



**ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
BIOGAS DENGAN MEMANFAATKAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT**

(Studi Kasus: PT. PNNI Desa Minas Timur, Kabupaten Siak)

TUGAS AKHIR

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



OLEH :

SURYA DARMA

11355103010

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

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU

PEKANBARU

2020



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

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

LEMBARAN PERSETUJUAN

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS DENGAN MEMANFAATKAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT

(Studi Kasus: PT. PNNI Desa Minas Timur, Kabupaten Slak)

TUGAS AKHIR

Oleh :

SURYA DARMA
11355103010

Telah diperiksa dan di setujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro di Pekanbaru, pada tanggal 6 Agustus 2020.

Ketua Program Studi

Ewl Ismaredah, S.Kom., M.Kom
NIP. 19750922 200912 002

Pembimbing

Nanda Putri Miefthawati, B.Sc., M.Sc
NIK : 130514010

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

LEMBARAN PENGESAHAN

**ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA BIOGAS MEMANFAATKAN LIMBAH
CAIR KELAPA SAWIT
(Studi Kasus : PT .PNNI Desa Minas Timur, Siak)**

TUGAS AKHIR

Oleh :

SURYA DARMA
11355103010

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 21 Juli 2020.

Pekanbaru, 6 Agustus 2020

Mengesahkan,

 Dr. Ahmad Darmawi, M.Ag NIP. 19660604 199203 1 004	Ketua Program Studi  Ewi Smaredah, S.Kom., M.Kom NIP. 19750922 200912 2 002
---	--

DEWAN PENGUJI :

Ketua	: Agus Firdaus Chandra, L.c MA	
Sekretaris	: Nanda Putri Miefhawati, B.Sc., M.Sc	
Anggota I	: Susi Afriani S.T., M.T	
Anggota II	: Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc	

LEMBAR HAK ATAS KELAYAKAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia diperpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis referensi kepustakaan diperlukan 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.



2. Dilarang mengumunkan 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.





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, 21 Juli 2020

Yang membuat pernyataan,

SURYA DARMA

NIM : 11355103010

UIN SUSKA RIAU



**ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS
DENGAN MEMANFAATKAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT
(Studi Kasus : PT. PNNI Desa Minas Timur, Kabupaten Siak)**

SURYA DARMA
NIM : 11355103010

Tanggal Sidang :

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

ABSTRAK

Penggunaan bahan bakar fosil masih mendominasi sebagai bahan bakar pembangkit listrik, kondisi ini membuktikan bahwa kita masih bergantung pada energi fosil. Perlu adanya usaha serius dan sistematis untuk mengembakan dan menerapkan sumber energi terbarukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil, khususnya di PKS PT. Persada Nusa Nabati Indonesia, PKS ini belum memanfaatkan limbah cair hasil dari pabrik yang berupa POME, dengan belum dimanfaatkan dengan maksimal, limbah ini mampu mencemari lingkungan. Sementara dilihat dari jumlah potensi POME adalah sebesar 686,47m³/hari, apabila dimanfaatkan dengan baik akan menghasilkan energi listrik sebesar 26.009,14 kWh dan mampu menanggulangi permasalahan kekurangan energi listrik di PKS. Teknologi yang dapat diterapkan untuk menghasilkan biogas adalah *anaerobic digestion*. Berdasarkan perhitungan analisis teknis produksi biogas, digester, pemurnian biogas, dan perhitungan *gas engine*, volume biogas berjumlah 20.780,75m³/h, menghasilkan daya listrik sebesar 1.083,71 kW atau sebesar 1.08 MW. Analisis ekonomi menggunakan metode *Cost Benefit Analysis* dengan parameter *Cash Flow*, NPV, dan *Payback Periode*, selama umur proyek 20 tahun dan tingkat suku bunga sebesar 2% menghasilkan *Payback Periode* 16,4 tahun. Berdasarkan analisis teknis dan ekonomi hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem pembangkit listrik tenaga biogas di pabrik kelapa sawit di PT. Persada Nusa Nabati Indonesia ini layak untuk dilanjutkan

Kata kunci : *fosil, pome, biogas, anaerobic digester, energi listrik, cost benefit analysis*



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

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF BIOGAS POWER PLANT UTILIZING PALM OIL EFFLUENT (Case Study : PT. PNNI East Minas Village, Siak District)

**SURYA DARMA
NIM : 11355103010**

Final Date Of Exam :21 July 2020

Department of Electrical Engineering

Faculty of Science and Technology

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Soebrantas St. No. 155 Pekanbaru– Indonesia

ABSTRACT

The use of fossil fuels still dominates as fuel for electricity generation, this condition proves that we are still dependent on fossil energy. There needs to be a serious and systematic effort to develop and implement renewable energy sources to reduce dependence on fossil energy, especially in the PT. Persada Nusa Nabati Indonesia, this PKS has not utilized the liquid waste produced from the factory in the form of POME. With this not yet being fully utilized, this waste can pollute the environment. Meanwhile, seen from the potential amount of POME, it is 686.47m³ / day, if it is properly utilized, it will produce 26,009.14 kWh of electrical energy and can overcome the problem of electrical energy shortages in PKS. The technology that can be applied to produce biogas is anaerobic digestion. Based on the calculation of the technical analysis of biogas production, digester, biogas purification, and gas engine calculations, the volume of biogas is 20,780.75m³ / h, producing an electrical power of 1,083.71 kW or 1.08 MW. Economic analysis using the Cost Benefit Analysis method with parameters of Cash Flow, NPV, and Payback Period, during the project life of 20 years and an interest rate of 2% resulting in a payback period of 16.4 years. Based on the technical and economic analysis of the research results, it can be concluded that the biogas power generation system in the palm oil mill at PT. Persada Nusa Nabati Indonesia deserves to be continued

Keywords : *fossils, pome, biogas, anaerobic digester, electrical energy, cost benefit analysis*

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillah rabbil 'alamin, segala puji dan syukur selalu tercurah kehadirat Allah SWT atas limpahan Rahmat, Nikmat, Ilmu, dan Karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat mengerjakan dan akhirnya menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“Analisis Teknis Dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Dengan Memanfaatkan Limbah Cair Kelapa Sawit (Studi Kasus: PT PNNI Desa Minas Timur, Kabupaten Siak) ”** sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Shalawat beserta salam penulis hadiahkan kepada Nabi Muhammad Shalallahu'Alaihi Wassalam yang merupakan suri tauladan bagi kita semua, semoga kita semua termasuk dalam umatnya yang kelak mendapat syafa'at dari beliau di akhirat kelak.

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

1. Bapak Ali Yunus dan Ibuk Nurani Siregar, selaku orang tua penulis yang telah mendo'akan dan memberikan dukungan, serta motivasi agar penulis dapat tawakkal dan sabar sehingga sukses memperoleh kelancaran dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Bapak Prof. Dr. KH. Ahmad Mujahidin, M.Ag, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Bapak Dr. Ahmad Darmawi, M.Ag, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Kasim Riau.
4. Ibuk Ewi Ismaredah, S.Kom, M.Kom selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.



5. Bapak Mulyono, ST, MT, selaku Wakil Sekretaris Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

6. Bapak Ahmad Faizal, ST, MT, selaku koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang selalu membantu memberikan inspirasi dan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.

7. Ibu Nanda Putri Miefthawati, B.Sc, M.Sc, selaku dosen pembimbing yang luar biasa serta selalu membantu memberikan inspirasi, motivasi dan kesabaran memberikan arahan maupun kritikan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

8. Ibu Susi Afriani, ST.,MT, selaku Dosen Penguji I dan Ibu Marhama Jelita, S.Pd, M.Sc selaku dosen penguji II yang telah banyak memberi masukan berupa kritik dan saran demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

9. Bapak Aullia Ullah, ST, M.Eng, dosen Penasehat Akademik dan Pembimbing Akademik yang mengarahkan dan membimbing penulis dalam menyelesaikan pendidikan (S1) di Program Studi Teknik Elektro konsentrasi Energi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

10. Pimpinan, staff dan karyawan Program Studi Teknik Elektro serta Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

11. Kakak dan adik yang Tercinta (Fitri Yanti, A.Md. Keb dan Fivi Afrian, S.KM) yang selalu memberikan dukungan semangat dan motivasi selama penulis kuliah di Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

12. Sahabat – sahabat terbaik senasib dan seperjuangan (Aviandi Ramadhan, S.T Herian Desra, S.T, Akber Ilham, S.T, Randi Dea Arhashi, S.T , Nikmal Efendi, S.T, Taufik Ismail, Muhamad Dodo,S.T, Herianto, S.T, Fikra Maulana) selalu bersama- – sama memberikan dukungan semangat dan motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

13. Semua pihak yang telah banyak membantu dan memberi motivasi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini mulai dari awal hingga selesai, yang tidak mungkin disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya semoga ilmu yang diberikan kepada penulis dapat bermanfaat.

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

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

Wassalamu'alaikumwr.wb.

Pekanbaru, 21 Juli 2020
Penulis

SURYA DARMA
NIM . 11355103010



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

LEMBARAN PERSETUJUAN	ii
LEMBARAN PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KELAYAKAN	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR PERSAMAAN	xix
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah.....	I-6
1.3 Tujuan Penelitian	I-6
1.4 Batasan Masalah.....	I-7
1.5 Manfaat Penelitian	II-5
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	II-1
2.2 Landasan Teori.....	II-5
2.2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biogas	II-5
2.2.2 Pengolahan POME	II-6
2.2.3 Potensi Pengolahan POME	II-7
2.3 Proses Penguraian <i>Anaerobic</i>	II-7
2.4 Parameter Pada Proses Penguraian <i>Anaerobic</i>	II-9
2.5 Biogas.....	II-12
2.5.1 Parameter Pembentukan Biogas	II-12
2.5.2 Temperatur	II-12
2.5.3 Komposisi Biogas	II-12

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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



2.5.4	Kandungan Kalori	II-13
2.6	Potensi Limbah Cair Sawit.....	II-13
2.6.1	Temperatur	II-15
2.6.2	Derajat Keasaman (pH)	II-15
2.6.3	<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD).....	II-15
2.6.4	<i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	II-15
2.6.5	<i>Total Suspended Solids</i> (TSS)	II-16
2.6.6	<i>Volatile Suspended Solids</i> (VSS)	II-16
2.6.7	<i>Fat, Oil, and Grease</i> (FOG)	II-16
2.6.8	Total Nitrogen	II-16
2.7	Konversi Energi Biogas dan Pemanfaatanya.....	II-16
2.7.1	Konversi Energi Biogas Untuk Ketenaga Listrikan	II-17
2.7.2	Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Biogas.....	II-17
2.8	Digester Biogas.....	II-22
2.8.1	Jenis-jenis Digester	II-22
2.8.2	Komponen Utama Digester	II-28
2.8.3	Komponen Pendukung Digester	II-29
2.9	Analisis Teknis	II-30
2.9.1	Analisis Perhitungan Potensi Pembangkit Tenaga Biogas	II-30
2.9.2	Perhitungan Digester.....	II-32
2.9.2.1	Menentukan Jenis Digester.....	II-32
2.9.2.2	Menentukan Ukuran Digester.....	II-33
2.9.2.3	Menghitung Volume Bagian – Bagian Digester	II-33
2.9.2.4	Menghitung Dimensi Geometrikal Digester	II-35
2.9.3	Perhitungan Pemurnian Biogas	II-36
2.9.4	Perhitungan <i>Gas engine</i>	II-38
2.9.5	Perhitungan Produksi Biogas dan Energi Listrik	II-39
2.10	Analisis Ekonomi	II-39
2.10.1	Perhitungan Biaya Komponen Produksi	II-40
2.10.2	Perhitungan Biaya Pendapatan.....	II-41
2.11	Analisis Finansial	II-41
2.11.1	<i>Cash Flow</i> (CF)	II-42
2.11.2	<i>Net Present Value</i> (NPV)	II-42

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.



2.11.3 *Payback Periode* (PBP)..... II-43
 2.12 *RETscreen Expert*..... II-43

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian..... III-1
 3.2 Prosedur Penelitian..... III-1
 3.3 Diagram Alur Penelitian III-2
 3.4 Tahapan Penelitian III-3
 3.4.1 Studi Literatur III-3
 3.4.2 Studi Pendahuluan..... III-3
 3.4.3 Identifikasi Masalah III-3
 3.4.4 Penentuan Judul..... III-3
 3.4.5 Rumusan Masalah III-3
 3.4.6 Tujuan Masalah III-3
 3.5 Pengumpulan Data III-4
 3.6 Pemilihan Komponen Produksi Biogas III-5
 3.6.1 Sumber Pasokan Limbah..... III-5
 3.6.2 Digester III-5
 3.6.3 *Scrubber Hidrogen Sulfida* (H₂S) III-6
 3.6.4 *Gas Engine* III-6
 3.7 Analisis Ekonomi Teknis III-7
 3.7.1 Analisis Potensi Biogas dan Potensi Listrik..... III-7
 3.7.2 Potensi Energi dari POME III-7
 3.7.3 Pemilihan Teknologi Digester III-7
 3.7.4 Menentukan Jenis Digester III-8
 3.7.5 Ukuran Digester III-8
 3.7.6 Menghitung Volume Bagian Digester..... III-9
 3.7.7 Menghitung Dimensi Geometrikal Digester III-9
 3.7.8 Perhitungan Pemurnian Biogas III-9
 3.7.9 Perhitungan *Gas Engine* III-9
 3.7.10 Perhitungan Produksi Biogas dan Energi Listrik III-9
 3.8. Analisis Ekonomi..... III-10
 3.8.1 Menghitung Komponen Biaya Produksi III-10

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 UIN Suska Riau Site Reliance Information of Saitan Syarif Kasim Riau



3.9	Analisis Finansial	III-11
3.9.1	<i>Cash Flow</i> (CF)	III-11
3.9.2	<i>Net Present Value</i> (NPV)	III-12
3.9.3	<i>Payback Periode</i> (PBP)	III-12
3.10	Analisis Ekonomi Menggunakan RETScreen Expert	III-12
3.11	Kesimpulan Dan Saran	III-14

BAB IV Analisa Dan Hasil

4.1	Profil PKS PT. Persada Nusa Nabati Indonesia	IV-1
4.1.1	Studi Beban Listrik	IV-2
4.2	Analisis Teknis	IV-5
4.2.1	Potensi Limbah Cair Kelapa Sawit (POME)	IV-5
4.2.2	Perhitungan Potensi Biogas dari POME	IV-7
4.2.3	Perhitungan Digester	IV-9
4.2.3.1	Jenis Digester	IV-9
4.2.3.2	Ukuran Digester	IV-13
4.2.3.3	Volume Bagian – Bagian Digester	IV-14
4.2.3.4	Dimensi Geometrikal Digester	IV-16
4.2.4	Perhitungan Pemurnian Biogas	IV-17
4.2.5	Perhitungan <i>Gas Engine</i>	IV-18
4.2.5.1	Perhitungan Produksi Biogas dan Energi Listrik	IV-20
4.3	Analisis Ekonomi	IV-20
4.3.1	Perhitungan Biaya Komponen Produksi	IV-21
4.3.1.1	Biaya Investasi	IV-21
4.3.1.2	Biaya Operasional dan Perawatan (O&M)	IV-22
4.3.1.3	Biaya Pendapatan	IV-22
4.4	Analisis Finansial	IV-23
4.4.1	<i>Cash Flow</i> (CF)	IV-23
4.4.2	<i>Net Present Value</i> (NPV)	IV-27
4.4.3	<i>Payback Periode</i> (PBP)	IV-29
4.5	Analisis Ekonomi menggunakan <i>RETScreen Expert</i>	IV-29

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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



UIN SUSKA RIAU

BAB V Kesimpulan Dan Saran

5.1	Kesimpulan	V-1
5.2	Saran.....	V-2

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

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.

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



UIN SUSKA RIAU



DAFTAR GAMBAR

	Gambar	Halaman
2.1	Substrat dan Produk dalam Sebuah Konversi <i>Biologis Anaerobic</i>	II-7
2.2	Hasil Biogas Terhadap HRT rata-rata	II-10
2.3	Diagram Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBG)	II-18
2.4	Kolam Tertutup.....	II-18
2.5	<i>Scruuber</i> H ₂ S	II-19
2.6	<i>Dehumidifier</i> Biogas.....	II-19
2.7	<i>Gas Engine</i>	II-20
2.8	<i>Burner Biogas</i>	II-21
2.9	<i>Flare</i>	II-22
2.10	Diagram Alir Proses Konversi POME Menjadi Energi.....	II-22
2.11	<i>Digester Tubular</i>	II-24
2.12	<i>Chinese Fix Dome Digester</i>	II-25
2.13	Indian Folating Drum Digester	II-26
2.14	<i>Compleat Mix Digester</i>	II-27
2.15	Penampang Digester Biogas Slinder.....	II-34
2.16	Dimensi Geometrikal Tangki Digester	II-35
3.1	<i>Flowchart</i> Tahapan Penelitian	III-2
3.2	Diagram Perhitungan Analisis Ekonomi Simulasi <i>Retscreen Expert</i>	III-13
4.1	Profil Beban Puncak PT. Persada Nusa Nabati Indonesia.....	IV-5
4.2	Volume Bagian – Bagian Digester	IV-16
4.3	Informasi Fasilitas Pada <i>RETSscreen Expert</i>	IV-30
4.4	Analisis Biaya Pada <i>RETSscreenExpert</i>	IV-30
4.5	Analisis Finansial Pada <i>RETSscreen Expert</i>	IV-31
4.6	Grafik <i>Payback Period</i> Pada <i>RETSscreen Expert</i>	IV-31

Hak cipta milik UIN Suska Riau

Hak cipta dilindungi undang-undang.

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

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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



DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
2.1	Hasil uji laboratorium karakteristik dari limbah cair (POME)	II-6
2.2	Proyeksi Potensi Daya dari POME berdasarkan Kapasitas PKS	II-6
2.3	Komposisi Biogas.....	II-12
2.4	Kandungan kalori pada bagian kelapa sawit	II-13
2.5	Karakteristik POME	II-14
2.6	Dasar Asumsi Konversi Biogas ke Listrik	II-16
2.7	Konversi Energi Gas Metan Menjadi Energi Listrik.....	II-17
2.8	Spesifikasi <i>Gas Engine</i>	II-21
2.9	Kelebihan dan Kekurangan dari Digester Tubular	II-25
2.10	Kelebihan dan Kekurangan dari digester <i>Indian floating drum</i>	II-27
2.11	Kelebihan dan Kekurangan dari <i>Complete-Mix Digester</i>	II-28
2.12	Menghitung Potensi Energi Listrik dari POME	II-30
2.13	Asumsi dalam Menghitung Potensi Daya.....	II-31
2.14	Dimensi Geometrikal Ukuran Tangki Digester Silinder	II-35
2.15	Dimensi <i>Absorber</i> dan <i>Stripper</i> Pemurnian Biogas <i>Water Scrubber</i>	II-36
2.16	Dimensi <i>Absorber</i> dan Kolom Regenerasi Pemurnian Biogas MEA.....	II-37
2.17	Dimensi <i>Absorber</i> dan Kolom Regenerasi Pemurnian Biogas DEA.....	II-37
2.18	Dimensi Kolom Adsorpsi Pemurnian Biogas <i>pressure swing adsorption</i> .	II-38
2.19	Dimensi Menara Destilasi Pemurnian Biogas <i>cryogenic Separation</i>	II-38
3.1	Data Produksi TBS	III-5
3.2	Data COD	III-5
4.1	Jumlah Beban Sample PT. Persada Nusa Nabati Indonesia	IV-3
4.2	Konsumsi Energi Listrik P. Persada Nusa Nabati Indonesia.....	IV-4
4.3	Profil Beban Puncak PT. Persada Nusa Nabati Indonesia.....	IV-4
4.4	Produksi TBS dari PKS PT. Persada Nusa Nabati Indonesia.....	IV-6
4.5	Kandungan COD di PKS PT. Persada Nusa Nabati Indonesia.....	IV-7
4.6	Kebutuhan Pemeliharaan dari Beberapa Jenis Digester	IV-10
4.7	Umur Hidup dari Beberapa Jenis Digester	IV-10
4.8	Struktur Fisik dari Digester.....	IV-11
4.9	Hasil Peringkat Kinerja Digester	IV-12

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



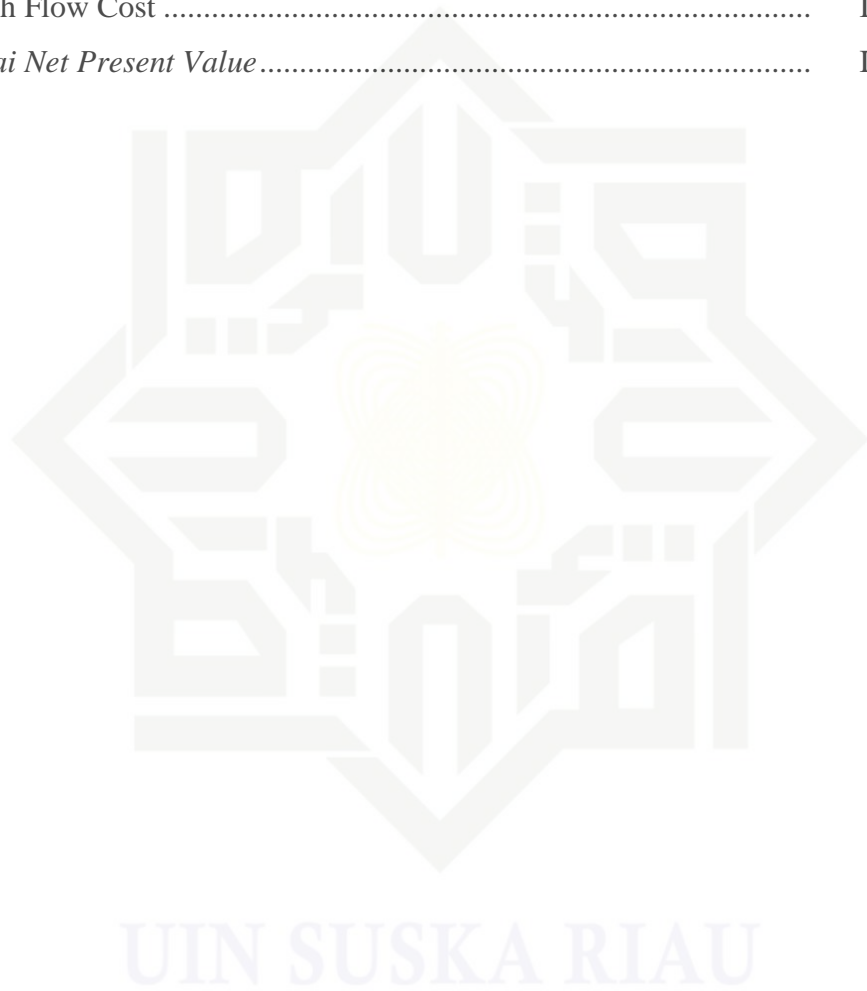
4.10	Volume Bagian-bagian Digester.....	IV-16
4.11	Dimensi Ukuran Digester	IV-16
4.12	Spesifikasi Pemilihan Teknologi Pemurnian.....	IV-17
4.13	Spesifikasi <i>Gas Engine</i>	IV-19
4.14	Rincian Biaya Investasi	IV-21
4.15	Rincian Biaya Operasional & Pemeliharaan	IV-22
4.16	Rincian Biaya Operasional & Pemeliharaan	IV-23
4.17	<i>Total Cash Flow Benefit</i>	IV-24
4.18	<i>Total Cash Flow Cost</i>	IV-26
4.19	<i>Total Nilai Net Present Value</i>	IV-28

©Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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





DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan	Halaman
2.1 Menghitung Bahan Baku Harian	II-31
2.2 Menghitung Aliran Limbah Cair Harian	II-31
2.3 Menghitung COD Loading	II-31
2.4 Menghitung Produksi CH ₄	II-31
2.5 Menghitung Kapasitas Pembangkit	II-31
2.6 COD Loading	II-33
2.7 Produksi CH ₄	II-33
2.8 $V_{gs} + V_f = 80\% \times V$	II-33
2.9 Jumlah Digester	II-33
2.10 Total Volume Digester	II-34
2.11 V_c (Volume ruanganpenampungan gas)	II-34
2.12 V_s (Volume lapisanPenampung Lumpur)	II-34
2.13 Volume ruanganpenyimpanan gas (V_{gs}).....	II-34
2.14 Volume ruangfermentasi (V_f).....	II-34
2.15 V_H (Volume ruanganhidrolik).....	II-34
2.16 Menghitung Diameter Digester	II-35
2.17 Menghitung Tinggi Efektif Digester.....	II-35
2.18 Permurnian Biogas.....	II-38
2.19 E_L	II-38
2.20 P_L	II-38
2.21 Produksi Gas Metan.....	II-39
2.22 Produksi Listrik.....	II-39
2.23 Biayainvestasibiogas plant	II-40
2.24 Biaya Pemurnian Biogas.....	II-40
2.25 BiayaInvestasipembangkitlistrik.....	II-40
2.26 Biayaoperasionaldanpemeliharaan(O&M)Biogas Plant	II-40
2.27 Biayaoperasionaldanpemeliharaan (O&M) pemurnian biogas.....	II-40
2.28 Biayaoperasionaldanpemeliharaan (O&M) pembangkitlistrik.....	II-40
2.29 Pendapatan Penjualan Cangkang	II-41
2.30 <i>Cash Flow Benefit (CFB)</i>	II-42

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

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
 State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

2.31	<i>Present Worth Function</i>	II-42
2.32	<i>Net Present Value</i>	II-42
2.33	<i>PayBack Periode</i>	II-43

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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





BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada tahun 2014 Indonesia adalah Negara terbesar di Asia Tenggara pertama sebagai penghasil *crude palm oil* atau minyak kelapa sawit mentah, hal ini dibuktikan dengan produksi minyak mentah Indonesia mencapai 50%, sedangkan Malaysia hanya mencapai 34%. Dengan hasil perkebunan kelapa sawit yang mencapai 48,79% tersebut, tentu tidak bisa kita pungkiri lagi sektor perkebunan kelapa sawit berperan sangat besar didalam perekonomian [1].

Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2013 tercatat seluas 10,47 juta hektar, dan terjadi peningkatan pada tahun 2015 sebesar 11,26 juta hektar, atau terjadi peningkatan 7,60%. Pada tahun 2016 luas perkebunan kelapa sawit menurun sebesar 0,52% yaitu menjadi 11,20 juta hektar, pada tahun 2017 terjadi peningkatan luas areal perkebunan kelapa sawit di perkirakan sebesar 9,80% dengan nilai menjadi 12,30 juta hektar. Selama empat tahun terakhir cenderung menunjukkan peningkatan, kecuali pada tahun 2016 yang mengalami penurunan [2].

Pada tahun 2016 sampai dengan 2017, areal perkebunan kelapa sawit tersebar di 25 Provinsi yaitu seluruh Provinsi di Pulau Sumatra dan Kalimantan, Provinsi Jawa Barat, Banten, Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Barat, Gorontalo, Maluku, Papua dan Papua Barat. Dari ke 25 Provinsi tersebut, Provinsi Riau merupakan Provinsi dengan areal perkebunan kelapa sawit terluas di Indonesia yaitu 2,01 juta hektar pada tahun 2016 atau 17,97% dari total luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia [2].

Pabrik kelapa sawit (PKS) mengolah buah kelapa sawit atau tandan buah segar. Pengolahan tandan buah segar akan menghasilkan minyak kelapa sawit mentah (CPO) setiap ton tandan buah segar (TBS) menghasilkan buangan berupa limbah padat maupun limbah cair. Limbah padat itu berupa serabut (*fiber*) sebanyak 130 kg (13%ton), dengan jumlah kalori sekitar 2637-4554 kkal/kg, cangkang (*shell*) sebanyak 65 kg (6,5% ton) dengan kalori 4105-4802/kg, tandan kosong sebanyak 230 kg (23% ton) dengan kalori 2492 kkal/kg, sedangkan limbah cair atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) sekitar 600-700



kg, (60-70%), jadi limbah cair lebih banyak menimbulkan efek negatif bagi lingkungan [4].

Limbah cair kelapa pabrik kelapa sawit yang berada didalam kolam berdampak negatif bagi lingkungan, pada umumnya kolam limbah yang dibiarkan terbuka dapat menyebabkan rawan meluap saat hujan ataupun terjadi resapan kedalam tanah. Selain itu limbah cair juga dapat berfermentasi pada kolam terbuka menghasilkan gas methana (CH_4) yang terlepas ke udara dan atmosfer secara langsung. *United Nation Frame Work Convention On Climate Change* (UNFCCC), badan Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) yang menangani perubahan iklim, mencatat gas methana memiliki tingkat emisi 24 kali lebih tinggi jika dibandingkan dengan karbon (CO_2). Maka perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum limbah dibuang ke lingkungan [4].

Provinsi Riau merupakan Provinsi yang memiliki perkebunan kelapa sawit yang sangat luas dan juga memiliki pabrik kelapa sawit yang berpotensi cukup besar dalam mendukung kemandirian energi nasional. Beberapa pabrik kelapa sawit yang ada di Provinsi Riau masih belum memanfaatkan limbah cair secara baik, karena sebagian pabrik kelapa sawit menangani limbah cair dengan cara mengalirkan kekolam terbuka dengan alasan mempermudah proses operasinya. Salah satunya pabrik kelapa sawit PKS PT. Persada Nusa Nabati Indonesia [4].

Pabrik kelapa sawit PT. Persada Nusa Nabati Indonesia merupakan pabrik yang beralamat di Kecamatan Minas Desa Minas Timur, Kabupaten Siak. Pabrik kelapa sawit PT. Persada Nusa Nabati mengolah tandan buah segar (TBS) sampai menjadi minyak kelapa sawit (CPO) dengan beberapa proses tahapan. Dalam pengolahan TBS menjadi CPO, menghasilkan limbah padat dan limbah cair. PKS Persada Nusa Nabati memanfaatkan limbah padatnya berupa cangkang dan serabut *fiber* untuk bahan bakar boiler. Uap yang dihasilkan boiler kemudian diteruskan ke stasiun *power plant* yang mana digunakan untuk memutar sudut-sudut turbin uap. Turbin uap merupakan alat pembangkit tenaga listrik yang dipakai sebagai penggerak seluruh peralatan dan penerangan dipabrik. Selain stem turbin stasiun *power plant* juga dilengkapi dengan genset yang mana alat ini juga berfungsi sebagai pembangkit tenaga listrik yang menggunakan penggerak motor bakar dengan bahan bakar solar [8].

Berdasarkan data yang di dapatkan dari pabrik yang memproduksi tandan buah segar (TBS), dengan nilai mencapai sekitar lebih kurang 800 ton/perhari dengan kapasitas olah 45 ton/perjam. Pabrik kelapa sawit ini beroperasi selama 24 jam dengan daya arus



listrik yang di *supply* dari pembangkit listrik tenaga *Generator Set* (genset) dan PLTU. Total kapasitas terpasang dari sebuah pembangkit PLTU dan *Generator Set* sebesar 10,08MW, dengan rincian pemakaian PLTU hanya untuk 10 jam saja dengan daya sebesar 800 kW, setelah itu untuk pemakaian 14 jam nya lagi di *cover* oleh *Generator Sett* (genset) dengan daya sebesar 80 kW atau sebesar 0,08 MW, sehingga dapat disimpulkan pemakaian listrik selama 24 jam di PT. Persada Nusa Nabati Indonesia di *cover* oleh PLTU dan *Generator Sett* (genset). Kapasitas terpasang PLTU dan *Generator Sett* ini digunakan untuk *mensupply* kebutuhan listrik di pabrik sebesar 923 kW, kantor 15 kW sedangkan 40 mess karyawan 55,6 kW, mushollah sebesar 0,9 kW dan penerangan jalan sebesar 10 kW, dengan jumlah keseluruhan daya mencapai 1004,6 kW atau sebesar 1,004 MW. Sehingga jika dilihat dari total beban sebesar 1,004 MW dan kapasitas yang dikeluarkan oleh kedua pembangkit sebesar 880 kW, maka masih terdapat kekurangan daya listrik pada PT. Persada Nusa Nabati Indonesia [8].

Berdasarkan studi pendahuluan berupa wawancara kepada *Mill Manager* PT. Persada Nusa Nabati Indonesia bapak Anggiat Manik di Desa Minas Timur bahwa di pabrik tersebut masih kekurangan daya pada saat pengoperasian pabrik berjalan pada pagi hari pukul 08.00 sampai pukul 09.00 WIB, dan terjadi lagi kekurangan daya pada pukul 18.00 WIB sehingga pada pagi hari aliran daya di mess karyawan dikurangi hingga pembangkit mampu beroperasi dengan normal. Dan untuk bahan bakar pembangkit sangat banyak dibutuhkan pada star awal pembangkit, dalam sehari mampu menghabiskan bahan bakar sebesar ± 100 liter bahan bakar untuk satu hari pengoperasian, sehingga menyebabkan besarnya biaya yang dikeluarkan dalam pembelian bahan bakar solar, seperti yang diketahui untuk bahan bakar solar ini tidak begitu banyak cadangan di daerah Siak dan Kecamatan Minas, jika bahan bakar solar tidak memadai otomatis pabrik ini tidak memiliki jam kerja yang maksimal sehingga yang jadi korban pemadaman listrik berdampak pada mess [8].

Dengan adanya beberapa bentuk defisit energi listrik maka penelitian ini mencoba menawarkan satu buah pembangkit tenaga biogas (PLTBg) yang nantinya mampu mengcover secara keseluruhan listrik yang ada di pabrik, dengan potensi limbah cair POME yang belum termanfaatkan, dari hitungan awal didapatkan potensi sebesar 686,47m³/hari. Berdasarkan dari buku Ade Sri Rahayu dengan nilai (*palm oil mill effluent*) POME sebesar 600 m³/hari akan menghasikan potensi daya 1,6 Mwe [5].



Dengan banyaknya potensi limbah cair kelapa sawit yang ada di PKS PT. Persada Nusa Nabati Indonesia, maka sangat memungkinkan untuk di kembangkan sebagai pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) baik secara teknis dan ekonomi yang kemudian bisa diterapkan dengan satu pembangkit tenaga biogas dan menggantikan pembangkit sebelumnya yaitu PLTU dan PLTD, hal ini di dukung oleh hasil wawancara kepada pihak PT Persada Nusa Nabati Indonesia yang diwakili oleh Ibu Mey selaku asisten pengolahan di PKS, bahwa saat ini PKS PT. Persada Nusa Nabati Indonesia sudah memiliki rencana untuk membangun Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) dengan bahan baku limbah cair POME sehingga dapat mengurangi biaya bahan bakar boiler dan bahan bakar fosil, Mengganti seluruh penggunaan cangkang (*shell*) untuk bahan bakar boiler akan tetapi hal ini belum dapat terlaksanakan, dikarenakan pihak PKS PT. Persada Nusa Nabati Indonesia belum memiliki rancangan untuk pembangunan PLTBg tersebut. PT. Persada Nusa Nabati Indonesia untuk pembangunan PLTBg bahwasanya PT tersebut bersedia menerima PLTBg sebagai pembangkit yang akan dibangun di pabrik tersebut untuk mesuplay pasokan listrik dan mampu mencukupi daya listrik di kawasan pabrik PT. Persada Nusa Nabati Indonesia. Kabupaten Siak bahwasanya menurut peraturan perundang-undang penomoran Menteri Lingkungan Hidup No. 17/2001 tentang Produksi Energi Swasta Menetapkan persyaratan untuk izin usaha bagi perusahaan produsen listrik, membebaskan produsen energi terbarukan dibawah 10 MW untuk pemakaian sendiri dari proses kajian dampak lingkungan lengkap, PT. Persada Nusa Nabati memang sudah merencanakan untuk kedepannya pembangunan pembangkit listrik tenaga biogas [8].

Teknologi yang dapat diterapkan untuk menghasilkan biogas adalah *anaerobic digestion*. Teknologi ini memiliki aplikasi luar biasa dimasa depan dan berkelanjutan dibidang lingkungan (perawatan limbah) dan pertanian, dengan produksi energi sebagai manfaat tambahan. Didalam melakukan perancangan pembangkit listrik biogas, peneliti memilih metode pengolahan konversi limbah cair kelapa sawit (POME) menjadi biogas menggunakan proses pengolahan secara anaerobik. Alasan utama memilih proses anaerobik adalah kemampuannya dalam menghasilkan biogas dengan baik. Proses aerobik tidak mengkonversi zat organik menjadi metana, menghasilkan lebih banyak lumpur dan mengolah limbah tidak tuntas. Sebaliknya, proses anaerobik menghasilkan metana dan sisa limbah cair yang kaya nutrisi seperti nitrogen dan fosfor [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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Anaerobic digestion saat ini merupakan teknologi standar untuk pengolahan air limbah. Biogas, gas kaya akan metana, adalah produk yang dihasilkan dari proses *anaerobic digestion* yang memecah bahan organik dalam kondisi tidak adanya udara.

Anaerobic digester mengubah energi yang tersimpan dalam bahan organik menjadi biogas. Gas ini dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk memasak, penerangan dan menghasilkan listrik [6].

Pada penelitian ini metode anaerobiknya menggunakan jenis digester *chinese fix dome*, keunggulan dari teknologi digester ini adalah, memiliki struktur terletak dibawah tanah dan beroperasi dalam model setengah kontinyu, misalnya selain bahan baku sekali per hari. Struktur mencakup bagian yang bergerak dan pembangunan bahan yang umum terdiri dari batu bata dan semen. Teknologi ini tidak memiliki sistem pencampuran, dan untuk biaya investasi yang rendah, waktu hidup sekitar 20 tahun, sistem insulasi baik, tidak ada ruang dangkal yang diperlukan karena struktur bawah tanah, tekanan gas baik, pencampuran substrat dalam digester menghindari akumulasi besar padatan di bawah digester ini, serta teknologi ini yang diterapkan di beberapa bagian dunia [26].

Dari dampak negatif pada limbah cair (*palm oil mill effluent*) POME yang ada di pabrik kelapa sawit PT. Persada Nusa Nabati Indonesia dan untuk menanggulangi masalah kekurangan daya listrik di pabrik kelapa sawit melakukan analisis limbah cair dengan acuan penelitaian sebelumnya yaitu dengan menggunakan teknologi *Anaerobic Digestion*. Tujuan pengolahan (*palm oil mill effluent*) POME dijadikan energi listrik dikarenakan (*palm oil mill effluent*) POME yang ada di PT. Persada Nusa Nabati Indonesia sangat banyak potensinya dibandingkan dengan limbah padat yang ada di pabrik tersebut selain penggunanya yang sangat efisien juga pemanfaatannya sangat ramah lingkungan sehingga bisa memproduksi energi listrik secara cepat dan bisa mengatasi permasalahan yang ada di pabrik tersebut. Metode *Anaerobic digestion* adalah mengubah energi yang tersimpan dalam bahan organik menjadi biogas sehingga gas yang dihasilkan dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik [7].

Pada penelitian ini juga akan menganalisis aspek ekonomi dari pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg), dengan menghitung dari biaya investasi, biaya O&M (operasional dan perbaikan), biaya pendapatan pertahun dengan perhitungan manual, selanjutnya akan disimulasikan dengan aplikasi *REETscreen*. Selanjutnya akan menganalisis financial dengan perhitungan berupa, *Cost Benefit Analysis* memiliki beberapa parameter antara lain yaitu, *Cash Flow* (CF), *Net Present Value* (NPV), dan *Payback Periode*.



Dari penjelasan diatas Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PT. Persada Nusa Nabati Indonesia yang beralamat di Desa Minas Timur, Kecamatan Minas, Kabupaten Siak Provinsi Riau, yang diperkirakan memiliki potensi untuk dijadikan sebuah pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) dari limbah cair kelapa sawit. Selain mengurangi penggunaan bahan bakar minyak bumi, juga mengurangi penyebab pencemaran lingkungan hidup. Studi penelitian ini sangat penting sebagai bahan pertimbangan bagi pihak PT. Persada Nusa Nabati sebelum memutuskan untuk membangun PLTBg. Maka dari itu penelitian ini menyimpulkan perancangan pembangkit yang mengkaji aspek teknis dan aspek ekonomi dari proyek pembangunan PLTBG di PT. Persada Nusa Nabati Indonesia. Oleh karena itu penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul **“Analisis Teknis Dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Dengan memanfaatkan Limbah Cair Kelapa Sawit (Studi Kasus: PT. PNNI Minas Timur, Kabupaten Siak)”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang sudah diuraikan diatas maka rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah :

1. Apakah Pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) layak di analisis secara aspek teknis dan aspek ekonomi, sehingga bisa menghasilkan energi listrik dan menyelesaikan permasalahan kekurangan listrik di PT. Persada Nusa Nabati Indonesia Kecamatan Minas, Kabupaten Siak, Riau.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitaian Tugas Akhir ini adalah :

1. Menganalisis potensi limbah cair menjadi biogas PT. Persada Nusa Nabati Indonesia.
2. Menganalisis aspek Teknis dari PLTBg di PT. Persada Nusa Nabati Indonesia.
3. Menganalisis aspek Ekonomi dari PLTBg PT. Persda Nusa Nabati Indonesia.

1.4 Batasan penelitian

Dalam pembuatan Tugas Akhir ini penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair kelapa sawit POME (*palm oil mill effluent*) di PT. Persada Nusa Nabati Indonesia.



2. Tidak untuk membahas sifat-sifat gas hanya sebatas penggunaan biogas sebagai bahan bakar *gas engine*.
3. Perhitungan aspek Teknis yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan secara manual dengan persamaan-persamaan yang ada.
4. Perhitungan aspek Ekonomi yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan secara manual dan didukung dengan perangkat lunak *RETScreen Expert*.
5. Hanya membahas analisis teknis dan ekonomi produksi biogas dengan memanfaatkan limbah cair kelapa sawit POME (*palm oil mill effluent*) sebagai pengembangan energi listrik.
6. Tidak untuk membahas Emisi dan Analisis Resiko.

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Manfaat Ilmiah

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk menambah ilmu literature perkembangan ilmu pengetahuan dibidang pemanfaatan limbah cair kelapa sawit POME (*palm oil mill effluent*) melalui proses *anaerobic digestion* untuk menghasilkan biogas sebagai bahan bakar *gas engine* sehingga menjadi listrik.

1.5.2 Manfaat Terapan

Memberikan rekomendasi kepada pihak PT. Persada Nusa Nabati Indonesia dalam pengelolaan serta pengoptimalan limbah cair kelapa sawit POME (*palm oil mill effluent*) menjadi sumber energi listrik.

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

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan 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.



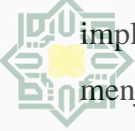
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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 yang berjudul “Pengolahan *Palm Oil Mill Effluent* (POME) menjadi biogas dengan sistem Anaerobik Tipe *Fixed Bed* tanpa Proses Netralisasi” limbah cair industri minyak kelapa sawit atau POME saat ini belum dimanfaatkan secara maksimal. Pengolahan limbah POME umumnya menggunakan teknologi *covered lagoon* dengan sistem anaerobik, dimana umumnya teknologi ini beroperasi baik pada kondisi limbah yang netral dengan pH7 dan menggunakan proses mesopilik pada suhu sekitar 35°C. Sehingga diperlukan tahap pendinginan dan tahap netralisasi terlebih dahulu sebelum POME diumpukan ke reaktor, yaitu dengan mencampurkannya dengan POME yang sudah terdegradasi di dalam reaktor, karena sifatnya sudah berubah menjadi basa. Hal ini berguna untuk memastikan bahwa suhu POME sebelum masuk reaktor sudah mendekati suhu lingkungan dan tingkat keasaman POME sudah mendekati netral (pH=7). Pengolahan POME menggunakan *covered lagoon* umumnya memerlukan waktu tinggal di dalam *reactor* (HRT) sekitar 30 hari. Reaktor *anaerobic tipe Fixed Bed* mampu mengolah limbah dengan pH rendah, sehingga POME yang mempunyai pH 4, tidak perlu dinetralkan terlebih dahulu. Hal ini akan menyederhanakan proses pengolahan, menurunkan biaya investasi dan biaya operasi. Tujuan penelitian ini adalah mengolah limbah POME dengan menggunakan reaktor anaerobik *tipe Fixed Bed* tanpa tahap proses netralisasi. Metode pengolahan anaerobik dengan menggunakan reaktor *tipe Fixed Bed*, terbagi menjadi dua tahapan proses yaitu proses inokulasi bakteri dan proses adaptasi limbah POME. Hasil penelitian dapat menurunkan HRT menjadi 20 hari, dengan pengumpanan POME optimal pada 150 liter/hari. Persentase gas metana adalah 66%. Hasil produksi gas metana adalah 0,52 liter/gram COD atau lebih besar dari hasil proses menggunakan *covered lagoon*, yaitu 0,35 liter/ gram COD [9].

Penelitian yang berjudul “Strategi Implementasi Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Menjadi Energi Listrik (di Provinsi Lampung)”. Pemerintah Indonesia menargetkan 60% pabrik kelapa sawit (PKS) Indonesia harus memiliki fasilitas *methane*



capture pada tahun 2020, sehingga diperlukan strategi yang tepat untuk mempercepat implementasi pemanfaatan limbah cair pabrik kelapa sawit (*palm oil Mill effluent POME*) menjadi energi listrik. Tujuan penelitian ini adalah menentukan strategi yang dapat ditempuh untuk implementasi penanganan POME menjadi energi listrik. Penelitian dilakukan melalui pendekatan kuantitatif dan kualitatif dengan menggunakan data primer dan sekunder. Strategi implementasi dianalisis menggunakan metode SWOT dan *analytical hierarchy process*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi yang menjadi prioritas utama dalam implementasi pemanfaatan POME menjadi energi listrik (1), pembuatan regulasi yang mewajibkan semua PKS memanfaatkan energi listrik yang bersumber dari biogas POME, (2) mendorong peningkatan infrastruktur yang menunjang bisnis biomassa berbasis kelapa sawit, dan (3) pembuatan petunjuk pelaksanaan yang akomodatif tentang penjualan energi listrik berbasis biogas ke PT PLN (Persero) [10].

