

TUGAS AKHIR

ANALISIS PEMANFAATAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT POME SEBAGAI PLTBG DI PKS BANDAR PASIR MANDOGGE

*Diajukan untuk Memenuhi Ssyarat memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

Wahyu Pramansyah

1907220014



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:


Nama : Wahyu Pramansyah
NPM : 1907220014
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis pemanfaatan limbah cair kelapa sawit (POME) sebagai PLTBg di PKS Bandar Pasir Mandoge Kabupaten Asahan
Bidang ilmu : Energi Baru Terbarukan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

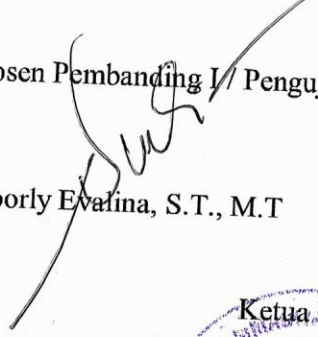
Medan, 20 Oktober 2023

Mengetahui dan menyetujui:

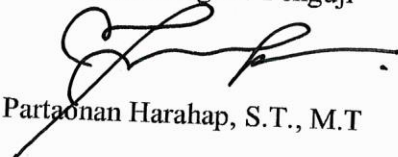
Dosen Pembimbing I/ Penguji


Rimbawati, S.T., M.T

Dosen Pembimbing II/ Penguji


Noorly Evafina, S.T., M.T

Dosen Pembimbing II / Penguji


Partaonan Harahap, S.T., M.T

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Faisal Iqbal Sasaribu, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Wahyu Pramansyah
Tempat /Tanggal Lahir : Manunggal / 20 Oktober 2001
NPM : 1907220014
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisis pemanfaatan limbah cair kelapa sawit(POME) Sebagai PLTBg di PKS Bandar Pasir Mandoge Kabupaten Asahan”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 20 Oktober 2023

Saya yang menyatakan



Wahyu Pramansyah

ABSTRAK

Perkembangan perkebunan kelapa sawit di Indonesia begitu pesat. Kelapa sawit menghasilkan limbah cair berupa POME (Palm Oil Mill Effluent). Limbah POME jika dibiarkan dan tidak diolah akan mengakibatkan pencemaran lingkungan, terutama pada ekosistem perairan. PLTBg Pasir Mandoge merupakan pembangkit listrik yang dibangun oleh PTPN IV Bandar Pasir Mandoge yang memanfaatkan limbah POME yang merupakan hasil produksi dari PKS Pasir Mandoge menjadi sumber energi baru dan terbarukan di wilayah PTPN IV Bandar Pasir Mandoge tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Proses pemanfaatan limbah POME sebagai PLTBg di PKS Bandar Pasir Mandoge serta jumlah volume limbah POME dan biogas yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya 1,1 x 2MW. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif. Pengumpulan data dilakukan dengan metode wawancara, observasi, dan dokumentasi. Analisis data menggunakan reduksi data, sajian data, dan penarikan kesimpulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total volume biogas yang dihasilkan dari 1.320 ton TBS adalah 23.760 m³. Dengan kapasitas produksi sebesar 60 Ton/Jam dan POME yang dihasilkan sebesar 60% dengan jam produksi selama 22jam/Hari. Biogas yang dihasilkan dari per m³ POME sebesar 30m³/m³ dengan masa storage selama 44 jam. Untuk menghasilkan daya 1,1 x 2Mw membutuhkan TBS kelapa sawit 2.640 Ton, limbah POME (Palm Oil Mill Effluent) 1.584 m³ dengan biogas 47.520 m³. Untuk memenuhi kapasitas 2MW.

