYA PRIMA*, 2020. [Online]. Available: info@hexamitra.co.id. [Accessed: 25-May-2020].
- [53] (KESDM) Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia, *Pedoman Investasi Bioenergi di Indonesia*, 1st ed. Jakarta: Direktorat Bioenergi, 2016.
- [54] "TROJAN SIND 02 1990 SOLAR INDUSTRIAL FLOODED 2V 1990AH BATTERY," *Solaris Technology Industry Inc*, 2020. [Online]. Available: <https://www.solaris-shop.com/trojan-sind-02-1990-solar-industrial-flooded-2v-1990ah-battery/>. [Accessed: 07-May-2020].
- [55] "EATON Solar Inverter," *ENF Solar*, 2020. [Online]. Available: <https://www.ensolar.com>. [Accessed: 20-May-2020].
- [56] (OJK) Otoritas Jasa Keuangan Indonesia, "Pembiayaan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas," Jakarta, 2016.
- [57] Global Sustainable Energy Solutions [GSES], *Grid-Connected PV Systems Design and Installation*, 8th ed. Alexandria NSW: GSES, 2016.
- [58] "Harga Dasar Solar Industri Pertamina Periode 1 – 14 Mei 2020," *Solar Industri*, 2020. [Online]. Available: <https://solarindustri.co.id>. [Accessed: 07-May-2020].

LAMPIRAN A SURAT IZIN PENELITIAN



PT. TRI BAKTI SARIMAS

Kantor : Jln Saleh Abbas No.50 Telp.(0761)34914 – 45254 Fax. (0761) 34891-45246 Pekanbaru – 28152 INDONESIA
Lokasi Perkebunan : Desa Pantai, Kecamatan Kaantan Mudik, Kabupaten Kuating, Propinsi Riau, INDONESIA

No : 030/TBS/TC-PKL/XII/2019
Tanggal : 13 Desember 2019

Kepada Yth :
Bapak Dr. H. Suryan A. Jamrah, MA
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim
Jl. HR. Soebrantas KM. 18 No. 155 Tuahmadani Tampon
Pekanbaru - Riau

Hal : Persetujuan Izin Penelitian dan Pengambilan Data Tugas Akhir

Dengan hormat,

Sehubungan Surat Bapak tertanggal 17 Oktober 2019 Nomor : Ua.04/F.V/PP.00.9/9878/2019 tentang Moles Izin Penelitian dan Pengambilan Data Tugas Akhir/Skripsi.

Pada Prinsipnya kami dapat menerima mahasiswa tersebut an R. Reski Eka Putra, Nims (11655103545) dalam penyelesaian penulisan skripsi di PT. Tri Bakti Sarimas dengan judul "Analisis Potensi Energi Listrik dari Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit". Adapun syarat dan ketentuan sebagai berikut :

- Mahasiswa yang bersangkutan harus datang ke lokasi Perusahaan.
- Mengikuti peraturan yang berlaku di Perusahaan.
- Perusahaan menyediakan tenaga pendamping selama kegiatan tersebut.
- Perusahaan tidak menanggung segala bentuk biaya atas kegiatan tersebut.
- Keselamatan Kerja secara umum dan APD (Alat Pelindung Diri) ditanggung yang bersangkutan dan segala resiko selama pelaksanaan penelitian menjadi tanggung jawab pribadi.
- Hasil penelitian skripsi yang sudah dicetak harus dikirim 1 (satu) jilid untuk PT. Tri Bakti Sarimas.

Demikian disampaikan , untuk dimaklumi dan terimakasih

Hormat kami,



Ahmad Sri Winahen
Direktur Operasional

Tembusan Yth :

1. File

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.

LAMPIRAN B

B.1 Pengantar Studi Pendahuluan

Assalamu 'alaikum Wr. Wb.

Pertama-tama saya mengucapkan terima kasih kepada Bapak yang telah berpartisipasi menjadi responden dalam wawancara untuk keperluan studi pendahuluan ini. Sebagai data-data awal penulis dalam mengidentifikasi pemanfaatan limbah cair kelapa sawit (POME) dan energi surya, dengan melakukan evaluasi dan memberikan solusi sebagai upaya mengurangi penggunaan generator diesel dengan memanfaatkan potensi energi terbarukan pada PT. Tri Bakti Sarimas (PKS-1 Bukit Payung) Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau.