Penelitian selanjutnya yang berjudul “Kajian Teknis dan Keekonomian Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dari Limbah Cair Sawit (Bangka Belitung)” Masalah yang sering ditimbulkan dari industri kelapa sawit ialah pembuangan limbah cair yang menimbulkan polusi udara karena bau yang menyengat dari kolam limbah, jika dibuang ke sungai maka akan mencemari sungai, dan jika dibuang ke tanah maka tanah tersebut akan terkontaminasi. Maka dilakukan kajian perhitungan analisis agar limbah cair dapat memberikan keuntungan bagi pabrik dari segi keekonomian, dengan cara menganalisis produksi gas metana yang bahan bakunya limbah cair diolah secara *anaerobik* untuk bahan bakar PLTBogas. Hasil yang didapat dari analisis produksi biogas tersebut gas metana 11.182, 07 Nm³ /jam, dan untuk energi listrik yang dihasilkan rata-rata 1.62 MW, jika dijadikan kWh maka didapatkan 38.880 kWh dengan *feed in* tarif Rp 1575/kWh, pendapatannya sebesar Rp 61.236.000/hari, dari segi keekonomian kelayakan investasi NPV analisis biogas Rp 40.416.194.104, dengan suku bunga 11%, IRR 23%, DPBP 5 tahun, dan dari data pendapatan PLN, NPV Rp 36.468.500.543, IRR 22%, DPBP 5 tahun [11].

Penelitian selanjutnya yang berjudul “Analisa pemanfaatan POME untuk sumber pembangkit listrik tenaga biogas di pabrik kelapa sawit” Salah satu produk samping dari pabrik pengolahan kelapa sawit adalah POME yang merupakan limbah cair. Limbah ini cukup besar jumlahnya dan dapat dikonversi menjadi biogas yang selanjutnya dapat digunakan sebagai sumber energi listrik. Pada pabrik kelapa sawit kapasitas PKS sebesar 30 ton TBS/jam yang telah memanfaatkan POME dengan sistem *Covered Lagoon* dengan akan menghasilkan biogas ± 600 m³/jam, atau setara dengan energi sebesar 3.720 kWh. Jika energi tersebut digunakan untuk membangkitkan listrik dengan menggunakan *gas engine*



(efisiensi 35%) maka akan dapat dibangkitkan listrik sebesar 1.303 kWh atau 1,3 MW. Sedangkan dengan menggunakan *digester anaerob* biogas yang dihasilkan $\pm 28 \text{ m}^3 / \text{ton TBS}$. Jadi jika kapasitas PKS sebesar 30 ton TBS/jam akan dihasilkan biogas $\pm 840 \text{ m}^3/\text{jam}$, atau setara dengan energi sebesar 5.208 kWh. Energi listrik yang dapat dibangkitkan dengan *gas engine* (efisiensi 35%) adalah sebesar 1.822 kWh, atau 1,8 MW. Dengan menggunakan parameter umum konsumsi energi listrik di pabrik pengolahan kelapa sawit yakni sebesar 17-19 kWh/ton TBS maka potensi listrik POME dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Pemanfaatan POME akan memberi nilai tambah sekaligus meningkatkan profitabilitas. Manfaat lainnya adalah mengurangi dampak lingkungan dan menghasilkan energi terbarukan [12].

Penelitian selanjutnya yang berjudul “Kajian Teknologi Pemanfaatan Biogas POME (*Palm Oil Mill Effluent*) ke boiler PTPN V di Provinsi Riau, merencanakan kajian teknis untuk penerapan teknologi biogas keboiler untuk memaksimalkan pemanfaatan biogas, khususnya di PKS Sei Pagar. Kajian tersebut bertujuan untuk mensubstitusi cangkang pada boiler atau ketel uap melalui skema model pemanfaatan biogas POME ke boiler pada pabrik kelapa sawit. Selain kajian teknis, kajian keekonomian dan lingkungan dilakukan dalam kaitan studi banding ke beberapa PKS di wilayah Sumatera dan Kalimantan. Skema Model Pemanfaatan Biogas POME ke Boiler pada Pabrik Kelapa Sawit menggunakan beberapa komponen, seperti *Blower*, Sistem Pemipaan, *Valve Train*, *Gas Burner (Single Burner)*, *Forced Draft Fan*, dan *Control Panel (PHB)*. Dari hasil studi tersebut, jumlah cangkang yang dapat digantikan dengan biogas POME pada pembakaran di boiler sebanyak 6.549,3 ton per tahun. Jika cangkang tersebut dapat dijual dengan harga sebesar Rp 4.000 per kg atau Rp 400.000 per ton, maka pendapatan yang diperoleh dari hasil penjualan cangkang sekitar Rp 2,62 Milyar. Model Pemanfaatan tersebut dapat dikembangkan dan diterapkan untuk mendukung penerapan teknologi Biogas to Boiler di Pabrik Kelapa Sawit yang ada di Indonesia [15].

Penelitian selanjutnya yang berjudul PT PLN Wilayah Riau dan Kepulauan Riau (WRKR) mengalami defisit listrik sekitar 134,4 MW. Kebutuhan listrik di Riau pada waktu beban puncak sebesar 450,7 MW. Kemampuan pembangkit listrik hanya 316,3 MW, sehingga terpaksa dilakukan pemadaman bergilir di Kota Riau dan sekitarnya. Penyelesaian krisis listrik dapat dilakukan dengan pemanfaatan energi alternatif (*renewable energy*). Energi baru terbarukan yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik diantaranya adalah Biogas. Proses pengolahan tandan buah segar (TBS = *fresh fruit bunches*) menjadi *crude palm oil* (CPO) dan seluruh aktivitas produksi pabrik kelapa sawit (PKS) menghasilkan



biomassa, baik limbah padat maupun cair, (*Palm Oil Mill Effluent / POME*). Agro industri perkebunan sawit yang tersebar di wilayah Riau memiliki 147 unit Pabrik Kelapa Sawit (PKS) dengan total kapasitas produksi 6.584 Ton/jam, potensi limbah cair 710,103,744 m³/tahun. Energi listrik yang mampu di bangkitkan 434.54 MW, dengan produksi energi listrik 2.476,849,990 kWh/tahun, potensi penjualan listrik Rp 2,414,928,740,015.87/thn. Defisit listrik 134,4 MW, sedangkan potensi energi listrik dari POME 434,54 MW, masih surplus 300,14 MW, dan bila dijumlahkan antara kapasitas daya 316,3 MW + 434,54 MW = 750,84 MW, lebih dari cukup untuk kebutuhan listrik Provinsi Riau hingga tahun 2016 hanya 701 MW. Pembangunan Pembangkit Listrik Biomassa limbah cair (POME) selain pemenuhan kebutuhan energi listrik lokal dan sekitarnya sekaligus mengatasi pencemaran lingkungan hidup akibat timbunan sampah limbah padat dan cair di area sekitar pabrik kelapa sawit. Pengolahan limbah cair mampu mencegah emisi gas secara langsung ke atmosfer. Penggunaan generator sinkron dengan *prime mover* PLTBS sebagai *Voltage Regulator Bus* pada *system Distributed Generation pada Smart Grid* mampu memperbaiki drop tegangan, *power factor controller*, mengurangi *losses* daya listrik, peningkatan rasio kelistrikan serta perbaikan *power quality* dengan pemanfaatan jaringan *distribusi existing* [17].

Dari beberapa penelitian yang telah disebutkan maka, seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Widiatmini Sih Winanti yang membahas Pengolahan *Palm Oil Mill Effluent* (POME) menjadi Biogas dengan Sistem *Anaerobik Tipe Fixed Bed* tanpa Proses Netralisasi tidak melakukan analisis teknis dan ekonomi. Pada penelitian Saroni, dkk yang membahas tentang Strategi Implementasi Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Menjadi Energi Listrik (di Provinsi Lampung), masih berupa analisis teknis belum membahas sampai analisis ekonomi. Pada penelitian Reza Putra Astamura, dkk yang membahas tentang Kajian Teknis dan Keekonomian Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dari Limbah Cair Sawit (Bangka Belitung). Tidak sampai membahas sampai pembersih gas. Pada penelitian Lutfi Parinduri yang membahas tentang Analisa Pemanfaatan Pome Untuk Sumber Pembangunan Tenaga Biogas Di Pabrik Kelapa Sawit hanya membahas analisis teknis dengan PLTBg dan tidak sampai membahas analisis ekonomi dan *gas engine*. Pada penelitian Safrizal yang membahas tentang *Small renewable energy* biogas limbah cair POME pabrik kelapa sawit menggunakan tipe *covered lagon* solusi alternatif defisit listrik Provinsi Riau, hanya membahas sampai analisis teknis dan analisis ekonomi belum sampai membahas sampai *gas engine*.

Dari beberapa penelitian yang telah disebutkan diatas penelitian ini sangat dekat dengan penelitian (15). Yang membedakan penelitian ini dengan penelitian tersebut adalah peneliti akan mengkaji aspek teknis berupa perhitungan potensi limbah cair, perhitungan digester, perhitungan pemurnian gas, perhitungan *gas engine*, dan perhitungan produksi biogas dan energi listrik secara manual. Sedangkan untuk aspek ekonomi penelitian ini akan menghitung komponen biaya produksi, menghitung biaya pemeliharaan O&M dan untuk perhitungan kelayakan financial penelitian ini akan menghitung, *cash flow* (CF), NPV dan *Payback Periode*, untuk perhitungan aspek ekonomi diatas akan digunakan dengan perangkat lunak *REETscreen*.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biogas

Sistem pembangkit listrik tenaga biogas merupakan sistem serangkaian opsi pemanfaatan untuk pabrik kelapa sawit. Pengolahan pabrik dapat menggunakan biogas untuk bahan bakar *bunner* maupun boiler sehingga mengganti sebagian pengguna cangkang dan serat, menghasilkan listrik untuk keperluan pabrik sehingga mengurangi biaya bahan bakar [5].

2.2.2 Pengolahan POME

Di Indonesia hampir semua pabrik pengolahan kelapa sawit menggunakan system terbuka untuk mengolah POME, dengan pertimbangan keekonomisan dan kemudahan pengoperasian. Penanaman dan fungsi kolam mungkin berbeda-beda antara pabrik yang satu dengan yang lain, namun secara umum sistem ini terdiri dari empat jenis kolam: kolam lemak (*fat pit*), kolam pendinginan (*cooling pond*), kolam *anaerobic* (*anaerobic pond*) dan kolam anaerobik (*aerobic pond*). Kolam lemak digunakan untuk mengumpulkan sisa-sisa minyak dan lemak pada POME. Minyak adalah produk utama dari pabrik, sehingga operator pabrik akan mengutip minyak dari *fat pit* dan dialirkan kembali ke unit pengolahan CPO [5].

Hasil uji laboratorium karakteristik dari limbah cair (POME) dan baku mutu sesuai peraturan di tunjukkan pada Table 2.1



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Di larang menyalin sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengizinkan penyalinan sebagian atau seluruhnya untuk tujuan komersial atau non komersial tanpa izin penyalinnya.
 2. Di larang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Parameter	Unit	POME Tanpa Diolah		Baku Mutu Sesuai Peraturan	
		Rentang*	Rata-rata	Sungai	Aplikasi Lahan
BOD	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	31.170	250	
Amonia (NH ³ -N)	mg/l	12-126	41	50	
Minyak dan Lemak	mg/l	190-14.720	3.075	25	
pH	-	3,3-4,6	4	6-9	6-9
Maksimal POME Yang dihasilkan	m ³ /ton CPO			2,5	

Limbah cair kelapa sawit POME mengandung sejumlah besar nitrogen, fosfat, kalium, magnesium, dan kalsium, sehingga dapat digunakan sebagai pupuk perkebunan kelapa sawit, namun demikian operator pabrik harus melakukan pengolahan terlebih dahulu pada POME sebelum digunakan dilahannya [5]. Biogas sekitar 20% lebih ringan dibandingkan udara dan memiliki temperatur nyala antara 650°C sampai 750°C, biogas merupakan gas yang tidak berbau dan tidak berwarna yang terbakar dengan bara biru yang serupa dengan *liqued fied petroleum gas* (LPG). Biogas terbakar dengan efisiensi 60% dalam tungku biogas konvensional yang memiliki kalori 20 Mj/Nm³. Proses produksi biogas memanfaatkan kemampuan alami mikroorganisme untuk menguraikan limbah organik [5].

Table 2.2 Proyeksi Potensi Daya dari POME berdasarkan Kapasitas PKS [5].

Kapasitas PKS (ton TBS/Jam)	POME yang Dihasilkan		Potensi Daya (MWe)
	m ³ /Jam	m ³ /hari	
30	21	400	1,1
45	31,5	600	1,6
60	42	800	2,1
90	63	1200	3,2
Total Potensi di Indonesia			

34.280	23.996	479.920	1.280
--------	--------	---------	-------

2.2.3 Potensi Energi dari POME

Hasil perhitungan kapasitas pembangkitan daya berkaitan dengan potensi daya yang akan dihasilkan oleh *gas engine*. Untuk pabrik yang berencana menjual semua listrik ke jaringan, perhitungan rencana pendapatan akan dilakukan dengan mengalikan kapasitas daya yang dihasilkan. Pembangkit listrik tenaga biogas mengambil manfaat dari proses penguraian alami untuk membangkitkan listrik. Limbah organik yang dihasilkan selama produksi kelapa sawit merupakan sumber energi besar yang belum dimanfaatkan di Indonesia. Mengubah POME menjadi biogas untuk dibakar dapat menghasilkan energi sekaligus mengurangi dampak perubahan iklim dari proses produksi minyak kelapa sawit menjadi biogas untuk dibakar dapat menghasilkan energi sekaligus mengurangi dampak perubahan iklim dari proses produksi minyak kelapa sawit [5].



Gambar 2.1. Substrat dan Produk dalam Sebuah Konversi Biologis Anaerobik [5].

2.3 Proses Penguraian Anaerobic

Anaerobic digestion merupakan proses pembusukan bahan organik oleh bakteri *anerobik* pada kondisi tanpa kedap udara. Teknologi ini biasanya digunakan pada pengolahan limbah cair dan limbah organik pada sebuah industri, dimana limbah tersebut diolah untuk menghasilkan energi dengan memanfaatkan limbah kotoran hewan dan limbah pertanian. Pada dasarnya setiap limbah yang mengandung bahan organik dapat diolah dengan menggunakan teknologi *anaerobic digestion*. Limbah yang dapat terurai secara biologis/organik termasuk sampah kertas, sisa makanan, potongan rumput dan kotoran hewan. Dari proses *anaerobic* ini akan menghasilkan produk berupa biogas dan *Slurry* [18].

1. Hidrolisis

Hidrolisis ialah proses yang paling pertama pada sistem *anaerobic digestion* dimana proses pembusukan dari *polymers* (molekul kompleks) pada padatan menjadi *mono* dan



oligomers (molekul sederhana). Dengan kata lain selama proses hidrolisis, karbohidrat, protein dan lemak dibusukkan hingga menjadi glukosa, gliserol, purin, dan piridin [19]. Pada tahap *hidrolisis*, air bereaksi dengan *polimer* organik rantai panjang seperti *polisakarida*, lemak, dan protein, untuk membentuk *polimer* rantai pendek yang terlarut seperti gula, asam lemak, rantai panjang dan asam *amino* [5].

2. *Asidogenesis*

Selama tahap hidrolisis, air bereaksi dengan polimer organik rantai panjang seperti polisakarida, lemak, dan protein untuk membentuk polimer rantai pendek yang terlarut, seperti gula, asam *amino*, *selulosa*, *amilase*, *lipase*, atau *protease* (enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme) melakukan proses ini [5].

3. *Acetogenesis*

Produk dari *asidogenesis*, yang tidak dapat langsung diubah menjadi metana oleh bakteri metanogen, diubah menjadi substrat metanogen selama *asetogenesis*. VFA dan alkohol dioksidasi menjadi *substrat metanogen* seperti asetat, hidrogen dan karbon dioksida. VFA dengan rantai karbon lebih dari dua unit dan alkohol dengan rantai karbon lebih dari satu unit, dioksidasi menjadi asetat dan hidrogen. Selama metanogenesis, hidrogen diubah menjadi metana. *Asetogenesis* dan *metanogenesis* biasanya berjalan *parallel*, sebagai simbiosis dari dua kelompok organisme [5].

4. *Metanogenesis*

Pada proses *metanogenesis* ini adalah proses yang paling utama pada proses *anaerobic digestion* dan reaksi biokimia yang lambat. Pada bagian ini memanfaatkan bakteri metanogenik untuk mengubah asam asetat menjadi gas metana dan karbon dioksida, dan mengubah *hydrogen* dan karbondioksida menjadi metana dan air. Diperkirakan sekitar 70% dari produksi gas metana berasal dari asam asetat dan 30% berasal dari konversi karbon dioksida dan hidrogen. Proses ini adalah proses yang paling kritis pada *anaerobic digestion*. Hal ini sangat diperlukan untuk pengontrolan pada proses *anaerobic digestion* untuk menghasilkan hasil yang diinginkan [5].

2.4 Parameter Pada Proses Penguraian *Anaerobic*

Untuk mengkonversi zat organik menjadi biogas secara efektif, mikro organisme membutuhkan nutrisi dan kondisi lingkungan yang sesuai.

1. Suhu

Ada dua rentang suhu yang biasa digunakan dalam digester anaerobik, yaitu suhu mesofilik (25-40°C) dan suhu termofilik (50-60°C). Instalasi biogas biasanya menggunakan

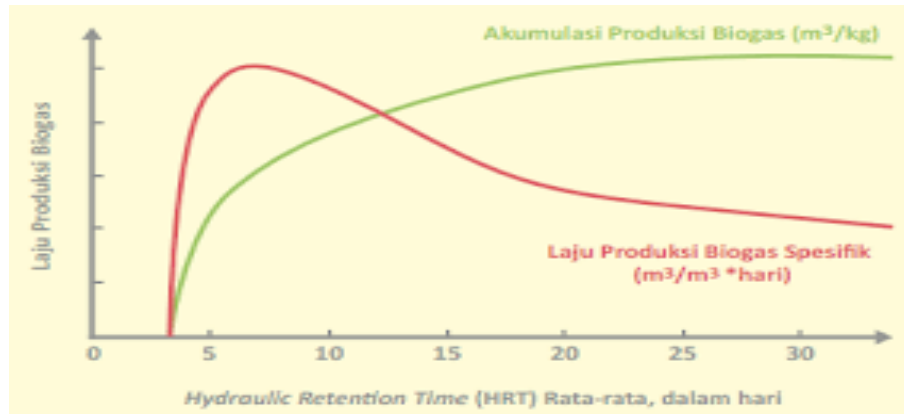
4. Nutrisi

Bio degradasi yang efisien membutuhkan nutrisi seperti nitrogen, fosfor dan unsur-unsur lainnya dalam jumlah yang cukup (*mikronutrisi*). Nutrisi membangun sel-sel yang membentuk mikroorganisme dan menghasilkan biogas. Unsur-unsur kimia yang membentuk mikroorganisme antara lain karbon (50%), oksigen (20%), nitrogen (12%), hidrogen (8%), fosfor (2%), sulfur (1%), dan kalium (1%). Proses pembentukan biogas membutuhkan rasio karbon terhadap nitrogen minimal 25 : 1. POME umumnya memiliki nitrogen dan fosfor dalam kadar yang cukup. Kebutuhan nutrisi bakteri anaerob lebih rendah dibandingkan dengan bakteri aerob, karena laju pertumbuhan bakteri *anaerob* lambat. Proses pembentukan biogas harus mempertahankan rasio COD : *nitrogen* : *fosfor* pada tingkat yang memadai, oleh karena itu perlu dilakukan pemantauan rasio dan melakukan penyesuaian yang diperlukan selama proses berlangsung. Pompa dosis dapat digunakan untuk menambahkan nutrisi secara berkala. Selama proses, kadar mikronutrien seperti nikel dan kobalt juga harus dijaga untuk mendukung proses metanogenesis.

5. Toksisitas

Dari semua jenis mikroorganisme dalam penguraian anaerobik, bakteri metanogen umumnya dianggap paling sensitif terhadap *toksisitas*. *Toksisitas* NH₃, H₂S dan VFA tergantung pada pH. Dalam kultur bakteri yang tidak dikondisikan, tingkat NH₃ sekitar 150 mg/l dapat menghambat pertumbuhan mikroba. Bakteri metanogen dapat menoleransi konsentrasi yang lebih tinggi, jika kultur tersebut telah melalui masa adaptasi. NH₃ menjadi racun pada tingkat pH lebih dari 7. H₂S dan VFA beracun pada tingkat pH kurang dari 7.

Konsentrasi H₂S hingga 200 mg/l tidak menghambat pertumbuhan mikroba, tetapi dapat mengeluarkan bau menyengat yang berasal dari hidrogen sulfida. Bakteri metanogen juga sensitif terhadap oksigen. Pada kultur campuran di dalam digester anaerobik, bakteri



Gambar 2.2. Hasil Biogas Terhadap HRT rata-rata [5].

anaerob fakultatif membentuk beberapa bakteri hidrolisis dan asidogenik yang mengkonsumsi oksigen yang ada dalam digester.

6. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Bakteri menguraikan material organik pada limbah cair kelapa sawit (POME) secara alami, yang dalam prosesnya membutuhkan konsumsi sejumlah oksigen. BOD merupakan ukuran jumlah oksigen yang dikonsumsi bakteri ketika menguraikan zat organik dalam kondisi aerobik. BOD diukur dari konsumsi oksigen dari awal sampai akhir periode pengujian berdasarkan inkubasi sampel yang tersegel selama lima hari pada suhu tertentu. Sedangkan COD merupakan ukuran total oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi semua zat organik yang bersifat biologis maupun yang tidak bereaksi (*inert*) menjadi karbon dioksida dan air. Oleh sebab itu, nilai COD selalu lebih besar dari nilai BOD. Pengukuran COD dapat dilakukan dalam beberapa jam sehingga pengukuran COD lebih banyak dilakukan dibanding dengan pengukuran BOD.

7. Kelarutan Gas

Dalam proses anaerobik, gas terbentuk dalam fase cair dan cenderung lepas ke udara. Perpindahan fase cair menjadi gas sangat penting dalam proses penguraian anaerobik. Perpindahan fase cair menjadi gas ini akan dibatasi oleh parameter desain proses seperti luas area antarmuka cairan dan gas (*liquid gas interface*), kecepatan pengadukan, suhu cairan yang mempengaruhi viskositas dan tegangan permukaan. Biasanya laju pembentukan gas jauh lebih tinggi dari laju perubahan cairan menjadi gas sehingga menghasilkan konsentrasi gas yang tinggi dalam cairan. Konsentrasi berlebih gas tertentu seperti CO₂ dan H₂S dapat menyebabkan penurunan pH dan mempengaruhi proses biologis [5].

8. Pengadukan Bahan Organik

Proses pengadukan berperan penting dalam mengontrol pH dan menjaga lingkungan yang beragam. Tanpa pengadukan yang memadai, lingkungan mikro yang tidak menguntungkan dapat terbentuk. Pengadukan berfungsi untuk mendistribusikan larutan penyangga keseluruh area digester dan mencegah penumpukan produk metabolisme berkonsentrasi tinggi yang dapat menghambat pembentukan bakteri metanogen. Pengadukan umumnya dilakukan dengan menggunakan pengaduk mekanis, yaitu pengadukan cairan dengan memasukkan POME melalui pipa distribusi, atau pengadukan dengan menggunakan biogas yang diresirkulasi. II-12 2.3.4 Teknologi Penguraian [5].

2.5 Biogas

Biogas adalah gas yang dihasilkan oleh bakteri apabila bahan organik mengalami proses fermentasi dalam reaktor (*biodigester*) dalam kondisi *anaerob* (tanpa udara). Reaktor yang dipergunakan untuk menghasilkan biogas umumnya disebut digester atau biodigester, karena di tempat inilah bakteri tumbuh dengan mencerna bahan-bahan organik. Untuk menghasilkan biogas dalam jumlah dan kualitas tertentu, maka digester perlu diatur suhu, kelembaban, dan tingkat keasaman supaya bakteri dapat berkembang dengan baik. Biogas sendiri merupakan gabungan dari gas metana (CH_4), gas (CO_2) dan gas lainnya [5].