Kata Kunci :Limbah Padat, PLTBg, POME, Biogas

ABSTRACT

The development of oil palm plantations in Indonesia is very rapid. Palm oil produces liquid waste in the form of POME (Palm Oil Mill Effluent). If POME waste is left unprocessed it will cause environmental pollution, especially in aquatic ecosystems. PLTBg Pasir Mandoge is a power plant built by PTPN IV Bandar Pasir Mandoge which utilizes POME waste which is the result of production from PKS Pasir Mandoge to become a new and renewable energy source in the PTPN IV Bandar Pasir Mandoge area. This research aims to determine the process of utilizing POME waste as PLTBg at Bandar Pasir Mandoge PKS as well as the volume of POME waste and biogas needed to produce 1.1 x 2MW of power. This research uses a qualitative approach. Data collection was carried out using interviews, observation and documentation methods. Data analysis uses data reduction, data presentation, and drawing conclusions. The research results show that the total volume of biogas produced from 1,320 tons of FFB is 23,760 m³. With a production capacity of 60 tons/hour and POME produced of 60% with production hours of 22 hours/day. The biogas produced per m³ of POME is 30m³/m³ with a storage period of 44 hours. To produce 1.1 x 2 Mw of power requires 2,640 tonnes of palm oil FFB, 1,584 m³ of POME (Palm Oil Mill Effluent) waste and 47,520 m³ of biogas. To meet 2MW capacity.

Keywords: Solid Waste, PLTBg, POME, Biogas

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “**Analisis Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit (POME) Sebagai PLTBg Di PKS Bandar Pasir Mandoge**” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan. Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Orang tua saya yang telah mendoakan serta memberi dukungan.
2. Ibunda Rimbawati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregarr, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T.,M,T. selaku ketua Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik elektroan kepada penulis.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Teman-teman seperjuangan berikut :Abdul wahid, Arjuna.
8. Teman-teman Seperjuangan Teknik Elektro Kelas A3 Malam Stambuk 2019

Tentu proposal tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, Oleh sebab itu penulis memohon kritik dan saran serta masukan yang membangun. Harapan penulis proposal tugas akhir ini dapat menambah pengetahuan hal baru mengenai bidang elektro khususnya di energy baru terbarukan.

Medan, 20 September 2023

Wahyu Pramansyah

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABLE	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Landasan Teori	5
2.2.1 Tinjauan Pustaka Relevan.....	5
2.2.2 Palm Oil Mill Effluent.....	8
2.2.3 Pengolahan POME.....	13
2.2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Biogas.....	17
2.2.5 Proses pembentukan Biogas	20
2.2.6 Komponen PLTBg limbah POME (Palm oil mill effluent).....	26
2.2.7 Konversi POME (Palm Oil Mill Effluent) ke Energy listrik.....	34

2.2.8 Instrumentasi dan control PLTBg Kapasitas 2MWe	38
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	41
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	41
3.2 Metode Pengumpulan Data	41
3.3 Jadwal Pelaksanaan Penelitian	42
3.4 Jalannya Penelitian	42
3.5 Sumber Data	44
3.5.1 Data Produksi Biogas.....	44
3.5.2 Data Produksi TBS di Bulan Mei	45
3.5.3 Bagan Process Of Biogas Plant	47
3.5.4 Karakteristik limbah POME	51
3.5.5 Uji Lab limbah POME (Palm Oil Mill Effluent).....	52
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Hasil produksi limbah POME selama 1 bulan	55
4.2 Perhitungan Volume Biogas.....	57
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2. Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	63

DAFTAR TABLE

2.1 Tabel Karakteristik limbah cair pome.....	11
2.2 Tabel Baku mutu air limbah	12
2.3 Tabel CSTR dan kolam tertutup	14
2.4 Tabel Spesifikasi gas engine	33
2.5 Tabel Potensi biogas dari POME	34
2.6 Tabel Pemanfaatan biogas.....	35
2.7 Tabel komponen PLTBg POME.....	39
3.1 Tabel Jadwal pelaksanaan penelitian	42
3.2 Tabel Produksi Biogas	44
3.3 Tabel konsumsi Biogas	44
3.4 Tabel Cadangan Biogas.....	45
3.5 Tabel produksi TBS bulan Mei.....	45
3.6 Tabel karakteristik limbah POME	51
3.7 Tabel Uji Lab limbah POME	52
4.1 Tabel Produksi POME dan TBS	55
4.2 Tabel hasil perhitungan	59