Selain itu wawancara ini dibuat dalam rangka mendukung proses pelaksanaan penyusunan penelitian Tugas Akhir yang penulis lakukan pada Program Sarjana S1 Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Sehingga akurasi informasi akan sangat membantu penulis dalam meningkatkan mutu penelitian ini.

Demikianlah pengantar untuk wawancara pada studi pendahuluan ini. Atas segala partisipasi Bapak dalam menjawab pertanyaan pada wawancara ini, sekali lagi saya ucapkan terima kasih. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Wassalamu 'alaikum Wr. Wb.

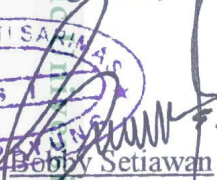
Kuansing, 16 Januari 2020

Hormat Saya,



R. Reski Eka Putra
Mahasiswa UIN SUSKA Riau

Mengetahui,



Bobby Setiawan

KTU Unit 1 PT. TBS

B.2 Tabel Hasil Wawancara I Studi Pendahuluan

Hari/Tanggal: Senin, 13 Januari 2020

Pukul/Tempat: 10:00 WIB/ PT. Tri Bakti Sarimas Unit I

No	Peneliti	Narasumber
1	Dari mana suplai energi listrik PT. Tri Bakti Sarimas (PKS-1 Bukit Payung) saat ini?	PLTU (daya <i>output</i> 1.000kW), dan Generator diesel kapasitas 800kW.
2	Berapa besar kebutuhan energi listrik PT. Tri Bakti Sarimas (PKS-1 Bukit Payung)?	Proses pengolahan CPO (79%) Perumahan karyawan (17%) <i>Workshop</i> (2%) <i>Head office</i> (1,5%) Penerangan Jalan (0,5%). Dengan konsumsi listrik harian rata-rata sebesar ±24.633,92 kWh/hari.
3	Apa permasalahan kelistrikan yang sering berulang terjadi pada pembangkit listrik utama (PLTU) ataupun pada Generator diesel?	Kondisi saat ini, setiap hari minggu PKS tidak beroperasi akibat proses perawatan rutin PLTU, sehingga suplai kelistrikan untuk lingkungan PKS sepenuhnya di suplai generator diesel. Selain itu, PLTU mengalami kerusakan berulang pada boiler, dan <i>blades</i> (sudu-sudu) dari turbin uap (±3 tahun sekali) sehingga PLTU sebagai suplai utama kelistrikan pabrik tidak dapat beroperasi, sedangkan dua unit generator diesel sebagai <i>back up</i> tidak mampu memenuhi kebutuhan listrik pabrik sepenuhnya. Proses perbaikan memerlukan waktu yang cukup lama akibat regulasi perusahaan.
4	Berapa liter bahan bakar yang digunakan generator diesel setiap harinya?	Konsumsi solar rata-rata harian sebesar 943 liter di bulan September, karena dipengaruhi oleh proses pengolahan CPO, di bulan tertentu seperti panen raya intensitas penggunaan generator diesel juga akan meningkat.