2.5.1 Parameter Pembentukan Biogas

Mikroorganisme yang berbeda terlibat dalam proses pencernaan *anaerobic* dan mikroorganisme tersebut membutuhkan kondisi tertentu untuk pertumbuhan. Parameter utama selama proses *anaerobic digestion* disajikan dalam bagian ini.

2.5.2 Temperatur

Proses *bio-methanation* dapat terjadi pada rentang suhu yang berbeda antara 25-42°C dikenal sebagai kisaran *mesophilic*, antara 43-55°C rentang *thermophilic* dan pada suhu dibawah 20°C rentang *psychrophilic*. Pada suhu *mesophilic* proses pencernaan *anaerobic* lebih stabil dari pada kondisi termofilik dan *psychrophilic* karena pada kisaran suhu ini bakteri *anaerob* lebih toleran terhadap perubahan lingkungan [19].

2.5.3 Komposisi Biogas

Table 2.3 Komposisi Biogas [5].

Unsur	Rumus	Konsentrasi (%Volume)
Metana	CH_4	50-75
Karbon dioksida	CO_2	25-45
Uap air	H_2O	2-7
Oksigen	O_2	<2
Nitrogen	N_2	<2
Hidrogen sulfide	H_2S	<2
Amonia	NH_3	<1
Hidrogen	H_2	<1

Dengan jumlah limbah cair kelapa sawit (POME) memiliki komposisi biogas yang terdiri dari 50% sampai 70% metana (CH₄), 25% sampai 45% karbon dioksida (CO₂) dan sejumlah kecil gas lainnya. Biogas dari 20% lebih ringan dibandingkan udara dan memiliki temperatur nyala antara 650°C sampai 750°C. Jika biogas terbakar dengan efisiensi 60% dalam tungku biogas konvensional maka memiliki nilai kalori 20MJ/Nm³ [5].

2.5.4 Kandungan Kalori

Energi yang cukup besar dapat diperoleh dari pengolahan limbah cair. Pemanfaatan dalam bentuk energi ini berpotensi besar mengingat limbah tersebut masih memiliki nilai kalor yang cukup tinggi. Pemanfaatannya akan menghasilkan bahan bakar yang bisa dipakai untuk pembangkitan listrik [14].

Table 2.4 Kandungan kalori pada bagian kelapa sawit [14].

Bagian Kelapa Sawit	Nilai Kalori
Cangkang	3.400 kcal/kg
Serat	2.637 – 4.554 kcal/kg
Tandan Buah kosong	1800 kcal/kg
Batang	4.176 kcal/kg
POME (<i>Palm Oil Mill Effluent</i>)	4.695 – 8.569 kcal/m ³

Pada tabel diatas dapat disimpulkan bahwa nilai kalori dari kelapa sawit yang paling besar adalah limbah cair kelapa sawit POME (*Palm Oil Mill Effluent*) [14].

2.6 Potensi Limbah Cair Sawit

Limbah olahan sawit yang menjadi masalah dalam pencemaran perairan adalah air limbah *effluent* dari olahan minyak sawit atau yang dikenal dengan *palm oil-mill effluent* (POME). POME merupakan campuran dari air, serpihan kulit sawit dan residu lemak yang dihasilkan pada proses awal *crude palm oil* CPO dari buah sawit. POME bersuhu panas, pH asam berkisar 4-5, berwarna coklat, suspensi koloid mengandung bahan organik dan padatan yang sangat tinggi. Produksi 6,6 triliun kg CPO menghasilkan 16,5 triliun kg POME setiap tahunnya di Indonesia [21].

Tabel 2.5 Karakteristik POME [21].

Parameter	Unit	Range
pH	-	4-5
<i>Biological Oxygen Demand (BOD)</i>	mg/L	25,000-65,714
<i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	mg/L	44,300-102,696
Total solids (TS)	mg/L	40,500-72,058
<i>Suspended solids (SS)</i>	mg/L	18,000-46,011
<i>Volatile solids (VS)</i>	mg/L	34,000-49,300
<i>Oil and grease (OG)</i>	mg/L	4,000-9,341
<i>Ammoniacal nitrogen (NH³-N)</i>	mg/L	35-103
Total nitrogen (TN)	mg/L	750-770

Masalah pokok dari limbah cair pabrik minyak sawit atau POME adalah tingginya kadar COD. Adapun rata-rata kadar COD dalam limbah cair tersebut berkisar antara 45.000-103.000 mg/L. Sedangkan peraturan pemerintah mengenai baku mutu limbah cair untuk industri ini adalah Kepmen Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 tahun 1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri untuk industri kelapa sawit menyarankan nilai maksimum sebesar 500 mg/l dengan beban pencemaran maksimal 3.0 kg COD per ton produk minyak sawit. Jika limbah cair ini tidak dikelola dengan baik dengan treatment tertentu sebelum dikeluarkan dibuang ke lingkungan, tentu POME akan menjadi salah satu faktor yang menyebabkan pencemaran lingkungan pada badan air. Faktanya sebagian besar POME tidak diolah secara benar bahkan tidak diolah sama sekali.

Perusahaan pabrik kelapa sawit umumnya membuang POME langsung ke badan air. Akibatnya badan air menjadi coklat, sangat bau dan berlendir sehingga menyebabkan kematian ikan dan hewan akuatik lainnya. Disamping itu, air tidak bisa digunakan lagi untuk air baku, air minum, mandi dan pemancingan. Praktek aplikasi pembuangan POME langsung pada lahan sawit (*land application*) tidak direkomendasikan mengingat tingginya kandungan organik dan nutrien sehingga menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan penyerapan nutrien oleh tanaman sawit. Selain itu, aliran permukaan (*run off*) juga bisa menyebabkan pencemaran bagi sistem perairan. Untuk menangani hal ini, pengolahan limbah POME dapat dilakukan secara biologis dengan menggunakan sistem kolam *anaerobic* [21].



2.6.1 Temperatur

Temperatur POME penting untuk menentukan apakah diperlukan alat pendingin berkapasitas besar sebelum POME memasuki reaktor. Temperatur POME juga menentukan jenis proses dan jenis bakteri yang akan digunakan dalam reaktor. Temperatur POME biasanya memiliki hubungan dengan kadar COD, semakin tinggi temperature POME, semakin COD yang terkandung dalam POME.

2.6.2 Derajat Keasaman (pH)

Nilai pH adalah derajat keasaman (*asiditas*) atau alkalinitas aliran *effluent* POME. Bakteri yang digunakan pada reaktor memiliki kadar pH tertentu untuk tumbuh optimum. Bakteri asidogen baik tumbuh pada pH 6, dan bakteri asetogen dan metanogen baik tumbuh pada pH 7. Untuk itu seringkali limbah POME yang memiliki nilai pH awal 4- 5 harus dikondisikan pada pH dengan rentang 6,5-7,5 untuk mengakomodasi hal itu. Sistem *buffering* dengan menggunakan sodium bikarbonat, kapur, atau sodium hidroksida secara umum digunakan untuk mengatur pH POME sebelum masuk ke *reactor* [21].

2.6.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

COD merupakan ukuran mengenai banyaknya komponen organik di dalam aliran *effluent*. COD memiliki satuan mg/L merupakan gambaran dari berapa massa oksigen yang dibutuhkan per liter larutan yang diuji. Semakin tinggi COD yang terkandung dalam POME semakin banyak biogas yang dapat dihasilkan, setara dengan berapa besar kapasitas listrik yang mampu diproduksi. Nilai COD yang diharapkan adalah lebih besar dari 50.000 Mg/L [21].

2.6.4 Biological Oxygen Demand (BOD)

BOD merupakan ukuran seberapa besar oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh organisme biologis *anaerobik* untuk memecah material organik dalam larutan pada temperatur dan jangka waktu tertentu. BOD sama dengan COD juga menunjukkan seberapa besar biogas yang dapat dihasilkan dari proses *biological digestion* dalam reaktor. BOD membutuhkan waktu lama dalam pengujian, biasanya 5 hari inkubasi, daripada COD, sehingga data COD lebih sering dipakai sebagai ukuran kapasitas pabrik biogas yang akan dibuat [21].



2.6.5 Total Suspended Solids (TSS)

Dari keseluruhan total padatan yang terdapat pada aliran *effluent*, TSS adalah bagian padatan yang tertahan oleh filter. Kadar TSS menunjukkan berapa banyak *sludge* yang padatan yang tertahan oleh filter. Kadar TSS menunjukkan berapa banyak *sludge* yang menentukan ukuran reaktor. Nilai TSS yang diharapkan terkandung dalam POME adalah 30.000 – 40.000 Mg/L [21].

2.6.6 Volatile Suspended Solids (VSS)

Nilai VSS menunjukkan bahan padatan organik yang teruapkan di bawah suhu 500°C. Banyaknya VSS juga terkait dengan TSS menentukan ukuran dalamnya reaktor yang diperlukan. Nilai rasio VSS/TSS yang diharapkan berkisar sekitar 80% [21].

2.6.7 Fat, Oil, and Grease (FOG)

Nilai FOG menunjukkan kadar minyak yang terkandung dalam POME. Sebaiknya nilai FOG yang terdapat dalam POME tidak terlalu tinggi karena menyulitkan untuk proses pemisahannya sebelum memasuki proses digester. Nilai FOG menentukan di titik mana aliran POME akan diambil dari PKS. Nilai FOG yang diharapkan sebaiknya di bawah 10.000 mg/L [21].

2.6.8 Total Nitrogen

Total nitrogen menunjukkan seberapa banyak kandungan nitrogen dalam POME. Nitrogen adalah salah satu nutrient utama yang dibutuhkan oleh bakteri *anaerobik* dalam reaktor. Selain data-data mengenai karakteristik POME [21].

2.7 Konversi Energi Biogas dan Pemanfaatannya

Potensi biogas yang dihasilkan dari 1 ton POME sebesar 27.22 m³ dan di dalamnya 60% -nya merupakan gas metana [20].

Table 2.6 Dasar Asumsi Konversi Biogas ke Lisrik [20].

No	Description	Value
1	Electricity Output (kW/m ³ of CH ₄)	3,30
2	Biogas Generated (m ³ /Tonne POME)	27,22
3	CH ₄ Generated (m ³ / m ³ Biogas)	0,60
4	CH ₄ Generated (m ³ /Tonne POME)	16,33
5	Potential electricity output (kW/ Tonne ofPOME)	53,89

Berdasarkan rasio perhitungan diatas didapatkan 1 ton POME dapat menghasilkan listrik sebesar 53,89 kW. Selanjutnya dilakukan perhitungan parameter input yang menghitung besarnya POME yang dihasilkan per hari oleh PKS berdasarkan kapasitas pabrik serta jam kerja untuk memperoleh berapa listrik yang mampu dihasilkan dalam 1 jam [20].

2.7.1 Konversi Energi Biogas Untuk Ketenagalistrikan

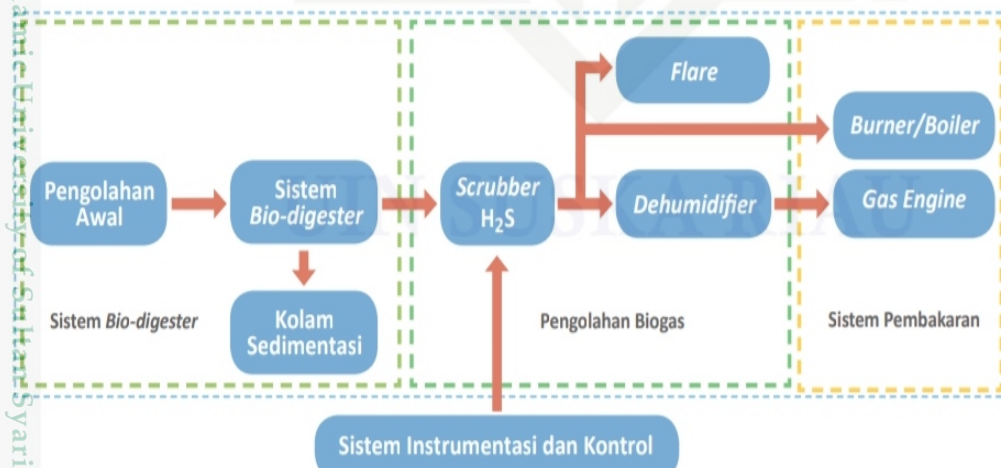
Konversi biogas untuk pembangkitan tenaga listrik dapat dilakukan dengan menggunakan *gas turbine*, *microturbines*, dan *Ottocycle engine*. Pemilihan teknologi ini sangat dipengaruhi oleh potensi biogas yang ada seperti konsentrasi gas metan maupun tekanan biogas, kebutuhan beban dan ketersediaan dana yang ada [20].

Tabel 2.7 Konversi Energi Gas Metan Menjadi Energi Listrik [20].

No	Jenis	Setara Energi
1	1 Kg Gas Metana	$6,13 \times 10^7$
2	1 kWh	$3,6 \times 10^6$
3	1 m ³ Gas Metana	$4,0213 \times 10^7$
4	1 m ³ Gas Metana	11,17 kWh

2.7.2 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Biogas

Bagian utama dari suatu fasilitas komersial konversi POME menjadi biogas ditunjukkan pada gambar 2.2. Setiap komponen dalam gambar akan dibahas pada bagian selanjutnya [5].



Gambar 2.3. Diagram Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBG) [5].

a. Sistem Bio-Digester

Sistem *biodigester* terdiri dari proses pengolahan awal, *biodigester*, dan kolam sedimentasi. Dalam proses pengolahan awal, POME dikondisikan untuk mencapai nilai-nilai parameter yang dibutuhkan untuk masuk ke *digester*. Pada tahap ini, dilakukan proses penyaringan untuk menghilangkan partikel besar seperti kotoran atau serat. Proses pengadukan dan netralisasi pH dilakukan untuk mencapai pH optimal pada 6,5-7,5[5].



Gambar 2.4. Kolam Tertutup [5].

b. *Scrubber Hidrogen Sulfida (H₂S)*

Untuk digunakan menjadi bahan bakar pembangkit listrik, maka proses pencucian menjadi sesuatu yang sangat penting. Untuk menjaga umur komponen pembangkit harus dirangkan atau dimurnikan 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 [5].

Mencegah korosi

Menghindari keracunan H₂S (maksimum yang diperbolehkan adalah 5 ppm)

Mencegah kandungan sulfur dalam biogas, yang jika terbakar akan menjadi SO₂ atau SO₃, yang lebih berbahaya dari pada H₂S.

Mengurangi SO₂ yang terbawa oleh gas buang biogas sehingga dapat mengurangi titik embun dalam cerobong.



Sebelum biogas dapat menghasilkan daya listrik, *screw scrubber hydrogen sulfide* digunakan untuk menurunkan konsentrasi H₂S ke tingkat yang disyaratkan oleh *gas engine*, biasanya di bawah 200 ppm [5].



Gambar 2.5 *Screw scrubber* H₂S [5].

C. *Dehumidifier* Biogas

Dehumidifier dalam bentuk *dryer*, *chiller* atau *cyclone* berfungsi untuk mengurangi kadar air dalam biogas yang akan dialirkan kedalam *gas engine*. Hal ini membantu mengoptimalkan proses pembakaran pada mesin, mencegah pengembunan dan melindungi mesin dari pembentukan asam[5].



Gambar 2.6. *Dehumidifier* Biogas [5].

d. *Gas engine*

Gas engine sama 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 didalam 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. 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.
2. Kontainer kedap suara yang dapat mengurangi polusi suara/kebisingan sehingga tidak membutuhkan ruangan tertutup dan dapat ditempatkan diluar ruangan, serta dapat beroperasi dengan normal tanpa membuat kebisingan.
3. Di dalam mesin ini knalpot sudah menjadi satu bagian dengan mesin, sehingga tidak membutuhkan biaya untuk membeli knalpot sebagai sistem pembuang 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 Jenbacher J320 GS dapat membangkitkan listrik dengan menggunakan gas yang mengandung CH₄, CO₂ dan Nitrogen, seta O₂. Penggunaan gas dapat digunakan tanpa dilakukan pemurnian terlebih dahulu, namun harus memiliki kandungan mentana sekitar 27-60%, atau sekitar 600m³/jam untuk dapat menghasilkan listrik sebesar 1 MW. Adapun model Jenbacher J320 GS seperti gambar dibawah ini [5].



Gambar 2.7 Gas Engine [5].

Adapun spesifikasi dari gas engine type J320 GS sebagai berikut :

Tabel 2.8 Spesifikasi Gas Engine

No	Modul Data	Besaran	Satuan
1	Electrical Output	1.063	kWe
2	Recoverable Thermal Output	1.103	kW
3	Energy Input	2.606	kW

4	Fuel Consumption Base on A LHV of 4,5kWh/Nm ³	579	Nm ³ /h
5	Electrical Efficiency	40,8	%
6	Thermal Efficiency	42,2	%
7	Total Efficiency	83,1	%

e. Burner dan Boiler

Biogas yang dihasilkan dari proses penguraian *anaerobic* dapat menjadi bahan bakar boiler. *Burner biogas* biasanya dipasang pada dinding boiler. Biogas merupakan bahan bakar alternatif bagi boiler untuk menghasilkan panas atau listrik menggantikan bahan bakar biomassa, seperti, cangkang, dan serat, yang biasa digunakan di pabrik kelapa sawit[5].



Gambar 2.8 *Burner Biogas*[5].

f. Flare Biogas

Flare biogas digunakan di industri proses atau pabrik untuk membakar kelebihan gas. Dengan alasan keamanan, pembangkit listrik tenaga biogas harus memasang *flare* untuk membakar kelebihan biogas terutama pada saat biogas tidak dapat di umpankan ke *gas engine* ataupun peralatan pembakaran lainnya. Kelebihan produksi biogas mengakibatkan laju alir biogas melebihi batas maksimum biogas yang dapat masuk kedalam *gas engine*. *Flare* juga dapat digunakan pada saat *gas engine* tidak beroperasi atau dalam 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 [5].



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

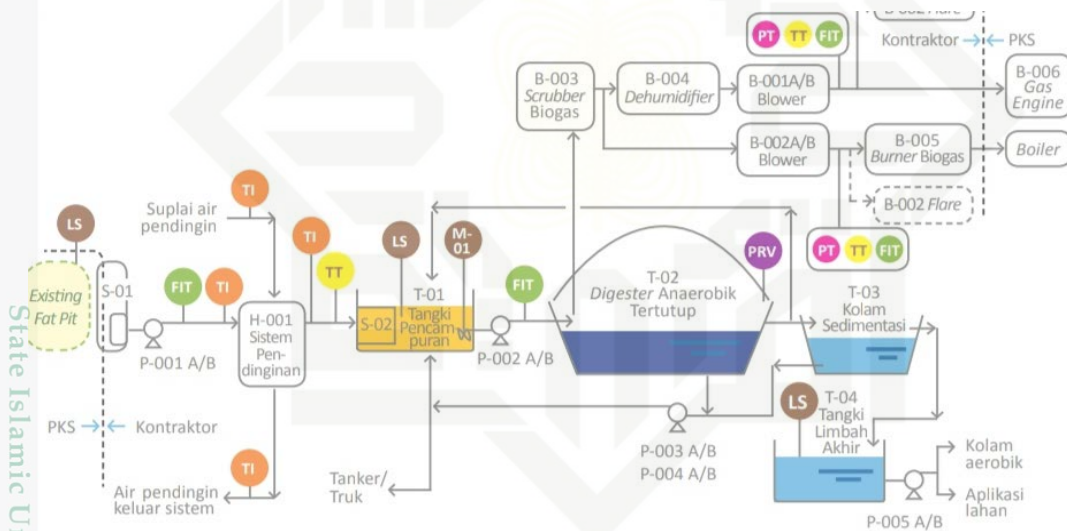
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.9 Flare [5].

Sistem Instrumentasi dan Kontrol

Operator menggunakan sistem instrumentasi dan kontrol untuk memantau parameter seperti suhu pH, aliran cairan gas, serta tekanan gas. Sistem control juga digunakan untuk menghentikan sitem secara manual maupun otomatis saat kondisi tidak aman [5].



Gambar. 2.10. Diagram Alir Proses Konversi POME Menjadi Energi [5].

2.8 Digester Biogas

2.8.1 Jenis – Jenis Digester

Digester anaerobic adalah unsur utama untuk proses anaerobic digestion. Bahan kering/Dry Matter (DM) konten dimasukkan ke digester, proses fermentasi dapat diklasifikasikan, sebagai pencernaan basah atau kering. Isi DM dari bahan baku merupakan faktor yang relevan ketika memilih teknologi anaerobic digestion karena itu menentukan desain digester dan jenis digester [22].

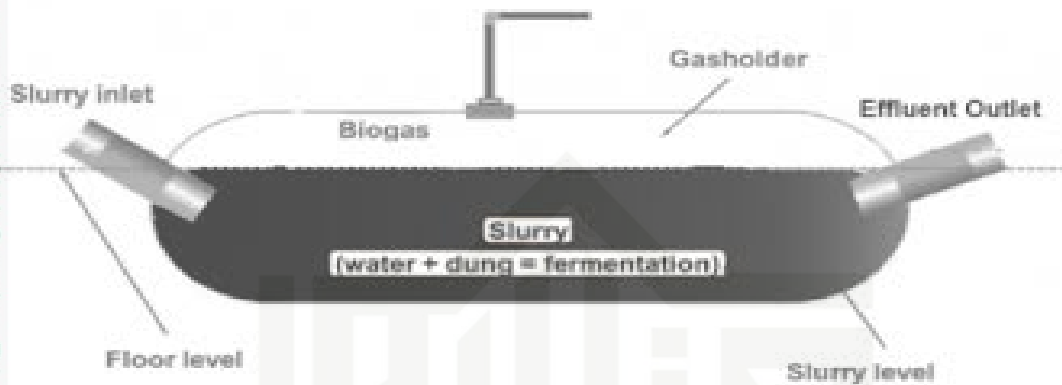
Dry anaerobic cocok untuk bahan baku dengan nilai bahan kering > 25%. Kadang-kadang, istilah pencernaan setengah kering disebut untuk konten *Dry Matter* (DM) di kisaran 15 sampai 20% [20]. Sistem umum untuk DM memiliki volume digester kecil dibandingkan dengan digester basah. Teknologi ini biasanya tidak perlu pengadukan atau pencampuran selama proses pencernaan sehingga biaya operasional rendah dan biaya rendah teknologi mekanik. Namun, biaya pemeliharaan yang tinggi dan proses ini mengkonsumsi energi. Bahan baku untuk pencernaan kering umumnya sampah kebun, limbah rumah tangga, dan lain-lain. Di sisi lain, teknologi pencernaan basah cocok untuk mengobati bahan baku seperti bubur dan lumpur limbah yang memiliki kandungan bahan kering lebih rendah dari 15% [20].