DAFTAR GAMBAR

2.1 Gambar Penampungan POME	11
2.2 Gambar kolam tertutup	13
2.3 Gambar CSTR.....	14
2.4 Gambar covered lagoon	17
2.5 Gambar Konstruksi reactor biogas.....	17
2.6 Gambar kubah gas tetap	19
2.7 Gambar kubah gas apung.....	19
2.8 Gambar Lagoon PLTBg.....	27
2.9 Gambar Scrubber	29
2.10 Gambar Dehumidifier	30
2.11 Gambar Mixing blower.....	31
2.12 Gambar Flare.....	32
2.13 Gambar Gas engine	33
2.14 Gambar Proses konversi POME ke biogas	35
2.15 Gambar Bak penampung POME.....	35
2.16 Gambar Instrumen PLTBg POME.....	38
3.1 Gambar Diagram alir penelitian.....	43
3.2 Gambar Bagan proses biogas plant.....	45
3.3 Gambar penampung POME PKS.....	47
3.4 Gambar Coling Pond PKS	48
3.5 Gambar Bak feeding PKS.....	48
3.6 Gambar Fedding pump.....	49
3.7 Gambar mixing Blower.....	49
3.8 Gambar Flare.....	50
3.9 Gambar limbah POME.....	53
4.1 Gambar grafik konsumsi.....	59

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kelapa sawit merupakan jenis tanaman perkebunan yang penting baik dalam industri pertanian maupun perkebunan. Kelapa sawit merupakan komoditas terpenting di Indonesia, dan pertumbuhannya begitu pesat. Lingkungan, karakteristik fisik lahan, dan sifat kimiawi tanah, atau kesuburan tanah, semuanya harus dipertimbangkan saat menentukan lahan kelapa sawit yang ideal. Sifat fisik dan kimia tanah yang meliputi struktur tanah dan drainase tanah yang baik perlu diperhatikan agar diperoleh hasil yang terbaik dari budidaya kelapa sawit di perkebunan komersial. Provinsi Sumatera Utara di Indonesia memiliki potensi perkebunan kelapa sawit yang sangat besar, menempati urutan kedua setelah Riau.[1]

Indonesia menduduki salah satu peringkat produsen kelapa sawit dunia. Luas area perkebunan kelapa sawit di Indonesia 14.456.611 Ha dengan produksi CPO Sebesar 47.120.247 Ton pada tahun 2019. Perkebunan kelapa sawit Indonesia tersebar di 26 provinsi. Pulau Sumatera memiliki luas lahan perkebunan terbesar hingga mencapai 7.944.520 Ha disusul Pulau Kalimantan dengan luas sebesar 5.820.406 Ha. Di Provinsi Sumatera Utara luas perkebunan kelapa sawit seluas 1.372.273 Ha dengan Produksi CPO mencapai pada tahun 2019. Sementara itu, Kabupaten Asahan yang menjadi studi kasus pada penelitian ini memiliki luas perkebunan kelapa sawit seluas 77.147 Ha dengan produksi CPO Sebesar 356.943 ton CPO. Luas perkebunan Kelapa Sawit di Kabupaten Asahan terdiri dari 1.202 Ha (TBM), 75.346 (TM) dan 559 Ha (TR/TTM). Dari luas total luas perkebunan kelapa sawit di kabupaten Asahan yang sudah menghasilkan didapati produksi sebanyak 4.737 Kg atau 4,7 ton/ Ha. [2]