Kuansing, 16 Januari 2020

Mengetahui,



Mahmud Mujid
Teknisi PT. TBS

Hormat Saya,



R. Reski Eka Putra
Mahasiswa UIN SUSKA Riau

B.3 Tabel Hasil Wawancara II Studi Pendahuluan

Hari/Tanggal: Selasa, 14 Januari 2020

Pukul/Tempat: 10:30 WIB/ PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1

No	Pertanyaan	Jawaban
1.	Bagaimana pendapat Bapak mengenai pemanfaatan limbah cair kelapa sawit (POME) sebagai pembangkit listrik?	Sesuai tujuan perusahaan saat ini, sedang berupaya untuk memenuhi kriteria sertifikasi ISPO, dan RSPO. Yaitu sertifikasi industri PKS berkelanjutan (<i>sustainable</i>). Sebenarnya memanfaatkan POME yang saat ini masih hanya sebatas untuk pupuk, sangat membantu sekali dalam memenuhi kriteria sertifikasi, sebagai industri minim emisi GRK. Karena salah satu anak perusahaan PT.TBS sudah mengaplikasikan PLTBG POME, di PT.TBS sendiri kabarnya akan melakukan hal yang sama tetapi masih belum pasti kapan waktunya. Jadi saya turut mendukung aplikasi PLTBG POME.
2.	Mengenai upaya meminimalisir emisi GRK pada proses pengolahan CPO, bagaimana menurut Bapak dengan langkah penggantian atau meminimalkan penggunaan generator diesel berbahan bakar solar saat ini?	Saya mendukung hal tersebut, selama kebutuhan listrik di PKS tetap dapat terpenuhi. Karena memberikan manfaat ekonomi untuk perusahaan, dan juga mengurangi emisi.
3.	Upaya apa yang saat ini dilakukan PT. Tri Bakti Sarimas (PKS-1 Bukit Payung) untuk menjadi industri kelapa sawit berkelanjutan?	Selain rencana jangka panjang dengan aplikasi PLTBG POME. Saat ini diupayakan pengolahan limbah tandan kosong menjadi pupuk, tata kelola lahan, dan memperketat K3.

Kuansing, 16 Januari 2020

Mengetahui,

Hormat Saya,



Agustiawan
Pengolahan POME PT. TBS



R. Reski Eka Putra
Mahasiswa UIN SUSKA Riau

LAMPIRAN C

Tabel Konsumsi Energi Listrik Tahunan di PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1

No	Bulan	Konsumsi Energi Listrik (kWh)				
		Tahun 2015	Tahun 2016	Tahun 2017	Tahun 2018	Tahun 2019
1	Januari	762.841	759.674	768.345	772.345	782.345
2	Februari	644.650	631.865	647.234	648.213	663.733
3	Maret	653.840	698.111	676.549	683.246	676.442
4	April	657.941	643.292	664.341	659.459	665.421
5	Mei	657.600	674.652	647.689	667.541	687.240
6	Juni	725.620	725.799	784.765	779.875	783.727
7	Juli	754.760	783.623	784.563	781.347	793.221
8	Agustus	791.961	758.737	748.957	758.234	776.242
9	September	711.380	763.471	787.456	748.871	753.220
10	Oktober	915.160	913.576	917.653	926.635	933.432
11	November	751.700	727.235	717.485	726.541	744.223
12	Desember	753.220	719.258	706.484	720.160	732.134
Total		8.780.673	8.799.293	8.851.521	8.872.567	8.991.380

- 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 D

Estimasi Konsumsi Energi Listrik Harian PT. TBS Unit 1 Tahun 2023

Tabel Profil Beban Harian PT. TBS Unit 1.

Pukul	Beban (kW)	% dari TB (%)	Pukul	Beban (kW)	% dari TB (%)
00:00 - 01:00	775,97	3,15	12:00 - 13:00	1.054,33	4,28
01:00 - 02:00	743,94	3,02	13:00 - 14:00	1.054,33	4,28
02:00 - 03:00	743,94	3,02	14:00 - 15:00	1.056,80	4,29
03:00 - 04:00	743,94	3,02	15:00 - 16:00	1.123,31	4,56
04:00 - 05:00	768,58	3,12	16:00 - 17:00	1.251,40	5,08
05:00 - 06:00	847,41	3,44	17:00 - 18:00	1.325,31	5,38
06:00 - 07:00	857,26	3,48	18:00 - 19:00	1.396,74	5,67
07:00 - 08:00	857,26	3,48	19:00 - 20:00	1.448,47	5,88
08:00 - 09:00	862,19	3,50	20:00 - 21:00	1.438,62	5,84
09:00 - 10:00	965,65	3,92	21:00 - 22:00	1.401,67	5,69
10:00 - 11:00	1.034,63	4,20	22:00 - 23:00	943,48	3,83
11:00 - 12:00	1.039,55	4,22	23:00 - 00:00	901,60	3,66
Total Beban (TB)				24.633,92 kWh/hari	

Tabel Estimasi Profil Beban Harian PT. TBS Unit 1 Tahun 2023.