Cara lain untuk mengklasifikasikan teknologi *anaerobic digestion* adalah dengan cara pemberian makannya. Teknologi dapat terus menerus atau *batch*. Proses ini terus menerus ketika biomassa baru ditambahkan ke digester dan jumlah yang sama *digestater* meninggalkan sistem. Dalam modus operasi, bahan limbah dipindahkan melalui digester oleh tekanan mekanis atau tekanan dari bahan baku. digester terus menerus umumnya cocok untuk pencernaan basah. Dalam kasus digester *batch*, bahan baku adalah makan sekali pada suatu waktu bahan baku yang tersisa di dalam digester sampai proses *anaerobic digestion* telah selesai untuk kemudian dihapus. Teknologi ini memiliki struktur yang lebih sederhana dibandingkan dengan digester terus menerus dan sangat cocok untuk pencernaan kering atau gabungan pencernaan kering-basah untuk bahan baku *stackable* [20].

a. *Plug Flow Bag Digester*

Teknologi ini juga dikenal sebagai tubular plastik digester. Sangat mudah untuk menerapkannya, murah, dan teknologi secara luas terkenal di daerah pedesaan. *Digester Tubular* juga telah diadaptasi untuk daerah pegunungan dengan suhu rendah dan kondisi ekstrim. Digester tubular mudah menyesuaikan dengan lingkungan dan ketersediaan sumber [26]. Bahan yang umum digunakan untuk membangun *digester tubular* adalah *polyethylene*, tetapi juga (*geo-membran*) HDPE (*High Density Polyetheine*) mulai digunakan. Digester HDPE lebih mahal dibandingkan *polyethylene* biasa, tetapi mereka memiliki waktu hidup yang lebih lama 20 hingga 30 tahun. Digester terdiri dari tas *tubular* melalui mana lumpur mengalir dari *inlet* ke *outlet*. Biogas yang dikumpulkan di bagian atas digester dengan pipa gas terhubung ke *reservoir*. Biogas melewati dari *reservoir* ke tujuan akhir mereka, misalnya dapur [21].

Teknologi ini tidak dihitung dengan sistem pemanas atau pencampuran. Tekanan gas dari digester dapat diatur dengan menempatkan beban pada tas digester ini. Namun, ini harus dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari kerusakan digester *tubular* yang rapuh dan karena itu perlu perlindungan dari radiasi matahari dan hewan. Rentang hidup dari digester ini bervariasi dari 2 sampai 5 tahun tergantung pada praktik pemeliharaan [21].



Gambar 2.11 *Digester Tubular*

Dilokasi ketinggian yang tinggi dan suhu rendah, perlu untuk melindungi digester untuk meminimalkan *fluktuasi* suhu pada malam hari. Untuk tujuan ini, digester plastik *tubular* dimakamkan diparit dan ditutup dengan rumah kaca. Umumnya, lama waktu retensi hidrolis dari 10 sampai 20 hari dibutuhkan untuk kondisi ini di daerah pegunungan yang dingin. Selanjutnya, volume bio-digester untuk kondisi dingin perlu lebih besar dibandingkan dari digester dilaksanakan di iklim yang hangat [23].

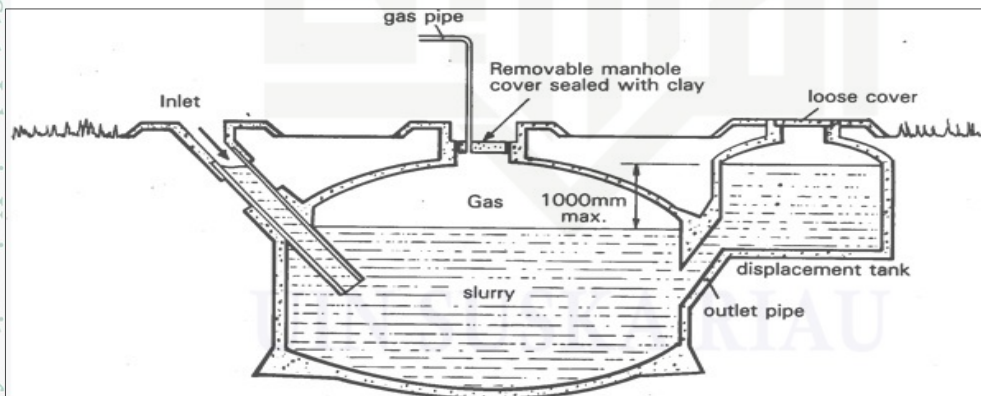
Tabel 2.9 Kelebihan dan Kekurangan dari digester *Chines fixed dome* [21]



Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> •Biaya investasi yang rendah untuk •Mudah beradaptasi dengan cuaca dan daerah batuan dasar karena penggunaan atap •Kapasitas volume bisa disesuaikan Kecil hingga besar •Mudah dan cepat untuk menginstal 	<ul style="list-style-type: none"> •Membutuhkan perlindungan eksternal • Untuk menghindari kecelakaan yang dapat merusak digester •Membutuhkan reservoir gas eksternal •Mudah untuk istirahat/berhenti dan sulit Untuk memperbaiki. •Investasi besar untuk volume yang besar

b. *Chinese Fixed Dome Digester*

Digester fixed dome atau kubah tetap memiliki struktur terletak dibawah tanah dan beroperasi dalam model setengah kontinyu, misalnya selain bahan baku sekali per hari. Struktur mencakup bagian yang bergerak dan pembangunan bahan yang umum terdiri dari batu bata dan semen. Teknologi ini tidak memiliki sistem pencampuran dan untuk alasan ini itu perlu untuk menghilangkan padatan semen yang di tangguhkan dari 2 sampai 3 kali pertahun. Gambar dari 2.12 menunjukan diagram digester.



Gambar 2.12 *Chinese fix dome digester*

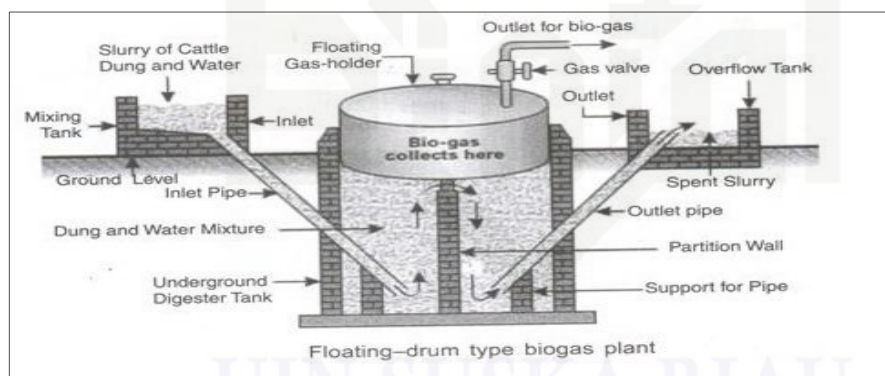
Dalam jenis digester ini, bahan baku dimasukkan dalam tangki pencampuran untuk kemudian lolos keruang pencernaan. Tempat penyimpanan biogas dibagian atas (kubah) dari digester. Ketika gas telah diproduksi, bubur/*slurry* diarahkan ke tangki perpindahan. Bubur kembali keruang digester setelah gas yang dikonsumsi. Gerakan-gerakan ini dalam bubur menciptakan pencampuran pergerakan substrat. Desain digester ini membuatnya cocok

untuk suhu dingin, karena struktur bawah tanah dan oleh karena itu memiliki sistem isolasi untuk menjaga suhu didalam digester [21].

Kelebihan dari digester *chinese fix dome* yaitu, biaya investasi yang rendah, waktu hidup sekitar 20 tahun, sistem insulasi baik, tidak ada ruang dangkal yang diperlukan karena struktur bawah tanah, tekanan gas baik, pencampuran substrat dalam digester menghindari akumulasi besar padatan di bawah digester ini, serta teknologi ini yang diterapkan di beberapa bagian dunia. Kekurangan dari digester jenis ini adalah, sulit untuk dibangun khususnya di daerah batuan dasar, keterampilan teknis tinggi yang diperlukan untuk pembangunan untuk menghindari kegagalan struktural karena kebocoran gas, kurangnya teknis program training menjadi biaya tambahan, serta tingginya biaya bahan transportasi [21].

C. Indian Floating Drum Digester

Di India *floating drum digester*, desain mirip dengan digester *chinese fix dome* tetapi memiliki perbedaan memiliki fungsi wadah gas terapung untuk mengumpulkan biogas. Sistem ini telah diterapkan untuk mengolah limbah makanan di India dan China. Struktur digester terdiri atas tangki pencampuran (digester beton) dengan dua kamar. Ruang-ruang dibagi oleh dinding partisi tetapi terhubung satu sama lain di bagian atas digester. Digester ini juga memiliki drum *stainless* silinder atau pemegang gas, dan tangki stopkontak melalui mana bubuk/ *slurry* meninggalkan sistem [26].



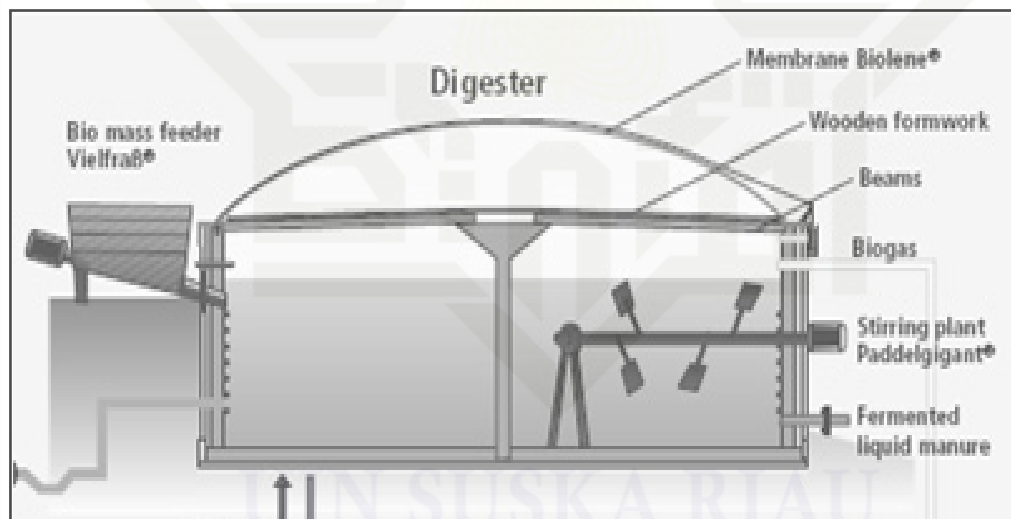
Gambar 2.13. Indian folating drum digester [26].

Biaya teknologi ini lebih tinggi dibandingkan dengan digester kubah Cina karena baja drum terapung [26]. Pemeliharaan rutin digester diperlukan pada lapisan penutup drum terapung harus dilakukan sekali per tahun untuk menghindari karat. Apabila dilakukan perawatan secara teratur digester dapat bertahan antara 3-5 tahun di daerah lembab atau 8-12 tahun di lokasi kering [21].

Tabel 2.10 Kelebihan dan Kekurangan dari digester *Indian floating drum* [21]

Kelebihan	Kekurangan
<ol style="list-style-type: none"> 1. Waktu Hidup sekitar 15 tahun. 2. Tekanan konstan gas karena berat gendang 3. Teknologi yang diterapkan di beberapa bagian dunia 4. Kesalahan selama construction digester tidak mewakili masalah besar dalam operasi dan hasil gas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sulit untuk membangun khusus di daerah batuan dasar 2. Keterampilan teknis tinggi diperlukan untuk konstruksi 3. Teknologi Mahal dibandingkan digester tubular 4. Pemeliharaan berkelanjutan diperlukan untuk menghindari kerusakan di drum terapung

Digester *Complete-Mix* ini mampu mengolah fraksi organik MSW (*Municipal Solid Waste*), limbah pertanian dan limbah makanan. Teknologi ini menghitung dengan sistem terintegrasi untuk memanaskan dinding dan lantai dari digester mana proses AD dilakukan di bawah suhu mesofilik (kira-kira 38°C). Digester yang dibangun dengan beton bertulang untuk menghindari kebocoran dari biogas [21]



Gambar 2.11 *Compleat-Mix Digeste* [21]

Proses fermentasi dalam digester ini minimal 17 hari dan maksimal 35 hari. Tergantung dari jenis teknologi pengaturan suhu yang digunakan. Digester ini memerlukan alat pengadukan untuk membuat semua bahan tercampur secara merata [21].

Tabel 2.11 Kelebihan dan Kekurangan dari *Complete-Mix Digester*

Kelebihan	Kekurangan
<ol style="list-style-type: none"> 1. Waktu Hidup sekitar 30 tahun. 2. Tekanan konstan gas 3. Suhu konstan di dalam digester 4. Perusahaan pemasok memberikan training dari personil 5. Kontrol yang lebih baik dari proses <i>anaerobic digestion</i> 6. Memiliki konstruksi yang kokoh 7. Mudah Berdaptasi dengan lingkungan 8. Kapasitas volume yang lebih besar 9. Teknologi yang diterapkan di beberapa bagian dunia 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Biaya investasi tinggi. 2. Teknologi belum teruji di Indonesia.

2.8.2 Komponen Utama Digester

Komponen–komponen digester cukup banyak dan bervariasi. Komponen yang digunakan untuk membuat digester tergantung dari jenis digester yang digunakan dan tujuan pembangunan digester [21]. Secara umum komponen digester terdiri dari empat komponen utama sebagai berikut:

1. Saluran masuk *slurry* (bahan organik)

Saluran ini digunakan untuk memasukkan *slurry* (campuran sampah organik dan air) kedalam reaktor utama biogas. Tujuan pencampuran adalah untuk memaksimalkan produksi biogas, memudahkan mengalirkan bahan baku dan menghindari endapan pada saluran masuk.

2. Ruang *digestion* (ruang fermentasi)

Ruang *digestion* berfungsi sebagai tempat terjadinya fermentasi anaerobik dan dibuat kedap udara. Ruang ini dapat juga dilengkapi dengan penampung biogas.

3. Saluran keluar residu (*sludge*)

Fungsi saluran ini adalah untuk mengeluarkan kotoran (*sludge*) yang telah mengalami fermentasi *anaerobik* oleh bakteri. Saluran ini berkerja berdasarkan



prinsip kesetimbangan hidrostatik. Residu yang keluar pertama kali merupakan *slurry* masukan yang pertama setelah waktu retensi. *Slurry* yang keluar sangat baik untuk pupuk karena mengandung kadar nutrisi yang tinggi.

4. Tangki penyimpanan biogas

Tujuan dari tangki penyimpanan biogas adalah untuk menyimpan biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi *anaerobik*. Jenis tangki penyimpanan biogas ada dua, yaitu tangki bersatu dengan unit reaktor (*fixed dome*) dan terpisah dengan reaktor (*floatated dome*). Untuk tangki terpisah, konstruksi dibuat khusus sehingga tidak bocor dan tekanan yang dihasilkan dalam tangki seragam.

2.6.3 Komponen Pendukung Digester

Selain empat komponen utama tersebut pada sebuah digester perlu ditambahkan beberapa komponen pendukung untuk menghasilkan biogas dalam jumlah banyak dan aman. Beberapa komponen pendukung digester adalah :

1. Katup pengaman tekanan (*control valve*)

Fungsi dari katup pengaman adalah sebagai pengaman digester dari lonjakan tekanan biogas yang berlebihan. Bila tekanan dalam tabung penampung biogaslanjutnya tekanan dalam digester akan berkurang kembali. Pengaturan tekanan ini sangat penting dalam reaktor biogas, karena reaktor biogas pada umumnya dirancang dengan material yang bertekanan tinggi. Semakin tinggi tekanan didalam digester, semakin rendah produksi biogas didalam digester terutama pada proses hidrolisis dan pengasaman. Tekanan dalam digester selalu di pertahankan diantara 1,15–1,2 bar [22].

2. Sistem pengaduk

Pada sistem digester yang besar sistem pengaduk menjadi sangat penting, tujuan dari pengadukan adalah untuk menjaga material padat tidak mengendap pada dasar digester. Pengadukan sangat bermanfaat untuk memberikan peluang agar material tetap bercampur dengan bakteri dan temperatur terjaga merata keseluruhan bagian. Dengan pengadukan potensi material mengendap didasar semakin kecil, konsentrasi merata memberikan kemungkinan seluruh material mengalami proses fermentasi secara merata. Selain itu dengan pengadukan dapat mempermudah pelepasan gas



yang dihasilkan oleh bakteri menuju kebagian penampung biogas pengadukan dapat dilakukan dengan [22].

a. Pengadukan mekanis, yaitu dengan menggunakan poros yang dibawahnya terdapat semacam baling-baling dan digerakkan dengan motor listrik.

b. Mensirkulasi bahan dalam digester dengan menggunakan pompa dan dialirkan kembali melalui bagian atas digester. Pada saat melakukan proses pengadukan sebaiknya dilakukan dengan pelan. Sebagaimana diketahui tumbuhnya bakteri membutuhkan media yang cocok. Media yang cocok sendiri terbentuk dari bahan organik secara alami dan membutuhkan waktu tertentu sehingga pengadukan yang terlalu cepat dapat membuat proses fermentasi anaerobik justru terhambat

c. Saluran biogas

Tujuan dari saluran biogas adalah untuk mengalirkan biogas yang dihasilkan digester. Bahan untuk saluran biogas terbuat dari polimer untuk menghindari korosi.

2.9 Analisis Teknis

2.9.1 Analisis Perhitungan Potensi Pembangkit Tenaga Biogas (PLTBg).

Perhitungan potensi pembangkitan energi dari biogas dapat dilakukan dengan menggunakan nilai dari beberapa parameter penting. Seperti pada Tabel 2.12 berikut dengan menguraikan parameter input yang harus diidentifikasi.

Tabel 2.12. Menghitung Potensi Energi Listrik dari POME [5]

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

Tabel 2.13. Asumsi dalam Menghitung Potensi Daya [5].

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Keterangan
Rasio konversi CH ₄ terhadap COD	CH ₄ /COD	0,35	m ³ CH ₄ /kg COD removed	Volume metana yang dihasilkan per kg COD yang dihilangkan dari air limbah secara teoritis
Efisiensi COD removal	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 gas engine dalam mengkonversi nilai energi metana menjadi energi listrik

Berdasarkan karakteristik limbah cair PKS dan asumsi yang tercantum di atas, dapat dilakukan perhitungan potensi daya melalui persamaan [5]. Persamaan tersebut adalah :

$$\text{Bahan baku harian} \left(\text{ton} \frac{\text{TBS}}{\text{hari}} \right) = \frac{\text{TBS olah tahunan}}{\text{Hari operasi dalam setahun}} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\text{Aliran limbah cair harian} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) = \text{Bahan baku} \times \text{rasio POME} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\text{COD loading} = \text{COD} \times \text{Aliran limbah cair harian} \times \frac{\text{kg}}{1.000.000 \text{ mg}} \times \frac{1.000 \text{ L}}{\text{m}^3} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\text{Produksi CH}_4 = \text{COD loading} \times \text{COD}_{\text{eff}} \times \frac{\text{CH}_4}{\text{COD}} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\text{Kapasitas pembangkitan} = \frac{\text{Produksi CH}_4 \times \text{CH}_{4, \text{ev}} \times \text{Gen}_{\text{eff}}}{24 \times 60 \times 60} \dots\dots\dots(2.5)$$

1. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang. 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak cipta dilindungi Undang-Undang. UIN Suska Riau. State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Dimana:

Bahan baku harian	: Produksi perhari (ton TBS/hari)
Aliran limbah cair harian	: Limbah cair yang dihasilkan (m^3 /hari)
COD loading	: Kandungan COD (kg COD/hari)
Produksi CH_4	: CH_4 yang dihasilkan dari COD (Nm^3CH_4 /hari)
Kapasitas pembangkit	: (MW)
Rasio POME	: Rasio volume POME yang di hasilkan per TBS yang diolah

2.9.2 Perhitungan Digester

2.9.2.1 Menentukan Jenis Digester

Menentukan jenis digester ini dilakukan agar mendapatkan teknologi digester yang sesuai dan mampu berkerja secara maksimal dalam menghasilkan biogas. Dengan membandingkan dan menyesuaikan dengan keadaan yang ada di lingkungan sekitar digester akan dibangun. Beberapa hal yang akan dibandingkan dari beberapa jenis digester ialah *life time*, biaya investasi, pengetahuan teknis dan keterampilan dan struktur fisik. Pilihan jenis teknologi yang akan dievaluasi yaitu, *tubular digester*, *chinese fix dome digester*, *indian folating drum digester* [33].

Dalam pemilihan jenis digester terdapat beberapa metode yang dijelaskan pada bagian dibawah ini.

a. *Multy Criteria Analysis (MCA)*

Analisis multikriteria menggambarkan setiap pendekatan terstruktur yang digunakan untuk menentukan preferensi keseluruhan antara alternatif pilihan, dimana pilihan mencapai beberapa tujuan, tujuan yang diinginkan ditentukan dan atribut yang sesuai atau indikator diidentifikasi. Analisis multikriteria memberikan teknik untuk membandingkan dan peringkat hasil yang berbeda, meskipun berbagai indikator digunakan. Analisis multikriteria atau pengambilan keputusan multi objektif adalah jenis alat analisis keputusan yang terutama berlaku untuk kasus-kasus dimana pendekatan single-kriteria. Analisis multi kriteria memungkinkan pengambil keputusan untuk memasukkan berbagai kriteria sosial, lingkungan, teknis, ekonomi, dan keuangan [22].

b. *Direct Rating*

Direct rating (penentuan peringkat langsung) dilakukan untuk mengevaluasi suatu produk atau jasa untuk mendapatkan penilaian. Penilaian yang digunakan pada metode *direct rating* ini ialah berdasarkan kriteria yang dimiliki dari produk atau jasa



tersebut. Biasanya beberapa kriteria akan dievaluasi dan dibandingkan dengan produk atau jasa lainnya untuk mendapatkan peringkat. Peringkat yang diberikan secara langsung berdasarkan kelebihan dari setiap kriteria pada produk atau jasa tersebut. Semakin tinggi peringkat yang diperoleh sebuah produk atau jasa tersebut maka semakin tinggi pula kemungkinan produk atau jasa tersebut efektif [22].

2.9.2.2 Ukuran Digester

Untuk menghitung volume digester yang perlu diperhatikan adalah tipe digester, volume limbah harian, waktu retensi/digestifikasi, dan volume biogas dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{COD loading} = \text{COD} \times \text{Aliran limbah cair harian} \times \frac{\text{kg}}{1.000.000 \text{ mg}} \times \frac{1.000 \text{ L}}{\text{m}^3} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\text{Produksi CH}_4 = \text{COD loading} \times \text{COD}_{\text{eff}} \times \frac{\text{CH}_4}{\text{COD}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Digester yang akan digunakan adalah tipe *chines fixed dome*. Waktu digestifikasi atau retensi tergantung pada temperatur lingkungan dan temperatur digester. Dengan kondisi tropis seperti di Indonesia, pada suhu 25 – 35⁰C, waktu digestifikasi kira-kira 3 – 5 hari [21].