Salah satu kecamatan yang ada di Kabupaten Asahan adalah Kecamatan Simpang Empat. Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas unggulan dari Simpang Empat Kecamatan. Di Kecamatan Simpang Empat Bandar Pasir Mandoge memiliki perkebunan kelapa sawit seluas 9.461 ha dan menghasilkan 201.618,22 ton di tahun 2015. Dari data diatas mengenai Perkebunan kelapa

sawit, Tentu tidak sedikit limbah yang dihasilkan dari Kelapa Sawit. Kelapa sawit menghasilkan dua jenis limbah: limbah cair dan limbah padat. Kelapa Sawit merupakan tanaman budidaya yang menghasilkan Crude Palm Oil (CPO) sebanyak 22 %, kernel 5 % dari proses pengolahan kelapa sawit dalam 1 ton kelapa sawit akan mampu menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebanyak 22 % atau 220 kg, limbah cangkang (Shell) sebanyak 6 % atau 60 kg, wet decanter solid (lumpur sawit) 4 % atau 40 kg, serabut (Fiber) 13 % atau 130 kg serta limbah cair sebanyak 28 %. [3]

Limbah cair pabrik kelapa sawit disebut juga kondensat rebus, limbah penjernihan minyak mentah, dan limbah lumpur dari proses pemisahan, merupakan limbah cair yang dihasilkan atau berasal dari air limbah pengolahan kelapa sawit. Unit pengolah menghasilkan limbah cair POME terbanyak, diikuti oleh unit klarifikasi (60 persen), stasiun perebusan (36 persen), dan stasiun inti (4%). [4] POME memiliki tingkat keasaman yang tinggi dan banyak bahan organik, maka akan menimbulkan masalah pencemaran jika dilepaskan langsung ke lingkungan. Selain itu, pengolahan limbah cair POME yang tidak tepat dapat mengakibatkan emisi gas rumah kaca (GRK) ke udara, yang memberikan kontribusi terhadap pemanasan global dan juga berpotensi mencemari lingkungan dengan tingkat keasaman yang tinggi dan mengganggu kelangsungan hidup biota perairan jika dilepaskan ke saluran air.

Penelitian terkait pemanfaatan limbah POME sudah dilakukan di beberapa PKS. Dengan memanfaatkan limbah POME dapat mengurangi dampak lingkungan yang terjadi disekitar PKS dalam jangka Panjang. PLTBg Pasir Mandoge merupakan pembangkit listrik yang dibangun oleh PTPN IV Bandar Pasir Mandoge yang memanfaatkan limbah hasil produksi dari PKS Pasir Mandoge menjadi sumber energi baru dan terbarukan diwilayah PTPN IV Bandar Pasir Mandoge tersebut. PLTBg Bandar Pasir Mandoge yang terletak di Kabupaten Asahan menjadi studi kasus didalam penelitian ini dengan judul “Analisis Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit (POME) Sebagai PLTBg di PKS Bandar Pasir Mandoge ”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar yang telah diuraikan diatas maka dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu:

1. Berapa jumlah limbah POME yang dihasilkan selama 1 bulan dari produksi TBS yang dihasilkan dari PKS Bandar Pasir Mandoge Kabupaten Asahan?
2. Berapa jumlah volume limbah POME dan volume biogas yang diperlukan untuk menghasilkan daya 1,1x 2MW ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dari “Analisa Pemanfaatan Limbah Cair (POME) Sebagai PLTBg di PKS Pasir Mandoge Kabupaten Asahan” yaitu:

1. Mengetahui Proses pemanfaatan limbah POME sebagai PLTBg di PKS Bandar Pasir Mandoge
2. Mengetahui jumlah volume biogas untuk menghasilkan daya 1,1 x 2MW

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian tugas akhir ini terarah tanpa mengurangi maksud dan tujuan, maka ditetapkan ruang lingkup dalam penelitian sebagai berikut:

1. Melakukan analisa pada proses pemanfaatan limbah POME sebagai PLTBg di PKS Bandar Pasir Mandoge
2. Melakukan analisa perhitungan terhadap proses konversi POME ke energy listrik.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini meliputi beberapa aspek yaitu, aspek lingkungan, aspek pengetahuan, dan aspek ekonomi. Aspek dari lingkungan yaitu melakukan pengolahan limbah yang dapat merusak lingkungan menjadi hal yang bermanfaat dan dapat digunakan sebagai energi alternative yang sangat berguna untuk mengurangi dampak pencemaran lingkungan. Dari aspek pengetahuan dapat dilihat dari cara pengolahan limbah tersebut menjadi hal yang bermanfaat merupakan suatu pengetahuan baru bagi masyarakat sekitar untuk merubah pola pikir agar pemanfaatan limbah POME dapat dimanfaatkan dengan baik. Dari sisi ekonomi, limbah POME berguna sebagai energi alternative yang diharapkan dapat mengurangi biaya pengeluaran terhadap pembelian energi listrik secara massif.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang pendahuluan, latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka relevan, yang mana berisikan tentang teori-teori penunjang keberhasilan didalam masalah pembuatan tugas akhir ini. Ada juga teori dasar yang berisikan tentang penjelasan dari dasar teori dan penjelasan komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang letak lokasi penelitian, fungsi-fungsi dari alat dan bahan penelitian, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan, tata cara dalam pengujian, dan struktur dari langkah-langkah pengujian

BAB IV ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang analisis hasil dari penelitian, serta penyelesaian masalah yang terdapat didalam penelitian ini.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian dan saran-saran positif untuk pengembangan penelitian ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Pabrik Kelapa sawit di Indonesia khususnya di Sumatera semakin berkembang pesat. Hal ini sejalan dengan limbah yang dihasilkan oleh kelapa sawit yaitu Palm Oil Mill Effluent (POME) semakin meningkat. Meningkatnya produksi Crude Palm Oil (CPO) di Indonesia, maka akan menghasilkan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dalam jumlah yang besar pula. Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) akan menjadi masalah pencemaran lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Hal ini dikarenakan LCPKS memiliki kandungan Biochemical Oxygen Demand (BOD), Total Suspended Solid (TSS), minyak dan lemak yang melebihi ambang batas baku mutu lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan suatu upaya untuk mengurangi kadar BOD, TSS, minyak dan lemak yang terkandung dalam LCPKS ini.[5]

POME merupakan limbah yang mempunyai potensi yang dapat diubah menjadi sumber energi alternatif yaitu energi listrik. Limbah ini cukup besar jumlahnya dan dapat dikonversi menjadi biogas yang selanjutnya dapat digunakan sebagai sumber energi listrik. Perhitungan aliran POME 1 ton TBS menghasilkan 0,6 m³ POME.[6] Pada pabrik kelapa sawit kapasitas PKS sebesar 30 ton TBS/jam yang telah memanfaatkan POME dengan sistem Covered Lagoon 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 ± 28 m³ /ton TBS.

Kapasitas PKS sebesar 60 ton TBS/jam akan dihasilkan biogas ± 840 m³/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. [7]

Penelitian ini telah didapat nilai COD loading yang dihasilkan dari energi limbah cair kelapa sawit sebagai alternatif pembangkit listrik di PKS dengan menggunakan COD minimum dan maksimum diperoleh nilai sebesar 240.034,40 kg COD/tahun sampai dengan 360.051,60 kg COD/tahun. Produksi CH₄ yang dihasilkan dari energi limbah cair kelapa sawit sebagai alternatif pembangkit listrik menggunakan COD minimum dan maksimum sebesar 75.610,834 Nm³ CH₄/tahun sampai dengan 113.416,25 Nm³ CH₄/tahun. Potensi energi listrik yang dihasilkan dari energi limbah cair kelapa sawit sebagai alternatif pembangkit listrik menggunakan COD minimum dan maksimum sebesar 287.321,192 kWh/tahun dan 430.981,75 kWh/tahun.[6]

Diketahui pada penelitian sebelumnya 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 alternative (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).