Pukul	% dari TB (%)	Beban (kW)	Pukul	% dari TB (%)	Beban (kW)
00:00 - 01:00	3,15	808	12:00 - 13:00	4,28	1.098
01:00 - 02:00	3,02	774	13:00 - 14:00	4,28	1.098
02:00 - 03:00	3,02	774	14:00 - 15:00	4,29	1.099
03:00 - 04:00	3,02	774	15:00 - 16:00	4,56	1.168
04:00 - 05:00	3,12	797	16:00 - 17:00	5,08	1.299
05:00 - 06:00	3,44	881	17:00 - 18:00	5,38	1.379,15
06:00 - 07:00	3,48	893	18:00 - 19:00	5,67	1.453,02
07:00 - 08:00	3,48	893	19:00 - 20:00	5,88	1.508
08:00 - 09:00	3,50	897	20:00 - 21:00	5,84	1.497
09:00 - 10:00	3,92	1.006	21:00 - 22:00	5,69	1.458
10:00 - 11:00	4,20	1.077	22:00 - 23:00	3,83	983
11:00 - 12:00	4,22	1.083	23:00 - 00:00	3,66	937
Total Beban (TB)				25.634,17 kWh/hari	

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 E

Estimasi Produksi TBS dan Konsumsi Solar di PT. TBS Unit 1

Tabel Estimasi Peningkatan Produksi TBS di PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1

Tahun	Produksi TBS (Ton/Tahun)	Pertumbuhan (%)
2017	233.061,698	-
2018	236.897,825	1,65
2019	250.402,686	5,70
Tingkat pertumbuhan produksi TBS per tahun (%)		3,68

Tabel Konsumsi Solar Tahunan di PT. Tri Bakti Sarimas Unit 1

No	Bulan	Konsumsi Solar (Liter)		
		Tahun 2017	Tahun 2018	Tahun 2019
1	Januari	9.105,50	9.545,92	9.968,80
2	Februari	10.290,20	10.616,04	11.962,98
3	Maret	12.540,01	10.435,47	10.997,06
4	April	17.404,83	14.060,39	16.844,75
5	Mei	12.176,43	15.645,29	28.942,90
6	Juni	13.871,78	16.429,19	11.910,90
7	Juli	13.825,83	18.095,07	6.086,92
8	Agustus	11.460,10	23.972,20	11.984,25
9	September	12.181,56	16.832,68	28.296,07
10	Oktober	10.423,33	7.574,31	11.376,62
11	November	13.332,52	14.441,84	22.663,53
12	Desember	18.405,19	11.000,00	17.859,22
Total		155.017,28	168.648,40	188.894,00

Berdasarkan tabel konsumsi solar diatas, konsumsi solar meningkat setiap tahun rata-rata sebesar 16.938,3615 L/tahun atau sebesar 10,398955% per tahun. Sehingga jumlah konsumsi solar pada tahun 2023 (tahun awal operasi) dengan menggunakan persamaan 2.6 sebagai berikut.

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

$$P_{2023} = 188.894 (1 + 10,398955\%)^4$$

$$P_{2023} = 188.894 (1,10398955)^4$$

$$P_{2023} = 280.593,76 \text{ L solar/tahun}$$

LAMPIRAN F

E.1 Perhitungan *Present Worth Factor* (PWF)

Nilai diskonto untuk setiap tahun selama umur proyek atau *present worth factor* (PWF) harus diketahui. Perhitungan PWF menggunakan Persamaan 2.29 sebagai berikut:

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

$$PWF(\text{tahun } 0) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^0 = 1$$

$$PWF(\text{tahun } 1) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^1 = 0,97$$

$$PWF(\text{tahun } 2) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^2 = 0,94$$

$$PWF(\text{tahun } 3) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^3 = 0,91$$

$$PWF(\text{tahun } 4) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^4 = 0,89$$

$$PWF(\text{tahun } 5) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^5 = 0,86$$

$$PWF(\text{tahun } 6) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^6 = 0,83$$

$$PWF(\text{tahun } 7) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^7 = 0,81$$

$$PWF(\text{tahun } 8) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^8 = 0,78$$

$$PWF(\text{tahun } 9) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^9 = 0,76$$

$$PWF(\text{tahun } 10) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^{10} = 0,74$$

$$PWF(\text{tahun } 11) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^{11} = 0,72$$

$$PWF(\text{tahun } 12) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^{12} = 0,69$$

$$PWF(\text{tahun } 13) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^{13} = 0,67$$

$$PWF(\text{tahun } 14) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^{14} = 0,65$$