Untuk ukuran digester (V) 7000 m³, dengan meninjau kembali asumsi persamaan geometrikal pada table 2.9 , diperoleh:

$$V_{\text{gs}} + V_{\text{f}} = 80\% \times V \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

V = Volume kinerja Digester

V_f = Waktu digestifikasi × Bahan organik harian

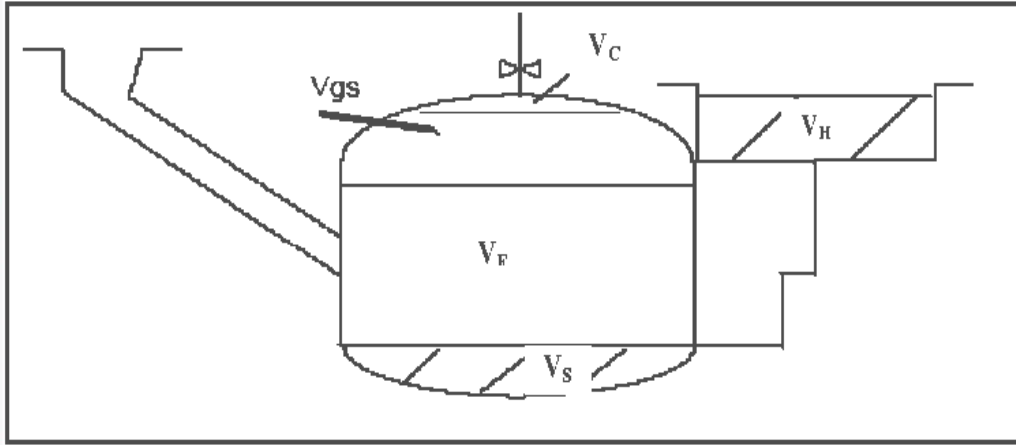
V_{gs} = 1,7× Volume Biogas

Untuk ukuran digester (V) 7000 m³, dengan meninjau kembali asumsi persamaan geometrikal pada table 2.9 , diperoleh:

$$\text{Jumlah digester} = \frac{\text{Volume m}^3}{\text{Ukuran m}^3} = 3 \text{ Buah digester} \dots\dots\dots (2.9)$$

2.9.2.3 Menghitung Volume Bagian – Bagian Digester

Ukuran tangki digester biogas tergantung dari jumlah, kualitas dan jenis limbah organik yang tersedia dan temperatur saat proses fermentasi anaerob. Di bawah ini gambar bentuk penampang silender digester anaerob (*Cylindrical Shaped Bio-Gas Digester Body*) dengan penjelasan sebagai berikut :



Gambar 2.15. Penampang Digester Biogas Silinder [33].

Keterangan :

- V_c : Volume Ruangan penampungan gas (*gas collecting chamber*)
- V_{gs} : Volume Ruangan Penyimpanan Gas (*gas storage chamber*)
- V_f : Volume Ruangan Fermentasi (*fermentation chamber*)
- V_H : Volume Ruangan Hidrolik (*hydraulic chamber*)
- V_s : Volum lapisan penampungan lumpur (*sludge layer*)

Total volume digester $V = V_c + V_{gs} + V_f + V_s$(2.10)

V_c (Volume ruangan penampungan gas)(2.11)

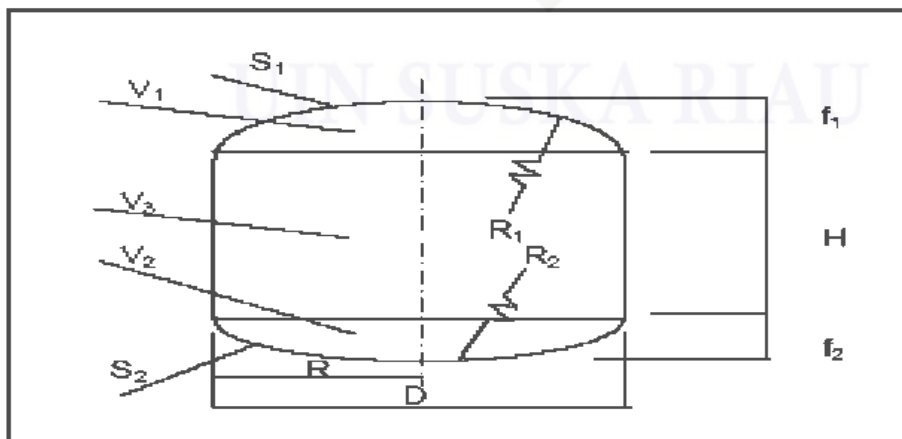
V_s (Volume lapisan Penampung Lumpur)(2.12)

Volume ruangan penyimpanan gas (V_{gs}).....(2.13)

Volume ruang fermentasi (V_f).....(2.14)

V_H (Volume ruangan hidrolik).....(2.15)

Untuk mendesain tangki digester biogas, dapat dilihat pada gambar dimensi geometrikal tangki digester di bawah ini:



Gambar 2.12 Dimensi Geometrikal Tangki Digester [33]



Berdasarkan gambar 2.16 dimensi geometrikal tangki digester berlaku ketentuan bentuk geometrikal ruangan-ruangan digester sebagai berikut :

Tabel 2.14 Dimensi Geometrika Ukuran Tangki Digester Silinder [33].

Isi	Dimensi Geometrikal
$V_c \leq 5\% V$ $V_s \leq 15\% V$ $V_{gs} + V_f = 80\% V$ $V_{gs} = V_H$ $V_{gs} = 0.5 (V_{gs} + V_f + V_s) K$	$D = 1.3078 \times V^{1/3}$ $V_1 = 0.0827 D^3$ $V_2 = 0.05011 D^3$ $V_3 = 0.3142 D^3$ $R_1 = 0.725 D$ $R_2 = 1.0625 D$ $f_1 = D/5$ $f_2 = D/8$ $S_1 = 0.911 D^2$ $S_2 = 0.8345 D^2$

2.9.2.4 Menghitung Dimensi Geometrikal Digester

Setelah menghitung ukuran volume bagian bagian digester, maka dapat ditentukan ukuran digester secara dimensi geometrical. Berdasarkan persamaan pada tabel 2.12 diatas diperoleh:

- a. Menghitung diameter digester (D) [33]

$$D = 1,3078 \times V^{1/3} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

- D : Diameter Digester
- V :Volume digester yang ditentukan

- b. Menghitung tinggi efektif digester (H) [33]

Dengan melakukan pendekatan volume tabung

$$V \text{ tabung} = \frac{1}{4} \pi D^2 H \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

- D :Diameter digester (m).
- V : volume Digester yang ditentukan

1. Hak Cipta dilindungi Undang-Undang
 2. Dilarang menyalin sebagian atau seluruh karya tulis ini 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. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.9.3 Perhitungan Pemurnian Biogas

Pemurnian biogas mempunyai berbagai metode yang digunakan di suatu industri, pemilihan teknologi ini berdasarkan tingkat kemurnian dan harga, berikut jenis-jenis teknologi pemurnian biogas [34]. :

1. Pemurnian biogas menggunakan *water scrubber (ws)*.

Pemurnian biogas menggunakan *water scrubbing* berdasarkan proses absorpsi fisis. Pemurnian ini dilakukan dengan prinsip kontak gas-cair secara arus berlawanan pada suhu lingkungan dan tekanan 8 bar. Gas CO₂ dan H₂S terlarut terikut di dalam cairan absorben melalui aliran bawah kolom. Hal ini disebabkan gas CO₂ dan H₂S lebih *soluble* dibanding gas CH₄ di dalam air. Air yang mengandung CO₂ dan H₂S kemudian diregenerasi ke dalam kolom *stripper* [34].

Tabel 2.15 Dimensi *Absorber* dan *Stripper* Pemurnian Biogas *Water Scrubbe* [34].

Kapasitas (ton/hari)	Jumlah Biogas (m ³ /hari)	<i>Absorber</i>	<i>Stripper</i>
4	300	D = 5,70 cm H = 1,52 m	D = 12,42 cm H = 0,91 m
20	1.500	D = 12,73 cm H = 3,05 m	D = 27,78 cm H = 1,67 m
100	7.500	D = 28,42 cm H = 5,68 m	D = 62,11 cm H = 3,21 m
500	37.500	D = 63,62 cm H = 11,45 m	D = 138 cm H = 5,56 m
2.500	187.500	D = 100,42 cm H = 22,72 m	D = 300 cm H = 12,40 m

2. Pemurnian biogas menggunakan MEA atau DEA

Pemurnian biogas menggunakan prinsip *Chemical Absorption* melibatkan reaksi kimia antara gas dan cairan absorben. Absorben yang umum digunakan adalah amina seperti *mono-ethanolamin* (MEA), *di-ethanolamin* (DEA), *metil di-ethanolamin* (MDEA) serta senyawa alkali seperti sodium, potassium dan kalsium hidroksida. Alasan pemilihan MEA dan DEA adalah kondisi proses yang dapat dilakukan pada suhu lingkungan dan tekanan 1 bar, namun untuk proses regenerasi absorben, proses membutuhkan panas hingga suhu 90-120°C. Hal ini sangat menguntungkan saat aplikasi di lapangan untuk skala kecil [34].



Tabel 2.16 Dimensi *Absorber* dan Kolom Regenerasi Pemurnian Biogas MEA [34].

Kapasitas (ton/hari)	Jumlah Biogas (m ³ /hari)	<i>Absorber</i>	Kolom Regenerasi
4	300	D = 5,40 cm H = 1,44 m	D = 1,36 m H = 2,72 m
20	1.500	D = 12,12 cm H = 2,90 m	D = 2,65 m H = 5,30 m
100	7.500	D = 27,12 cm H = 5,50 m	D = 3,00 m H = 10,96 m
500	37.500	D = 60,62 cm H = 11,35 m	D = 3,00 m H = 20,56 m
2.500	187.500	D = 100,32 cm H = 22,54 m	D = 3,00 m H = 28,56 m

Tabel 2.17 Dimensi *Absorber* dan Kolom Regenerasi Pemurnian Biogas DEA [34].

Kapasitas (ton/hari)	Jumlah Biogas (m ³ /hari)	<i>Absorber</i>	Kolom Regenerasi
4	300	D = 6,14 cm H = 1,44 m	D = 2,00 m H = 4,00 m
20	1.500	D = 13,72 cm H = 3,15 m	D = 3,00 m H = 9,18 m
100	7.500	D = 30,68 cm H = 5,92 m	D = 3,00 m H = 15,52 m
500	37.500	D = 67,68 cm H = 11,75 m	D = 3,00 m H = 25,67 m
2.500	187.500	D = 100,73 cm H = 23,12 m	D = 3,00 m H = 33,54 m

3. Pemurnian biogas menggunakan *pressure swing adsorption* (PSA)

Metode *Pressure Swing Adsorption*, adsorpsi melibatkan transfer zat terlarut dalam fluida menuju permukaan dari material padat, dimana penjerapan zat terlarut akibat gaya fisis atau gaya *van der Waals* secara selektif. Bahan yang digunakan sebagai adsorben di antaranya zeolit, karbon aktif atau silika. Sebelum dilakukan metode *Pressure Swing Adsorption*, sebaiknya biogas sudah lebih dulu dihilangkan gas H₂S agar adsorben pada metode *Pressure Swing Adsorption* lebih awet karena gas H₂S bersifat racun bagi adsorben dan sulit diregenerasi. Untuk menghilangkan H₂S dapat dilakukan dengan adsorpsi menggunakan *iron oxide* (Fe₂O₃) [34].



Tabel 2.18 Dimensi Kolom Adsorpsi Pemurnian Biogas *pressure swing adsorption* [34]

Kapasitas (ton/hari)	Jumlah Biogas (m ³ /hari)	Absorber
4	300	D = 6,50 cm H = 20 cm
20	1.500	D = 11,76 cm H = 25 cm
100	7.500	D = 20,53 cm H = 41,96 cm
500	37.500	D = 35,10 cm H = 70,21 cm
2.500	187.500	D = 60,03 cm H = 100,2 cm

4. Pemurnian biogas menggunakan *cryogenic separation* (CS)

Metode *Cryogenic Separation* pada pemurnian biogas melibatkan pemisahan campuran gas dengan cara kondensasi dan distilasi pada suhu sangat rendah. Proses ini memiliki keuntungan yaitu menghasilkan komponen murni dalam bentuk cairan yang mudah dipindahkan namun biaya proses ini cukup tinggi. Dalam pemisahan ini biogas ditekan hingga 40 bar suhu -80 0C. Kompresi ini dilakukan dari *multi-stage* dan *inter-cooling* [34].

Tabel 2.19 Dimensi Menara Destilasi Pemurnian Biogas *cryogenic Separation* [34].

Kapasitas (ton/hari)	Jumlah Biogas (m ³ /hari)	Absorber
4	300	D 0,30 m H = 1,5 m
20	1.500	D = 0,50 m H = 2,5 m
100	7.500	D = 1,1 m H = 5,2 m
500	37.500	D = 1,6 m H = 8,2 m
2.500	187.500	D = 2,15 m H = 10,4 m

Untuk mendapatkan jumlah produksi CH₄ yang dihasilkan dari teknologi pemurnian biogas adalah dengan melakukan persamaan berikut [34] :

$$\text{Produksi CH}_4 \text{ (m}^3\text{)} = \text{Kemurnian teknologi (\%)} \times \text{Biogas perhari (m}^3\text{)} \dots\dots\dots (2.18)$$



2.9.4 Perhitungan Gas engine

Setelah mendapat jumlah produksi CH₄ yang telah melewati proses pemurnian, maka untuk menghitung nilai energi dan daya listrik yang dihasilkan dari teknologi *gas engine* adalah dengan melakukan persamaan berikut [31] :

$$E_L = \text{VBS} \times \%CH_4 \times H_{\text{metan}} \times \eta_{el} \times CF \quad (2.19)$$

$$P_L = \frac{E_L}{24 \text{ Jam}} = \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

- E_L :Jumlah energi yang dihasilkan (kWh/hari)
- VBS : Volume Biogas (m³/hari)
- %CH₄ : Persentase gas metana (%)
- H_{metan} : Nilai kalor gas metana (kWh/m³)
- CF : *Capacity Factor* 0,8
- η_{el} : Efisiensi *Gas Engine*(%)
- P_L : Jumlah daya listrik yang dihasilkan (kW).

2.9.5 Perhitungan Produksi Biogas dan Energi Listrik Selama Hari Operasional

Dengan mengasumsikan 30 hari waktu pemeliharaan, maka perhitungan produksi biogas (gas metana) dan energi listrik yang dapat dibangkitkan adalah sebagai berikut :

1. Produksi Gas Metana
 Produksi gas metana/tahun = Produksi gas metana/hari × 335 hari.....(2.21)
2. Produksi Energi Listrik
 Produksi energi listrik/tahun = Produksi energi listrik/hari × 335 hari....(2.22)

2.10 Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi digunakan untuk mengetahui karakteristik finansial pemanfaatan limbah cair POME sebagai energi listrik berdasarkan total aliran pendapatan tahunan dan total aliran biaya tahunan. Kelayakan pemanfaatan limbah cair POME sebagai bahan baku biogas sebagai energi listrik dilakukan dengan menganalisis finansial menggunakan metode memiliki beberapa parameter antara lain yaitu, *Cash Flow* (CF), *Net Present Value* (NPV), dan *Payback Period*.

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

© Al-Falaqhiya Islamic University of Nusantara
 State Islamic University of Nusantara
 UIN SUSKA RIAU



Komponen biaya terdiri dari :

1. Biaya investasi *biogas plant*
2. Biaya investasi Pemurnian biogas
3. Biaya investasi pembangkit listrik
4. Biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) *biogas plant*
5. Biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) pemurnian biogas
6. Biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) pembangkit listrik

2.10.1 Perhitungan Komponen Biaya Produksi

Pada bagian ini menggambarkan metodologi untuk mengestimasi biaya – biaya yang mungkin timbul dari pemanfaatan produksi biogas dari limbah cair POME sebagai energi listrik. Biaya–biayaini meliputi 2 (dua) komponen biaya utama yaitu biaya investasi dan biaya operasional dan pemeliharaan (O&M), antara lain :

a. Biaya investasi :

1. Biaya Investasi *Biogas Plant*

Biaya investasi ini meliputi biaya investasi digester *anaerob* beserta komponen pelengkap seperti sistem kontrol emisi, pekerjaan sipil, pompa set, instalasi pipa, dan pekerjaan elektrik. Jenis digester *anaerob* yang digunakan adalah beton bertulang dilapisi dengan pelindung berbahan busa dan *steroform*. Perhitungan biaya investasi *biogas plant* adalah sebesar 3.021,368 US\$/kW [28].

$$\text{Biaya investasi } \textit{biogas plant} = 3.021,368 \text{ US\$/kW} \times \text{kapasitas (kW)} \dots\dots\dots (2.23)$$

2. Biaya Investasi Pemurnian Biogas

Biaya investasi ini adalah berdasarkan dari pemilihan teknologi pemurnian biogas yang akan digunakan. Dalam hal ini akan digunakan teknologi *water scrubber* dengan biaya investasi sebesar 28.050 US\$ [28].....(2.24)

3. Biaya Investasi pembangkit listrik

Biaya investasi ini adalah berdasarkan harga dari pemilihan teknologi pembangkit yang akan digunakan. Dalam hal ini teknologi yang akan digunakan adalah *Gas engine*.....(2.25)

b. Biaya Operasional dan Pemeliharaan (O&M)



1. Biaya operasional dan pemeliharaan(O&M) Biogas *Plant*

Biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) *biogas plant* pertahun sebesar 2% dari biaya investasi[29].....(2.26)

2. Biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) pemurnian biogas

Biaya ini berdasarkan teknologi pemurnian yang digunakan. Dalam penelitian ini akan digunakan teknologi *water scrubber*, dengan biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) sebesar 3.590 US\$ dengan persamaan [29].....(2.27)

3. Biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) pembangkit listrik.

Komponen biaya investasi antara lain adalah *gas engine* perhitungan biaya investasi dan O&M produksi energi listrik PLTBG dilakukan pada jenis teknologi konversi pembangkit yang tersedia di pasaran. Biaya tetap operasi dan pemeliharaan biasanya terdiri dari biaya tenaga kerja dan biaya pemeliharaan. Biaya pemeliharaan terutama meliputi minyak pelumas, filter, baterai, busi dan sebagainya. Biaya operasi dan pemeliharaan untuk *gas engine* ialah Rp. 110,4/kWh [30].....(2.28)

2.10.2 Perhitungan Biaya Pendapatan

Komponen pendapatan terdiri dari penjualan limbah padat yaitu cangkang kelapa sawit. Sama seperti perhitungan komponen biaya, perhitungan komponen pendapatan dilakukan terhadap jenis teknologi yang akan dipakai. Adapun beberapa pendapatan dari penjualan cangkang yang dihasilkan ialah sebagai berikut:

a. Pendapatan Penjualan Cangkang (Limbah Padat)

Jumlah pendapatan penjualan cangkang kelapa sawit adalah :

$$\text{Penjualan cangkang} = \text{Limbah Padat ton/hari} \times 8\% \times \text{hari} \times \text{Rp } 7.730/\text{ton}.....(2.29)$$

2.11 Analisis Finansial

Dalam rangka untuk menilai apakah proyek dapat diterima atau tidak teknik analisa *financial* yaitu melakukan analisa *Cost Benefit Analysis* (CBA) atau analisa biaya manfaat adalah suatu metode analisis yang sistematis yang bertujuan untuk membandingkan serangkaian biaya dan manfaat dengan sebuah aktifitas atau proyek.

Setelah didapatkan perbandingan maka langkah selanjutnya yaitu mengambil keputusan untuk mempertimbangkan apakah suatu rencana dari sebuah aktifitas atau proyek



dapat dilanjutkan atau tidak dengan melakukan evaluasi. Analisa biaya manfaat memiliki ciri khusus antara lain [32]:

1. Analisa biaya manfaat mengukur semua biaya dan manfaat yang kemudian dihasilkan dari program publik dalam bentuk uang.
2. Melambungkan rasionalitas ekonomi, karena kriteria sebagian besar ditentukan dengan penggunaan efisiensi ekonomi secara global.
3. Secara tradisional menggunakan pasar swasta sebagai titik tolak dalam memberikan rekomendasi program publik.

Analisa biaya manfaat memiliki beberapa keunggulan antara lain :

1. Biaya dan manfaat diukur dengan nilai uang, sehingga memungkinkan analisis untuk mengurangi biaya dari manfaat.
2. Memungkinkan analisis dengan melihat lebih luas kebijakan atau program tertentu.
3. Memungkinkan analisis dengan menbandingkan program secara luas dalam lapangan yang berbeda.

Perhitungan menggunakan metode *Cost Benefit Analysis* memiliki beberapa parameter antara lain yaitu, *Cash Flow* (CF), *Net Present Value* (NPV), dan *Payback Period*.

2.11.1 Cash Flow (CF)

Didalam menjalankan sebuah aktivitas atau sebuah proyek, tentunya akan menimbulkan sejumlah biaya untuk menjalankan proyek tersebut, baik secara langsung ataupun tidak langsung. Disisi lain akibat dari pelaksanaan proyek tersebut akan timbul juga manfaat atau keuntungan yang didapatkan, dengan demikian didalam sebuah proyek akan selalu timbul sejumlah uang pemasukan dan uang pengeluaran. Uang masuk dan uang keluar inilah yang dinamakan *Cash Flow* (aliran uang) [35]. *Cash Flow* terbagi dua yaitu *Cash Flow Benefit* (aliran uang masuk) dan *Cash Flow Cost* (aliran uang keluar).

1. Cash Flow Benefit (CFB)

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

$$CFB = Benefit (1 + i)^{-n} \dots\dots\dots(2.30)$$

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

© Hak cipta milik UIN Suska Riau
 State Islamic University of Syarif Kasim Riau



2. Cash Flow Cost (CFC)

Cash Flow Cost adalah aliran uang yang keluar disetiap tahun selama umur peralatan atau jangka investasi proyek. CFC juga dipengaruhi oleh *Present Worth Function* (PWF) yaitu nilai faktor bobot sekarang dengan variabel nilai suku bunga yang tersedia, berikut rumusnya :

$$PWF = (1 + i)^{-n} \dots\dots\dots(2.31)$$

$$CFC = \text{Biaya Investasi} \times PWF$$

2.11.2 Net Present Value (NPV)

Metode NPV digunakan untuk mengevaluasi kelayakan suatu proyek. Hal ini didasarkan pada perhitungan nilai sekarang dari arus kas dalam periode yang ditentukan waktu. Arus kas merupakan selisih antara manfaat dan biaya dari tahun ditentukan NPV dapat dihitung dengan persamaan dibawah [5].

$$NPV = \sum_{t=0}^N Rt / (1 + i)^t - Rto \dots\dots\dots(2.32)$$

Dimana:

- i* = diskon rate (%)
- N* = Adalah jumlah total periode [tahun]
- Rt* = Adalah arus kas pada tahun t [Rp]

2.11.3 Payback Periode (PBP)

Waktu pengembalian modal merupakan jumlah yang diperlukan dari tahun untuk memulihkan semua biaya investasi [33]. PBP dihitung menggunakan Persamaan berikut.

$$PBP = \frac{\text{Total Investasi}}{\text{Arus Kas Masuk Tahunan}} \dots\dots\dots(2.33)$$

Dimana,

Total investasi (Rp) adalah investasi *anaerob digestion system* + biaya *investasi biogas storage system* + biaya investasi penggunaan lahan + biaya lahan untuk pengolahan air dan *sludge*. Arus Kas Masuk Tahunan adalah Pendapatan Tahunan dikurangi dengan Pengeluaran Tahunan.



2.12 RETScreen Expert

RETScreen Expert Clean Energy Analysis Software adalah alat terkemuka khusus ditujukan untuk memfasilitasi pra-kelayakan dan analisa kelayakan teknologi energi bersih. Ini dari alat ini terdiri dari analisa proyek standar dan terintegrasi dengan *software* yang dapat digunakan di seluruh dunia untuk mengevaluasi biaya produksi energi, siklus hidup dan pengurangan emisi gas rumah kaca untuk berbagai jenis energi yang diusulkan efisien dan teknologi energi terbarukan. Semua model teknologi energi bersih di *RETScreen Software* memiliki tampilan umum dan mengikuti pendekatan standar untuk memfasilitasi pengambilan keputusan. Setiap model juga mencakup produk terintegrasi, biaya dan *database* cuaca dan *user* manual yang rinci secara online, semua itu membantu untuk mengurangi waktu dan biaya yang terkait dengan mempersiapkan studi pra – kelayakan. *Software RETScreen* mungkin yang tercepat dan menjadi salah satu alat termudah untuk mengestimasi kelangsungan hidup serta potensi proyek energi bersih. *RETScreen* menyediakan akses ke *data base* iklim global berdasarkan pengukuran tanah dan data satelit NASA, analisa proyek diseluruh dunia yang memungkinkan. Perangkat lunak ini tersedia dalam 35 bahasa dan termasuk *database* peralatan untuk komponen yang diproduksi dan tersedia di seluruh dunia [25]. Oleh karena itu pada penelitian ini perangkat lunak *RETScreen* digunakan untuk memproyeksikan potensi biogas dari limbah cair kelapa sawit (POME) sebagai energi listrik dengan menggunakan *gas engine*.

2. Dilarang mengumunkan 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.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengutipkan 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.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, metode yang akan digunakan dan dikembangkan adalah kuantitatif deskriptif dengan didukung oleh pengumpulan data-data mengenai potensi limbah cair (POME) yang ada di PT. Persada Nusa Nabati Indonesia Kecamatan Minas Desa Minas Timur Kabupaten Siak, serta di analisis pembangkit listrik dengan menggunakan bahan bakar biogas yang berasal dari POME untuk dijadikan energi listrik, kemudian menganalisa secara teknis dan ekonomis analisis ekonomi menggunakan *software RETScreen Expert*. Hasil dari penelitian ini yaitu potensi gas panas dari pemanfaatan POME untuk dijadikan energi listrik.

3.2 Prosedur Penelitian

Secara garis besar prosedur penelitian tentang Analisis Teknis dan Ekonomi Produksi Biogas dengan memanfaatkan limbah cair kelapa sawit (POME) sebagai pengembangan energi listrik ini dibagi menjadi 5 tahap, yaitu :

1. Tahap Perencanaan
2. Tahap Pengumpulan Data
3. Tahap Analisis Teknis dan Ekonomi
4. Tahap Analisis Hasil
5. Tahap kesimpulan dan saran.

Adapun seluruh tahapan prosedur penelitian ini digambarkan pada diagram alir (*flowchart*) pada Gambar 3.1 berikut.





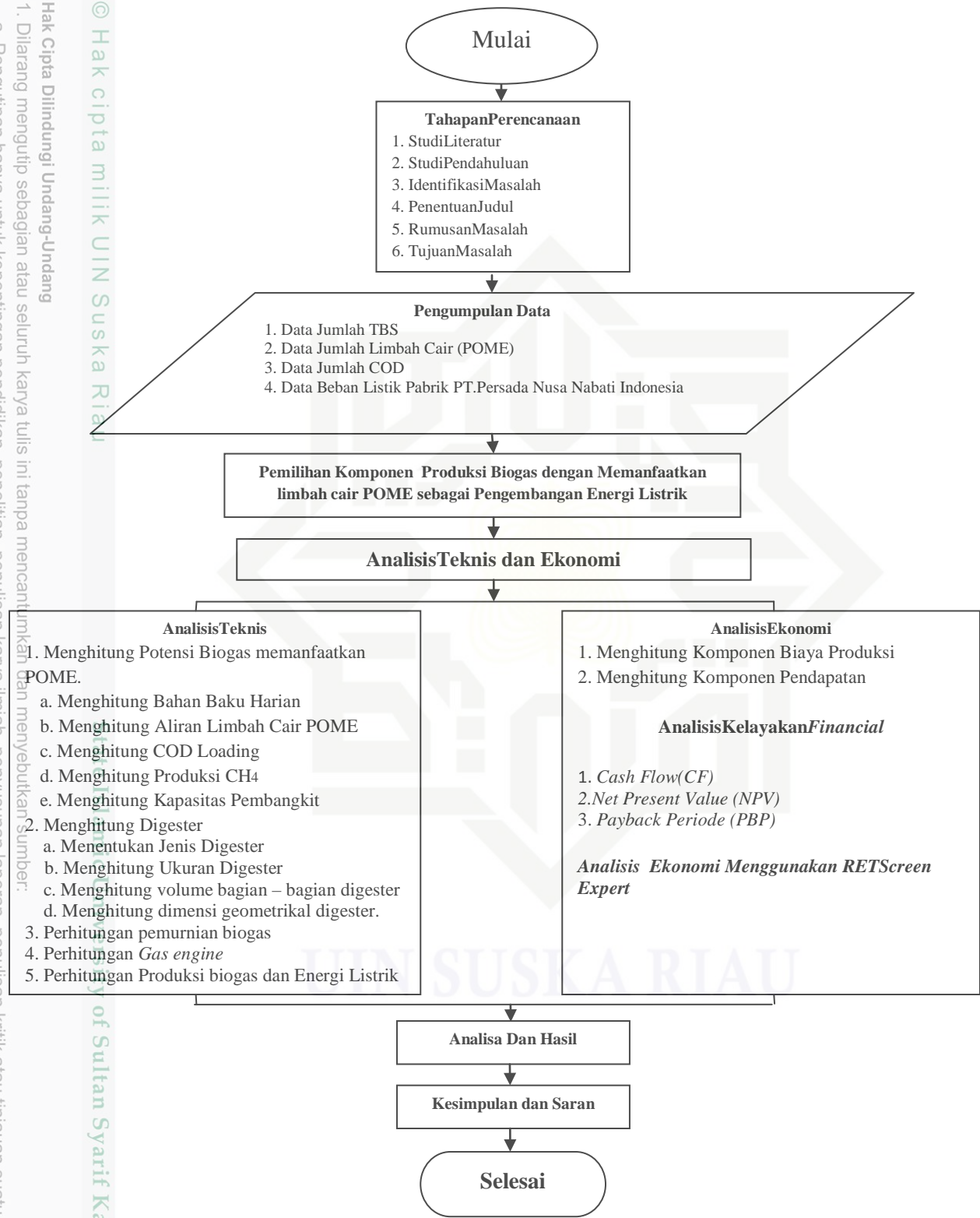
3.3

Diagram Alur Penelitian

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Gambar 3.1 Flowchart Tahapan Penelitian



3.4 Tahapan Perencanaan

Tahapan perencanaan pada penelitian ini dimulai dengan tahap studi literatur yang berkaitan dengan penelitian, melakukan studi pendahuluan, mengidentifikasi masalah, mencari rumusan masalah dan menetapkan masalah.

3.4.1 Studi Literatur

Mengumpulkan beberapa penelitian yang dibutuhkan untuk referensi pada penelitian ini, seperti Tugas Akhir, buku dan jurnal. Pada setiap penelitian yang berhubungan akan dianalisis teori yang dipakai, metode serta hasil penelitian. Pada buku akan didapat teori yang mendukung sehingga penelitian ini hasil akan lebih baik.

3.4.2 Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan dilakukan untuk mengetahui apakah pembangunan PLTBG layak untuk dibangun di pabrik kelapa sawit PT. Persada Nusa Nabati Indonesia

3.4.3 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah berisi tentang beberapa alasan dilakukannya penelitian ini. Tahap identifikasi masalah pada penelitian ini dilakukan pada bab 1. Selain latar belakang, rumusan masalah, dan batasan masalah, dijelaskan juga motivasi dan kontribusi penelitian ini dengan menyatakan beberapa manfaat penelitian ini. Adapun identifikasi masalah pada penelitian ini adalah limbah cair (POME) di PKS PT. Persada Nusa Nabati Indonesia saat ini belum dimanfaatkan dan diolah secara maksimal.

3.4.4. Penentuan Judul

Judul adalah dasar berpikir pada sebuah penelitian yang dapat menggambarkan secara garis besar penelitian yang diangkat berdasarkan permasalahan untuk sebuah solusi dari permasalahan tersebut. Oleh karena itu judul penelitian ini adalah “Analisis Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Di Pabrik Kelapa Sawit PT. Persada Nusa Nabati Indonesia”.



3.4.5 Rumusan Masalah

Beberapa pertanyaan yang akan dijawab pada hasil penelitian ini adalah bagaimana potensi gas metan dari limbah cair kelapa sawit (POME) di pabrik kelapa sawit PT.Persada Nusa Nabati Indonesia, serta energi listrik yang dikandungnya dan bagaimana Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBG) berdasarkan aspek teknis dan aspek ekonominya.

3.4.6 Tujuan Masalah

Tujuan yang akan dicapai berhubungan dengan identifikasi masalah yang telah ditentukan. Tujuan yang ingin dicapai adalah mengetahui secara ilmiah potensi gas metan dari limbah cair sawit (POME), serta melakukan perhitungan dari limbah cair kelapa sawit (POME) di PKS PT.Persada Nusa Nabati Indonesia Desa Minas Timur Kecamatan Minas sebagai bahan utama pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBG) yang dilihat dari aspek teknis dan aspek ekonomi.

3.5 Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data pendukung untuk melakukan analisis teknis dan ekonomi produksi biogas dari pemanfaatan limbah cair (POME), antara lain:

- a. Data pendukung mengenai jumlah Tandan Buah Segar (TBS) di PKS PT. Persada Nusa Nabati Indonesia Desa Minas Timur Kabupaten Siak, Riau sebagai acuan dalam menghitung ketersediaan bahan baku tandan buah segar (TBS).
- b. Data jumlah limbah cair (POME) yang dihasilkan berdasarkan jumlah tandan buah segar (TBS) di PKS PT. Persada Nusa Nabati Indonesia di Desa Minas Timur Kecamatan Minas Kabupaten Siak untuk menghitung potensi biogas yang dihasilkan.
- c. Data kandungan COD sehingga didapatkan jumlah potensi biogas yang dihasilkan menjadi energi listrik.
- d. Data kebutuhan beban untuk memenuhi kebutuhan listrik di PKS PT. Persada Nusa Nabati Indonesia di Desa Minas Timur Kecamatan Minas Kabupaten Siak.



- e. Berdasarkan Data produksi tandan buah segar dan data COD (*chemical oxygen demand*) yang di dapatkan pada tahun 2017, 2018 dan 2019 di pabrik kelapa sawit PT.Persada Nusa Nabati Indonesia [8].

Data Produksi Tandan Buah segar Pertahun di pabrik kelapa sawit PT. Persada Nusa Nabati Indonesia [8].

Tabel 3.1 Data Produksi TBS.

No	Produksi TBS	Satuan	Tahun
1	256.461,70	Ton	2017
2	262.897,84	Ton	2018
3	281.402,69	Ton	2019

Data COD (*chemical oxygen demand*) pabrik kelapa sawit PT. Persada Nusa Nabati Indonesia [8].

Tabel. 3.2 Data COD

No	COD (<i>chemical oxygen demand</i>)	Satuan mg/L Acuan Method (SNI 6989.73- 2009)	Tahun
1	11.828.443,00	mg/L	2017
2	12.160.402,00	mg/L	2018
3	12.705.286,00	mg/L	2019

- f. Data kebutuhan beban untuk memenuhi kebutuhan listrik di pabrik kelapa sawit PT. Persada Nusa nabati Indonesia adalah sebesar 1.004 Kw atau sebesar 1,004 MW [8].



3.6 Pemilihan Komponen Produksi Biogas Dengan Memanfaatkan Limbah Cair POME Sebagai Pengembangan Energi Listrik.

3.6.1 Sumber Pasokan Limbah

Sumber pasokan limbah berasal dari proses pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) pada industri kelapa sawit dalam memproduksi minyak sawit mentah atau CPO dan minyak inti sawit atau PKO, menghasilkan dua macam limbah yaitu padat, cair. Akan tetapi limbah padat ini sudah digunakan sebagai pembakaran di boiler, sedangkan untuk limbah cair (*crude palm oil*) belum dimanfaatkan dengan baik. Maka dari sumber pasokan limbah cair POME (*crude palm oil*) untuk dijadikan sebagai sumber energi listrik.

Dalam proses pengolahan awal, POME dikondisikan untuk mencapai nilai-nilai parameter yang dibutuhkan untuk masuk ke *digester*. Pada tahap ini, dilakukan proses penyaringan untuk menghilangkan partikel besar seperti kotoran atau serat. Proses pengadukan dan netralisasi pH dilakukan untuk mencapai pH optimal pada 6,5-7,5 [5].

3.6.2 Digester

Merupakan komponen utama dalam produksi biogas. Digester merupakan tempat dimana bahan organik diurai oleh bakteri secara *anaerob* (tanpa udara) menjadi gas CH₄ (55-80 %) dan CO₂ (20-45 %). Digester harus dirancang sedemikian rupa sehingga proses fermentasi anaerob dapat berjalan dengan baik. Pada umumnya produksi biogas terbentuk pada 20-35 hari. Biogas yang dihasilkan dari proses tersebut dapat digunakan pada CHP (*Combined Heat and Power*) untuk menghasilkan listrik yang sebelumnya harus melalui proses pemurnian terlebih dahulu [5].

3.6.3 Scrubber Hidrogen Sulfida (H₂S)

Sebelum biogas dapat menghasilkan daya listrik, *scrubber* hidrogen sulfida digunakan untuk menurunkan konsentrasi H₂S ke tingkat yang disyaratkan oleh *gas engine*, biasanya dibawah 200 ppm. Hal ini untuk mencegah korosi, mengoptimalkan operasi, dan memperpanjang umur *gas engine*. Ada tiga jenis *scrubber* yang digunakan dalam proses desulfurisasi untuk menurunkan kandungan H₂S dalam biogas, yaitu *scrubber* biologis, kimia, atau air. *Scrubber* biologis menggunakan bakteri sulfur-oksidasi untuk mengubah H₂S menjadi SO₄, sementara *Scrubber* kimia menggunakan bahan kimia seperti NaOH untuk mengubah H₂S menjadi SO₄, *scrubber* air berkerja berdasarkan penyerapan fisik dari gas-gas terlarut dalam air [5].



3.6.4 Gas engine

Gas engine sama 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 didalam 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. *Gas engine* berbahan bakar biogas umumnya memerlukan biogas dengan kadar air dibawah 80% dan konsentrasi H₂S kurang dari 200 ppm. *Gas engine* mengubah energi yang terkandung dalam biogas menjadi energi mekanik untuk menggerakkan generator yang akan menghasilkan listrik. Biasanya *gas engine* memiliki efisiensi listrik antara 36-42% [5].

3.7 Analisis Teknis

3.7.1 Analisis Potensi Biogas dan Potensi Listrik

Aspek teknis meliputi produksi dan potensi biogas sebagai energi listrik serta menentukan kapasitas perancangan. Pada penelitian ini, akan dihitung potensi biogas dari limbah cair (POME) yang ada di PKS PT. Persada Nusa Nabati Indonesia sebagai studi kasus untuk menjadi acuan mendapatkan potensi listrik yang dihasilkan dari tenaga biogas. Perhitungan tersebut dengan memperhatikan parameter-parameter konversi yang membuat suatu potensi dapat menghasilkan energi yang optimum. Parameter tersebut antara lain temperatur, *retention time*, besarnya limbah cair (POME) yang dihasilkan perhari berdasarkan jumlah tandan buah segar (TBS).

3.7.2 Potensi Energi Dari POME

Perhitungan potensi pembangkit energi dari biogas dapat dilakukan dengan menggunakan nilai dari parameter persamaan (2.1) sampai (2.2) sampai (2.5). Hasil perhitungan kapasitas pembangkitan daya berkaitan dengan potensi daya yang akan dihasilkan oleh *gas engine*.

3.7.3 Pemilihan Teknologi Digester

Dalam menentukan teknologi digester ada beberapa pertimbangan sebagai mana telah dijelaskan pada bab 2. Selain potensi bahan baku, hal yang perlu diperhatikan adalah temperatur digester yang akan dirancang, derajat keasaman (pH) bahan baku biogas. Pada penelitian ini



pemilihan jenis digester dipilih dengan menggunakan metode *direct rating* dengan cara pemberian peringkat untuk dari beberapa kriteria digester. Metode ini digunakan karena lebih mudah dan hasil penilaiannya lebih efektif [22].

Kriteria dari beberapa jenis digester akan dibandingkan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari masing-masing digester. Kriteria yang dipilih untuk dianalisis dan akan diberikan peringkat ialah, *life time* atau umur pemakaian, struktur fisik dan biaya investasi [22].

3.7.4 Menentukan Jenis Digester

Digester anaerobic adalah unsur utama untuk proses *anaerobic digestion*. Bahan kering/*Dry Matter* (DM) konten dimasukkan ke digester, proses fermentasi dapat diklasifikasikan sebagai pencernaan basah atau kering. Isi DM dari bahan baku merupakan faktor yang relevan ketika memilih teknologi *anaerobic digestion* karena itu menentukan desain digester dan jenis digester, *Dry anaerobic* cocok untuk bahan baku dengan nilai bahan kering > 25%. Kadang-kadang, istilah pencernaan setengah kering disebut untuk konten *Dry Matter* (DM) di kisaran 15 sampai 20% [22]. Sistem umum untuk DM memiliki volume digester kecil dibandingkan dengan digester basah. Teknologi ini biasanya tidak perlu pengadukan atau pencampuran selama proses pencernaan sehingga biaya operasional rendah dan biaya rendah teknologi mekanik. Namun, biaya pemeliharaan yang tinggi dan proses ini mengkonsumsi energi. Bahan baku untuk pencernaan kering umumnya sampah kebun, limbah rumah tangga, dan lain-lain. Di sisi lain, teknologi pencernaan basah cocok untuk mengobati bahan baku seperti bubur dan lumpur limbah yang memiliki kandungan bahan kering lebih rendah dari 15%.

3.7.5 Ukuran Digester

Untuk menghitung volume digester yang perlu diperhatikan adalah tipe digester, volume limbah harian, waktu retensi/digestifikasi, dan volume biogas dapat dilakukan dengan persamaan (2.6) dan (2.7). Pada penelitian ini tipe digester yang akan digunakan adalah tipe *chines fixed dome*. Waktu digestifikasi atau retensi tergantung pada temperature lingkungan dan temperatur digester. Dengan kondisi tropis seperti di Indonesia, pada suhu 25 – 35⁰C, waktu digestifikasi kira-kira 30 – 40 hari [23].

Jika dibangun ukuran digester selain tidak praktis dalam perawatan juga kurang memungkinkan dalam kontruksi. Dengan jumlah digester yang lebih dari 1 buah, memungkinkan



untuk dilakukan perawatan dan jika terjadi kerusakan pada salah satu digester, maka digester yang lain masih mampu untuk menghasilkan biogas sebagai bahan bakar pembangkit listriknya.

Maka dengan mengasumsikan ukuran masing-masing digester, jumlah digester yang akan dibangun untuk ukuran masing –masing digester adalah dengan persamaan (2.9)

3.7.6 Menghitung Volume Bagian Digester

Ukuran tangki digester biogas tergantung dari jumlah, kualitas dan jenis limbah organik yang tersedia dan temperatur saat proses fermentasi *anaerob*. Di bawah ini gambar bentuk penampang silender digester *anaerob* (*Cylindrical Shaped Bio-Gas Digester Body*). Dengan persamaan (2.10) sampai (2.15).

3.7.7 Menghitung Dimensi Geometrikal Digester

Setelah menghitung ukuran volume bagian bagian digester, maka dapat ditentukan ukuran digester secara dimensi geometrical. dapat dilakukan dengan menggunakan nilai dari parameter persamaan (2.16) sampai (2.17).

3.7.8 Perhitungan Pemurnian Biogas

Pada tahapan ini dilakukan penentuan teknologi pemurnian biogas dengan metode pemilihan berdasarkan tingkat kemurnian dan harga. Selanjutnya menghitung volume biogas yang dihasilkan setelah menggunakan teknologi pemurnian biogas dengan menggunakan rumus yang ada pada persamaan (2.18).

3.7.9 Perhitungan *Gas engine*

Pada penelitian ini akan dihitung listrik yang dihasilkan dari penggunaan teknologi *gas engine*, dengan menggunakan rumus yang ada pada persamaan (2.19) sampai (2.20).

3.7.10 Perhitungan Produksi Biogas dan Energi Listrik Selama Hari Operasional

Dengan mengasumsikan 30 hari waktu pemeliharaan, maka perhitungan produksi biogas (gas metana) dan energi listrik yang dapat dibangkitkan. dapat dilakukan dengan menggunakan nilai dari parameter persamaan (2.21) sampai (2.22).



Analisis Ekonomi

3.8.1 Menghitung Komponen Biaya Produksi

Pada bagian ini menggambarkan metodologi untuk mengestimasi biaya – biaya yang mungkin timbul dari pemanfaatan produksi biogas dari limbah cair kelapa sawit POME sebagai energi listrik. Biaya – biaya ini meliputi 2 (dua) komponen biaya utama yaitu biaya investasi dan biaya operasional dan pemeliharaan (O&M), antara lain :

a. Biaya investasi :

1. Biaya Investasi *Biogas Plant*

Biaya investasi ini meliputi biaya investasi digester *anaerob* beserta komponen pelengkapannya seperti sistem kontrol emisi, pekerjaan sipil, pompa set, instalasi pipa, dan pekerjaan elektrikal. Jenis digester *anaerob* yang digunakan adalah beton bertulang dilapisi dengan pelindung berbahan busa dan *steroform*. Perhitungan biaya investasi *biogas plant* adalah sebesar 3.021,368 US\$/kW [28]. Biaya investasi *biogas plant* dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan (2.23).

2. Biaya Investasi Pemurnian Biogas

Biaya investasi ini adalah berdasarkan dari pemilihan teknologi pemurnian biogas yang akan digunakan. Dalam hal ini akan digunakan teknologi *water scrubber* dengan biaya investasi sebesar 28.050 US\$ [28], diselesaikan dengan menggunakan persamaan (2.24).

3. Biaya Investasi pembangkit listrik

Biaya investasi ini adalah berdasarkan harga dari pemilihan teknologi pembangkit yang akan digunakan. Dalam hal ini teknologi yang akan digunakan adalah *Gas engine*. (2.25).

b. Biaya Operasional dan Pemeliharaan (O&M)

1. Biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) *Biogas Plant*

Biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) *biogas plant* pertahun sebesar 2% dari biaya investas [29]. Diselesaikan dengan menggunakan persamaan (2.26).

2. Biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) pemurnian biogas


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.

Biaya ini berdasarkan teknologi pemurnian yang digunakan. Dalam penelitian ini akan digunakan teknologi *water scrubber*, dengan biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) sebesar 3.590 US\$ [29], diselesaikan dengan menggunakan persamaan (2.27).

3. Biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) pembangkit listrik.

Komponen biaya investasi antara lain adalah *gas engine* Perhitungan biaya investasi dan O&M produksi energi listrik PLTBG dilakukan pada jenis teknologi konversi pembangkit yang tersedia di pasaran. Biaya tetap operasi dan pemeliharaan biasanya terdiri dari biaya tenaga kerja dan biaya pemeliharaan. Biaya pemeliharaan terutama meliputi minyak pelumas, filter, baterai, busi dan sebagainya. Biaya operasi dan pemeliharaan untuk *gas engine* ialah Rp. 110,4/kWh [31].diselesaikan dengan menggunakan persamaan (2.28).