- 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.

$$\begin{aligned} \text{PWF(tahun 15)} &= \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^{15} = 0,63 \\ \text{PWF(tahun 16)} &= \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^{16} = 0,61 \\ \text{PWF(tahun 17)} &= \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^{17} = 0,60 \\ \text{PWF(tahun 18)} &= \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^{18} = 0,58 \\ \text{PWF(tahun 19)} &= \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^{19} = 0,56 \\ \text{PWF(tahun 20)} &= \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 6,42\%} \right)^{20} = 0,54 \end{aligned}$$

E.2 Suku Bunga (1+i) pada *Cash Flow Benefit* (CFB)

Nilai suku bunga untuk setiap tahun selama umur proyek pada CFB (*cash flow benefit*) harus diketahui. Perhitungan suku bunga menggunakan Persamaan 2.34 sebagai berikut:

$$\text{Suku bunga} = (1 + i)^n$$

$$\begin{aligned} \text{Suku bunga (tahun 1)} &= (1 + 6,42\%)^1 = 1,064 \\ \text{Suku bunga (tahun 2)} &= (1 + 6,42\%)^2 = 1,13 \\ \text{Suku bunga (tahun 3)} &= (1 + 6,42\%)^3 = 1,20 \\ \text{Suku bunga (tahun 4)} &= (1 + 6,42\%)^4 = 1,28 \\ \text{Suku bunga (tahun 5)} &= (1 + 6,42\%)^5 = 1,36 \\ \text{Suku bunga (tahun 6)} &= (1 + 6,42\%)^6 = 1,45 \\ \text{Suku bunga (tahun 7)} &= (1 + 6,42\%)^7 = 1,54 \\ \text{Suku bunga (tahun 8)} &= (1 + 6,42\%)^8 = 1,64 \\ \text{Suku bunga (tahun 9)} &= (1 + 6,42\%)^9 = 1,75 \\ \text{Suku bunga (tahun 10)} &= (1 + 6,42\%)^{10} = 1,86 \\ \text{Suku bunga (tahun 11)} &= (1 + 6,42\%)^{11} = 1,98 \\ \text{Suku bunga (tahun 12)} &= (1 + 6,42\%)^{12} = 2,11 \\ \text{Suku bunga (tahun 13)} &= (1 + 6,42\%)^{13} = 2,24 \\ \text{Suku bunga (tahun 14)} &= (1 + 6,42\%)^{14} = 2,38 \\ \text{Suku bunga (tahun 15)} &= (1 + 6,42\%)^{15} = 2,54 \end{aligned}$$

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.

- Suku bunga (tahun 16) = $(1 + 6,42\%)^{16} = 2,70$
- Suku bunga (tahun 17) = $(1 + 6,42\%)^{17} = 2,87$
- Suku bunga (tahun 18) = $(1 + 6,42\%)^{18} = 3,05$
- Suku bunga (tahun 19) = $(1 + 6,42\%)^{19} = 3,25$
- Suku bunga (tahun 20) = $(1 + 6,42\%)^{20} = 3,46$

E.3 Tingkat Bunga Kedua (pada IRR)

Perhitungan tingkat bunga kedua (I_2) pada IRR (*Internal Rate of Return*) menggunakan Persamaan 2.29 sebagai berikut:

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

$$PWF(\text{tahun } 0) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^0 = 1$$

$$PWF(\text{tahun } 1) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^1 = 0,88$$

$$PWF(\text{tahun } 2) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^2 = 0,77$$

$$PWF(\text{tahun } 3) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^3 = 0,67$$

$$PWF(\text{tahun } 4) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^4 = 0,59$$

$$PWF(\text{tahun } 5) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^5 = 0,52$$

$$PWF(\text{tahun } 6) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^6 = 0,46$$

$$PWF(\text{tahun } 7) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^7 = 0,4$$

$$PWF(\text{tahun } 8) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^8 = 0,35$$

$$PWF(\text{tahun } 9) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^9 = 0,31$$

$$PWF(\text{tahun } 10) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^{10} = 0,27$$

$$PWF(\text{tahun } 11) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^{11} = 0,24$$

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.

$$PWF(\text{tahun } 12) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^{12} = 0,21$$

$$PWF(\text{tahun } 13) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^{13} = 0,18$$

$$PWF(\text{tahun } 14) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^{14} = 0,16$$

$$PWF(\text{tahun } 15) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^{15} = 0,14$$

$$PWF(\text{tahun } 16) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^{16} = 0,12$$

$$PWF(\text{tahun } 17) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^{17} = 0,11$$

$$PWF(\text{tahun } 18) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^{18} = 0,09$$

$$PWF(\text{tahun } 19) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^{19} = 0,08$$

$$PWF(\text{tahun } 20) = \left(\frac{1 + 3,5\%}{1 + 18\%} \right)^{20} = 0,07$$

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.

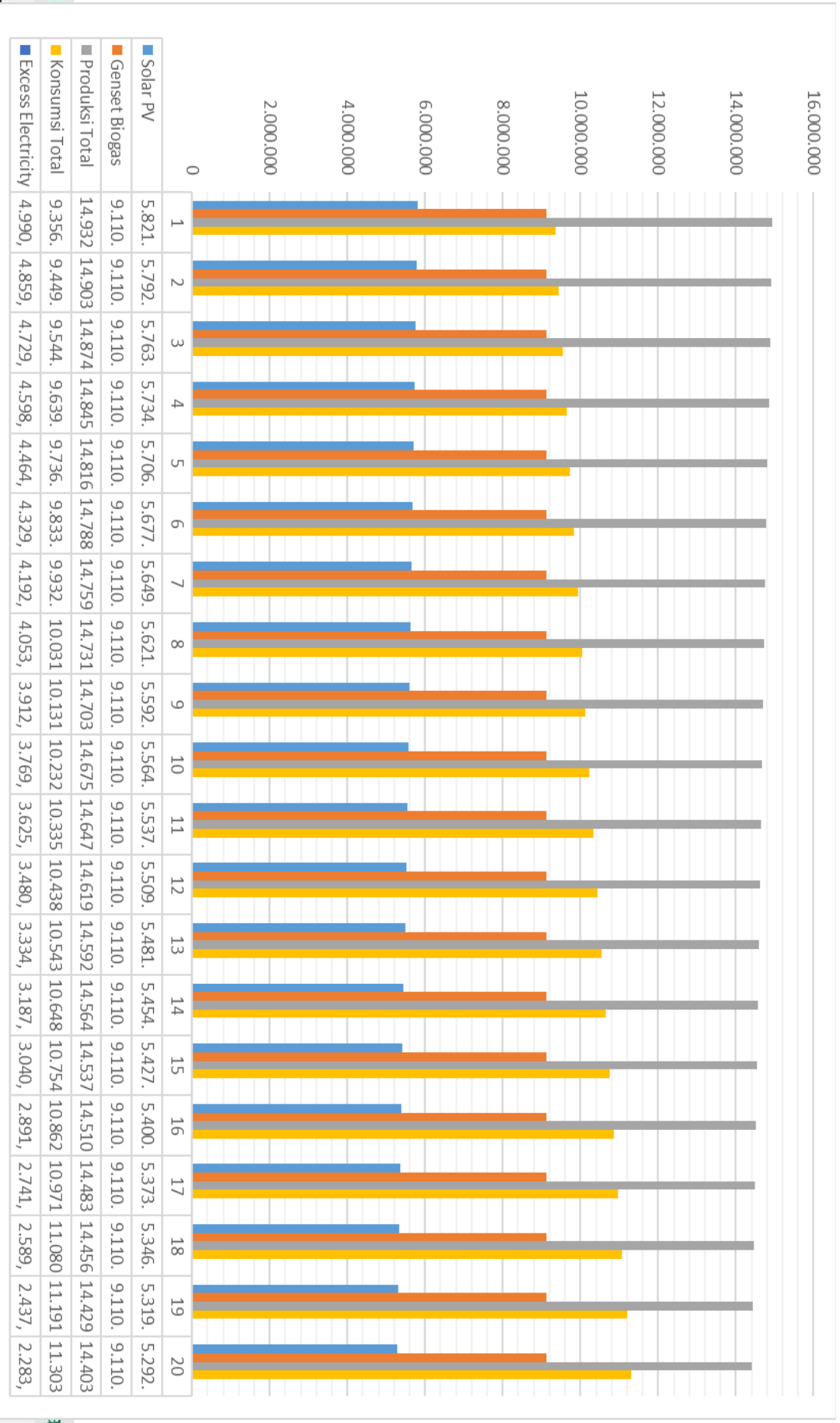
LAMPIRAN G

F.1 Tabel Produksi, Konsumsi, dan *Excess Electricity* Sistem PLT Hybrid Solar PV-Biogas Selama Umur Proyek

Tahun ke	Produksi Solar PV (kWh/Tahun)	Produksi Genset Biogas (kWh/Tahun)	Produksi Total (kWh/Tahun)	Konsumsi Total (kWh/Tahun)	<i>Excess Electricity</i> (kWh/Tahun)
1	5.821.790	9.110.400	14.932.190	9.356.410	4.990,315
2	5.792.680	9.110.400	14.903.081	9.449.974	4.859,841
3	5.763.720	9.110.400	14.874.117	9.544.474	4.729,596
4	5.734.900	9.110.400	14.845.299	9.639.919	4.598,030
5	5.706.224	9.110.400	14.816.624	9.736.318	4.464,734
6	5.677.693	9.110.400	14.788.093	9.833.681	4.329,534
7	5.649.305	9.110.400	14.759.705	9.932.018	4.192,469
8	5.621.058	9.110.400	14.731.458	10.031.338	4.053,434
9	5.592.953	9.110.400	14.703.353	10.131.651	3.912,425
10	5.564.988	9.110.400	14.675.388	10.232.968	3.769,778
11	5.537.163	9.110.400	14.647.563	10.335.298	3.625,822
12	5.509.477	9.110.400	14.619.877	10.438.650	3.480,728
13	5.481.930	9.110.400	14.592.330	10.543.037	3.334,720
14	5.454.520	9.110.400	14.564.920	10.648.467	3.187,928