4. Biaya Pendapatan

Komponen pendapatan diperoleh dari penjualan cangkang kelapa sawit. Pendapatan Penjualan Cangkang Kelapa sawit (2.29).

3.9 Analisis Finansial

3.9.1 Cash Flow (CF)

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

1. Cash Flow Benefit (CFB)

Cash Flow Benefit adalah aliran uang yang masuk disetiap tahun selama sistem berjalan atau umur proyek. Aliran uang yang masuk disetiap tahun dihitung berdasarkan nilai rata-rata suku bunga yang ada pada tahun pertama pelaksanaan proyek.



Dalam rangka untuk menilai apakah proyek dapat diterima atau tidak teknik analisa *financial* yaitu melakukan analisa *Cost Benefit Analysis* (CBA) atau analisa biaya manfaat adalah suatu metode analisis yang sistematis yang bertujuan untuk membandingkan serangkaian biaya dan manfaat dengan sebuah aktifitas atau proyek. *Cash Flow Benefit* dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan (2.30).

2. *Cash Flow Cost* (CFC)

Cash Flow Cost adalah aliran uang yang keluar disetiap tahun selama umur peralatan atau jangka investasi proyek. CFC juga dipengaruhi oleh *Present Worth Function* (PWF) yaitu nilai faktor bobot sekarang dengan variabel nilai suku bunga yang tersedian untuk mengetahui nilai CFC dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan (2.30).

3.9.2 *Net Present Value* (NPV)

Net Present Value (NPV) adalah metode yang digunakan untuk mengetahui nilai transaksi masa depan yang mencerminkan nilai mata uang sekarang, sehingga NPV digunakan untuk melihat harga bersih dari tahun sekarang. Metode NPV merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi apakah suatu rencana investasi layak secara ekonomi atau tidak, dan kriteria kelayakan tersebut dinilai berdasarkan indikasi jika nilai $NPV > 0$ maka investasi tersebut menguntungkan atau layak untuk dibangun, namun jika $NPV < 0$ maka investasi tersebut tidak menguntungkan atau tidak layak. NPV merupakan hasil pengurangan antara *Cash Flow Benefit* (CFB) dan *Cash Flow Cost* (CFC). Untuk menghitung nilai NPV dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan (2.31) sampai (2.32).

3.9.3 *Payback Periode* (PBP)

Waktu pengembalian modal merupakan jumlah yang diperlukan dari tahun untuk memulihkan semua biaya investasi [38]. Untuk menghitung nilai PBP dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan (2.33).



3.10 Analisis Ekonomi Menggunakan *RETScreen Expert*

RETScreen Expert Clean Energy Analysis Software adalah alat terkemuka khusus ditujukan untuk memfasilitasi pra-kelayakan dan analisa kelayakan teknologi energi bersih. Inti dari alat ini terdiri dari analisa proyek standar dan terintegrasi dengan *software* yang dapat digunakan di seluruh dunia untuk mengevaluasi biaya produksi energi, siklus hidup dan pengurangan emisi gas rumah kaca untuk berbagai jenis energi yang diusulkan efisien dan teknologi energi terbarukan. Semua model teknologi energi bersih di *RETScreen* yang *Software* memiliki tampilan umum dan mengikuti pendekatan standar untuk memfasilitasi pengambilan keputusan. Setiap model juga mencakup produk terintegrasi, biaya dan *database* cuaca dan *user manual* yang rinci secara online, semua itu membantu untuk mengurangi waktu dan biaya yang terkait dengan mempersiapkan studi pra – kelayakan. *Software RETScreen* mungkin yang tercepat dan menjadi salah satu alat termudah untuk mengestimasi kelangsungan hidup serta potensi proyek energi bersih. *RETScreen* menyediakan akses ke *database* iklim global berdasarkan pengukuran tanah dan data satelit NASA, analisa proyek di seluruh dunia yang memungkinkan. Perangkat lunak ini tersedia dalam 35 bahasa dan termasuk *database* peralatan untuk komponen yang diproduksi dan tersedia di seluruh dunia [25]. Pada penelitian ini perangkat lunak *RETScreen* digunakan untuk mendukung perhitungan analisis ekonomi.

3.11 Kesimpulan Dan Saran

Kesimpulan merupakan rangkuman atau inti dari suatu penelitian yang telah dilakukan dan harus sesuai dengan tujuan yang akan dicapai dan saran merupakan suatu masukan yang bertujuan untuk memberikan nasihat atau masukan yang bersifat membangun agar penelitian selanjutnya menjadi lebih baik.



5.1 Kesimpulan

Melalui proses digestifikasi anaerobik pada keadaan *mesophilic* dengan menggunakan jenis digester *chines fixed dome*, dengan memanfaatkan limbah cair kelapa sawit POME yang ada di PKS PT. Persada Nusa Nabati Indonesia dapat dimanfaatkan sebagai biogas untuk pembangkit energi listrik dengan produksi gas metana yang telah dimurnikan sebesar 8.804,57m³/h, dan menghasilkan daya sebesar 1.083,71 kW atau sebesar 1.08 MW.

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

1. Dari potensi jumlah limbah cair kelapa sawit (POME) didapatkan bahan baku harian sebesar 980,68 ton TBS/hari, dan aliran limbah cair harian didapatkan sebesar 686,47m³/hari, dan untuk COD loading didapatkan sebesar 29.422,14 kg/hari, sedangkan untuk produksi CH₄ sebesar 9.267,97m³/hari selanjutnya untuk kapasitas pembangkit didapatkan nilai sebesar 1,61MW.

2. Berdasarkan hasil analisis Teknis PLTBG, untuk menentukan jenis digester yang akan di gunakan adalah jenis digester *Chines Fixed Dome*, dan perhitungan ukuran dari digester *Chines Fixed Dome* dihasilkan sebesar 20.780,75 m³, dan menggunakan 3 tangki dengan masing-masing volume sebesar 7000 m³, sedangkan untuk dimensi geometrikal digester didapatkan ukuran diameter digester sebesar 25,01 m dan tinggi efektif digester sebesar 10,01 m. Pengolahan Biogas sebelum memasuki gas engine menggunakan pemurnian H₂S menggunakan *Water Scrubber* memiliki tingkat kemurnian sebesar 95% sehingga biogas yang dihasilkan dari tingkat kemurnian sebesar 8.804,57m³/hari. Besar produksi listrik yang dihasilkan setelah pemurnian gas menghasilkan 26.009,14 kWh/hari dan konversi listrik pada PLTBg menggunakan *gas engine* berkapsitas 2 x 600 kW.

3. Berdasarkan hasil analisis ekonomi dan finansial diperoleh biaya investasi sebesar Rp 1.585.891.195, biaya operasional dan pemeliharaan sebesar Rp.85.188.428, dan biaya pendapatan yang dihasilkan sebesar Rp 203.161.592. Selama umur proyek 20 tahun dan tingkat suku bunga 5%, *Cash Flow Benefit* yang dihasilkan adalah sebesar Rp 2.531.842.486,80 dan rata-rata pendapatan pertahun sebesar Rp 126.592.124, *Cash*



Flow Cost pada tahun ke-0 sebesar Rp 1.539.765.635 dan pada tahun ke-20 sebesar Rp.32.106.622 dengan NPV yang dihasilkan sebesar Rp -69.559.248 dan *Payback Periode* selama 16,4 tahun.

Saran

Adapun beberapa saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya ialah :

Pada penelitian selanjutnya untuk perhitungan analisis teknis dapat menggunakan *software* agar mendapatkan hasil yang maksimal dan Praktis.

Pada penelitian selanjutnya harus membahas masalah Emisi dan Analisis Resiko agar mendapatkan hasil yang maksimal.

Sebaiknya kepada PT. Persada Nusa Nabati Indonesia maupun lembaga terkait mengoptimalkan pemanfaatan limbah cair kelapa sawit menjadi sumber energi listrik untuk meningkatkan kualitas listrik dan pendapatan serta lingkungan.

5.2 Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

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



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tinjauan Pasar Kelapa Sawit. 2014. Laporan Penilaian Aset. 2014.
- [2] Badan Statistik Tahun 2017, Statistik Kelapa Sawit Indonesia, *Indonesian Oil Palm Statistic*. 2017.
- [3] Ir. Sri Ambar Kusumawati, MSi “ Kebijakan dan Realita Perkebunan dan Industri Kelapa Sawit di Provinsi Riau. Jakarta, Tahun 2018.
- [4] Badan Pusat Statistik Kabupaten Siak. Tahun 2017.
- [5] Ade Sri Rahayu, Dkk. Buku Konversi POME Menjadi Biogas. Tahun 2015.
- [6] K.C. Surendra, Dkk. “*Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges*” Tahun 2014.
- [7] Dian Andriani, Dkk. “*A review of recycling of human excreta to energy through biogas generation: Indonesia case* ” Tahun 2014.
- [8] PT. Persada Nusa Nabati Indonesia. Tahun 2019.
- [9] Widiatmini Sih Widianti, Dkk. “*Pengolahan Palm Oil Mill Effluent(POME) Menjadi Biogas dengan Sistem Anaerobik Tipe Fixed Bed Tanpa Proses Netralisasi*. Tahun 2019.
- [10] Saroho, dkk. “ Strategi Implentasi Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Menjadi Energi Listrik”. Tahun 2014.
- [11] Reza Putra Astamura, Dkk. “ Kajian Teknis dan Keekonomian Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dari Limbah Cair Kelapa Sawit (Studi Kasus di Bangka). Tahun 2018.
- [12] Luthfi Parinduri. “ Analisa Pemanfaatan POME Untuk Sumber Pembangkit Listrik Tenaga Biogas di Pabrik Kelapa Sawit ”. Tahun 2018.
- [13] Akhwari, Wahyu, dkk. “ Studi-Tekno-Ekonomi Pemurnian Biogas Dari Limbah Domestik ”. Tahun 2012.
- [14] David Partogi Butar-butar, dkk. “Analisis Biaya Produksi Listrik Per kWh Menggunakan Bahan Bakar Biogas Limbah Cair Kelapa Sawit (Aplikasi Pada PLTBGS PKS Tandun) ” Tahun. 2014.
- [15] Bambang Suhcahyo, dkk. “ Kajian Teknologi Pemanfaatan Biogas POME (*Palm Oil Mill Effluent*) ke Boiler. Tahun 2019.
- [16] Agus Sugiyono, dkk. “Analisis Keekonomian Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dari POME Dengan *Continuis Stired Tank Reacktor* (CSTR). Tahun. 2019



[17]

Safrizal. “ *Small Renewable Energy Biogas Limbah Cair (POME) Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Tipe Covered Lagoon Alternatif Defisit Listrik Di Provinsi Riau* ” Tahun 2015.

[18]

Arif Zulkifli. “ Analisis Kelayakan Potensi Pembangunan PLTBg POME di Wilayah Perkebunan Sawit ” Tahun 2017.

[19]

Buku *An Introduction to Anaerobic Digestion Of Organic Wastes*

[20]

Biogas Hand Book.

[21]

Buku Graha Ilmu : *Teknologi Biogas, Pembuatan, Operasional, dan Pemanfaatan.*

[22]

Buku *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries Practical Information and Case Studies*

[23]

Adriana Perez Garcia. “*Techno-economic feasibility study of a small-scale biogas plant for treating market waste in the city of El Alto.*” Tahun 2014.

[24]

Mahmud. “Analisis Tekno Ekonomi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Anaerobik Biogas Dengan Pemanfaatan Kotoran Sapi Di Desa Galang ” Tahun. 2015.

[25]

RETSCREEN® ENGINEERING & CASES TEXTBOOK.

[26]

Nasrudin., B. M. Sinaga, M. Firdaus, and D. Walujadi, “Prediksi Nilai Tukar Rupiah dalam Integrasi Ekonomi Regional Asean - China,” *Finance Bank Journal*, vol. 16, no. 1, pp. 63–76, 2014.

[27]

Manjula Das Ghatak, Prof. P.Mahanta “ Biogas Purification Using Chemical Absorption ” vol. 8, No. 3, jun-jul , 2016.

[28]

Ardiansyah, “Kajian Potensi Limbah Kotoran Manusia Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Di Kota Pontianak,” *ELKHA*, vol. 9, no. 2, pp. 53–60, 2017.

[29]

Sulistyo. Agung, “Analisis Pemanfaatan Sampah Organik Di Pasar Induk Kramat Jati Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Biogas” Fakultas Teknik Program Magister Teknik Elektro Depok Universitas Indonesia, 2010.

[30]

Dirga, sidauruk. “ Analisis Kelayakan Investasi Menggunakan Metoda Discounted Cash Flow Tambang Galena PT Triple Eight Energy, Kecamatan Koto Parik Gadang Diarah Kabupaten Solok Selatan Provinsi Sumatra Barat. Tahun, 2018.

[31]

Wahyu, Akhwari, Moh Fahrurrozi dan Muslihin Hidayat. “*Studi Tekno-Ekonomi Pemurnian Biogas dari Limbah Domestik*”. Program Studi Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. 2012.

K. Bernhard, J. Olwa, A. Martin dan E. Menya. *Techno-Economic Assessment of Municipal Solid Waste Gasification for Electricity Generation: a Case Study of Kampala City Uganda. Agric Eng Int: CIGR Journal Open*. Vol 17 No 4.2015.

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 B

BEBAN LISTRIK PT.PERSADA NUSA NABATI INDONESIA

NO	PT. Persada Nusa Nabati Indonesia	Jumlah	JumlahDaya (kW)
1	Pabrik	1	850
2	Kantor	1	15
3	Perumahan	36 non AC- 4 AC	55.6
4	Mushollah	1	0.9
5	Penerangan	-	10
Total Daya			931,5 kW

LAMPIRAN C

DATA PRODUKSI TANDAN BUAH SEGAR (TBS) PT.PERSADA NUSA NABATI INDONESIA(MINAS TIMUR. SIAK) (Tahun : 2017 – 2018 -2019)

Bulan	ProduksiTandanBuah Segar (TBS 45Ton/jam)		
	2017	2018	2019
Januari	23.992,90	19.979,00	22.555,50
Febuari	23.775,27	19.705,00	23.716,50
Maret	21.331,00	23.757,00	25.974,37
April	20.862,38	20.853,15	25.221,00
Mei	19.379,70	23.837,00	22.495,10
Juni	20.144,92	24.905,09	19.899,45
July	23.924,76	23.881,18	23.922,40
Agustus	19.123,00	22.990,13	20.578,74
September	25.890,00	17.991,25	21.792,44
Oktober	20.392,47	20.259,25	26.825,00
November	20.151,50	21.088,39	23.017,00
Desember	20.134,00	22.924,60	25.005,19
Total	259.101,09	262.171,04	281.402,69

LAMPIRAN D

DATA *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* (COD) PT. PERSADA NUSA NABATI INDONESIA(MINAS TIMUR.SIAK)

Bulan	<i>Chemical Oxygen Demand (COD) (mg/L)</i> Acuan Method (SNI 6989.73-2009)		
	2017	2018	2019
Januari	969.500	928.232	1.098.801
Febuari	891.969	1.050.940	1.066.947
Maret	936.650	1.003.110	1.026.886
April	876.999	996.986	1.081.014
Mei	1.967.908	1.077.478	1.087.407
Juni	900231	1.009.880	1.010.006
July	1.097.960	1.034.909	1.057.559
Agustus	914.560	1.056.756	1.062442
September	802.122	1.097.221	1.000.200
Oktober	897.679	731.980	1.064.074
November	802.662	1.099.910	1.089.320
Desember	782.222	1.098.858	1.060.630
Total	11.836.422	12.186.260	12.705.286

LAMPIRAN E

CASH FLOW BENEFIT

$$\begin{aligned} \text{CFB}^1 &= \textit{Benefit} (1 + i)^1 \\ &= \text{Rp } 203.161.592 (1 + 0,05)^{-1} \\ &= \text{Rp } 193.487.230,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CFB}^2 &= \textit{Benefit} (1 + i)^{-2} \\ &= \text{Rp } 203.161.592 (1 + 0,05)^{-2} \\ &= \text{Rp } 184.273.552,38 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CFB}^3 &= \textit{Benefit} (1 + i)^{-3} \\ &= \text{Rp } 203.161.592 (1 + 0,05)^{-3} \\ &= \text{Rp } 175.498.621,32 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CFB}^4 &= \textit{Benefit} (1 + i)^{-4} \\ &= \text{Rp } 203.161.592 (1 + 0,05)^{-4} \\ &= \text{Rp } 167.141.544,11 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CFB}^5 &= \textit{Benefit} (1 + i)^{-5} \\ &= \text{Rp } 203.161.592 (1 + 0,05)^{-5} \\ &= \text{Rp } 159.182.422,96 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CFB}^6 &= \textit{Benefit} (1 + i)^{-6} \\ &= \text{Rp } 203.161.592 (1 + 0,05)^{-6} \\ &= \text{Rp } 151.602.307,58 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CFB}^7 &= \textit{Benefit} (1 + i)^{-7} \\ &= \text{Rp } 203.161.592 (1 + 0,05)^{-7} \end{aligned}$$

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

- Hak Cipta 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.

$$= \text{Rp } 144.383.150,08$$

$$\begin{aligned} \text{CFB}^8 &= \textit{Benefit} (1 + i)^8 \\ &= \text{Rp } 203.161.592 (1 + 0,05)^{-8} \\ &= \text{Rp } 137.507.761,98 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CFB}^9 &= \textit{Benefit} (1 + i)^9 \\ &= \text{Rp } 203.161.592 (1 + 0,05)^{-9} \\ &= \text{Rp } 130.959.773,31 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CFB}^{10} &= \textit{Benefit} (1 + i)^{10} \\ &= \text{Rp } 203.161.592 (1 + 0,05)^{-10} \\ &= \text{Rp } 124.723.593,63 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CFB}^{11} &= \textit{Benefit} (1 + i)^{11} \\ &= \text{Rp } 203.161.592 (1 + 0,05)^{-11} \\ &= \text{Rp } 118.784.374,89 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CFB}^{12} &= \textit{Benefit} (1 + i)^{12} \\ &= \text{Rp } 203.161.592 (1 + 0,05)^{-12} \\ &= \text{Rp } 113.127.976,08 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CFB}^{13} &= \textit{Benefit} (1 + i)^{13} \\ &= \text{Rp } 203.161.592 (1 + 0,05)^{-13} \\ &= \text{Rp } 107.740.929,60 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CFB}^{14} &= \textit{Benefit} (1 + i)^{14} \\ &= \text{Rp } 203.161.592 (1 + 0,05)^{-14} \\ &= \text{Rp } 102.610.409,15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CFB}^{15} &= \textit{Benefit} (1 + i)^{15} \\
 &= \text{Rp } 203.161.592 (1 + 0,05)^{-15} \\
 &= \text{Rp } 97.724.199,19 \\
 \text{CFB}^{16} &= \textit{Benefit} (1 + i)^{16} \\
 &= \text{Rp } 203.161.592 (1 + 0,05)^{-16} \\
 &= \text{Rp } 93.070.665,89 \\
 \text{CFB}^{17} &= \textit{Benefit} (1 + i)^{17} \\
 &= \text{Rp } 203.161.592 (1 + 0,05)^{-17} \\
 &= \text{Rp } 88.638.729,42 \\
 \text{CFB}^{18} &= \textit{Benefit} (1 + i)^{18} \\
 &= \text{Rp } 203.161.592 (1 + 0,05)^{-18} \\
 &= \text{Rp } 84.417.837,54 \\
 \text{CFB}^{19} &= \textit{Benefit} (1 + i)^{19} \\
 &= \text{Rp } 203.161.592 (1 + 0,05)^{-19} \\
 &= \text{Rp } 80.397.940,52 \\
 \text{CFB}^{20} &= \textit{Benefit} (1 + i)^{-20} \\
 &= \text{Rp } 203.161.592 (1 + 0,05)^{-20} \\
 &= \text{Rp } 76.569.467,16
 \end{aligned}$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

LAMPIRAN F

PRESENT WORTH FUNCTION

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

1. *Present Worth Function* (PWF) Tahun ke-0

$$\text{PWF} = \frac{1}{(1+i)^n}$$

$$\text{PWF}^0 = \frac{1}{(1+0,05)^0} = 1$$

2. *Present Worth Function* (PWF) Tahun ke-1

$$\text{PWF} = \frac{1}{(1+i)^n}$$

$$\text{PWF}^1 = \frac{1}{(1+0,05)^1} = 0,95$$

3. *Present Worth Function* (PWF) Tahun ke-2

$$\text{PWF} = \frac{1}{(1+i)^n}$$

$$\text{PWF}^2 = \frac{1}{(1+0,05)^2} = 0,91$$

4. *Present Worth Function* (PWF) Tahun ke-3

$$\text{PWF} = \frac{1}{(1+i)^n}$$

$$\text{PWF}^3 = \frac{1}{(1+0,05)^3} = 0,86$$

5. *Present Worth Function* (PWF) Tahun ke-4

$$\text{PWF} = \frac{1}{(1+i)^n}$$

$$\text{PWF}^4 = \frac{1}{(1+0,05)^4} = 0,82$$



6. *Present Worth Function (PWF)*Tahun ke-5

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

$$PWF^5 = \frac{1}{(1+0,05)^5} = 0,78$$

7. *Present Worth Function (PWF)*Tahun ke-6

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

$$PWF^6 = \frac{1}{(1+0,05)^6} = 0,75$$

8. *Present Worth Function (PWF)*Tahun ke-7

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

$$PWF^7 = \frac{1}{(1+0,05)^7} = 0,71$$

9. *Present Worth Function (PWF)*Tahun ke-8

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

$$PWF^8 = \frac{1}{(1+0,05)^8} = 0,68$$

10. *Present Worth Function (PWF)*Tahun ke-9

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

$$PWF^9 = \frac{1}{(1+0,05)^9} = 0,64$$

11. *Present Worth Function (PWF)*Tahun ke-10

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

$$PWF^{10} = \frac{1}{(1+0,05)^{10}} = 0,61$$

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.



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

$$PWF^{11} = \frac{1}{(1+0,05)^{11}} = 0,58$$

12. *Present Worth Function (PWF)*Tahun ke-11

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

$$PWF^{12} = \frac{1}{(1+0,05)^{12}} = 0,56$$

13. *Present Worth Function (PWF)*Tahun ke-12

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

$$PWF^{13} = \frac{1}{(1+0,05)^{13}} = 0,53$$

14. *Present Worth Function (PWF)*Tahun ke-13

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

$$PWF^{14} = \frac{1}{(1+0,05)^{14}} = 0,51$$

15. *Present Worth Function (PWF)*Tahun ke-14

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

$$PWF^{15} = \frac{1}{(1+0,05)^{15}} = 0,48$$

16. *Present Worth Function (PWF)*Tahun ke-15

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

$$PWF^{16} = \frac{1}{(1+0,05)^{16}} = 0,46$$

17. *Present Worth Function (PWF)*Tahun ke-16

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.



18. *Present Worth Function (PWF)*Tahun ke-17

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

$$PWF^{17} = \frac{1}{(1 + 0,05)^{17}} = 0,44$$

19. *Present Worth Function (PWF)*Tahun ke-18

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

$$PWF^{18} = \frac{1}{(1 + 0,05)^{18}} = 0,42$$

20. *Present Worth Function (PWF)*Tahun ke-19

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

$$PWF^{19} = \frac{1}{(1 + 0,05)^{19}} = 0,40$$

21. *Present Worth Function (PWF)*Tahun ke-20

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

$$PWF^{20} = \frac{1}{(1 + 0,05)^{20}} = 0,38$$

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.