15	5.427.248	9.110.400	14.537.648	10.754.952	3.040,135
16	5.400.111	9.110.400	14.510.511	10.862.502	2.891,157
17	5.373.111	9.110.400	14.483.511	10.971.127	2.741,104
18	5.346.245	9.110.400	14.456.645	11.080.838	2.589,841
19	5.319.514	9.110.400	14.429.914	11.191.646	2.437,355
20	5.292.916	9.110.400	14.403.316	11.303.563	2.283,787

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.

F.2 Grafik Produksi, Konsumsi, dan Excess Electricity Sistem PLT Hybrid Solar PV-Biogas Selama Umur Proyek



Hak Cipta Diinangungi Ungaang-Ungaang

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.

LAMPIRAN H

Dokumentasi di PT. Tri Bakti Sarimas Unit 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.



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



R. Reski Eka Puta kelahiran Seberang Pantai, 07 Juli 1997 merupakan anak ketiga buah hati dari pasangan Raja Rahmad dan Zumiati. Penulis menempuh pendidikan SD Negeri 008 Desa Seberang Pantai dan lulus pada tahun 2009, kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Kuantan Mudik dan lulus pada tahun 2012, kemudian melanjutkan pendidikan ke SMA Negeri 1 Kuantan Mudik dan lulus pada tahun 2015. Pada tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikan ke Universitas Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dengan mengambil Program Studi Teknik Elektro dan lulus pada tahun 2020.

Dengan rahmat Allah SWT, ketekunan serta motivasi dan kemauan keras untuk belajar dan berusaha penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir ini. Semoga dengan penulisan tugas akhir ini mampu memberikan manfaat dan kontribusi untuk siapa saja yang membutuhkan.

Akhir kata penulis ucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas terselesaikannya Tugas Akhir yang berjudul: **“Analisis Teknis Dan Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Solar PV-Biogas off Grid System* (Studi Kasus: PT. Tri Bakti Sarimas Kabupaten Kuansing Provinsi Riau)”**.

HP/WA : 0823-8478-2335

Email : erajareski@gmail.com