Sementara itu, Agroindustri 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. [8]

Telah dilakukan analisa potensi pemanfaatan Palm Oil Mill Effluent (POME) sebagai bahan baku Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) di PKS PT. Fajar Saudara Kusuma yang terletak di Kabupaten Sambas, Kalimantan Barat. PKS PT. Fajar Saudara Kusuma merupakan pabrik kelapa sawit swasta yang memiliki kapasitas produksi mencapai 30 ton/jam. Jenis data digunakan dalam analisa ini yaitu data sekunder yang meliputi data TBS olah dan debit limbah yang dihasilkan pabrik. Pada tahun 2016 PKS PT. Fajar Saudara Kusuma mengolah 112.533,22 ton TBS dengan menghasilkan limbah POME sebesar 86.695,08 m³ dan ditahun 2017 pabrik mengolah 114.395,38 ton TBS dengan menghasilkan limbah POME sebesar 88.706,80 m³. Hasil analisa potensi pemanfaatan POME pada PT. Fajar Saudara Kusuma ini jika digunakan sebagai bahan baku Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) dapat membangkitkan daya listrik sebesar 4.596,187 MW pada tahun 2016 dan 4.703,86 MW pada tahun 2017 dengan biaya produksi sebesar Rp 661,00/kWh.[9]

Palm Oil Mill Effluent (POME) merupakan limbah kelapa sawit yang mempunyai kadar Chemical Oxygen Demand (COD) dan Biochemical Oxygen Demand (BOD) yang tinggi sehingga merusak ekosistem perairan dan menurunkan kadar oksigen terlarut (DO). Namun POME memiliki nutrisi bagi sel alga untuk menghasilkan oksigen. Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan identifikasi POME yang jatuh ke badan air berdasarkan hasil fotosintesis *Chlorella* sp menggunakan biosensor. Biosensor telah banyak dikembangkan dalam aplikasi lingkungan dengan melihat kadar oksigen terlarut sebagai kualitas air. Penelitian ini menggunakan biosensor dengan prinsip sensor anamperometri tipe Biochip-G. Sensor amperometri mengukur perubahan arus reaksi reduksi dan oksidasi dan menghasilkan potensial keluaran yang dapat diukur. Diukur potensi keluaran limbah melarutkan kadar doksigen dari penambahan POME pada *Chlorella* sp. saat terjadi fotosintesis. Identifikasi POME berdasarkan proses fotosintesis *Chlorella* sp. menggunakan lampu LED putih buatan 380-780 nm dengan variasi tingkat konsentrasi POME sebanyak 10%, 20%, dan 30%. Berdasarkan pengukuran kadar oksigen terlarut (DO), nilai DO sebesar 174,15%, 154,66%, 138,98% dan nilai sensitivitasnya sebesar 4mV/% POME.[10]

2.2.2 Palm Oil Mill Effluent

Pengolahan minyak sawit di pabrik kelapa sawit menghasilkan limbah padat dan cair. Limbah cair tersebut berasal dari proses sterilisasi dan klarifikasi yang sering disebut dengan Palm Oil Mill Effluent (POME). POME menghasilkan emisi gas metana yang memicu terjadinya perubahan iklim. Meski mengeluarkan gas metana dan memiliki kandungan Chemical Oxygen Demand (COD) yang tinggi, namun POME berpotensi menjadi sumber energi pembangkit listrik biogas. Kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik dan menyuplai kebutuhan di pabrik atau sekitarnya. Pemanfaatan ini juga menghasilkan pengurangan emisi gas rumah kaca (khususnya yang dihasilkan dari pelepasan metana oleh POME). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya emisi yang dihasilkan pabrik kelapa sawit pada proses degradasi limbah sisa produksi. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui nilai keekonomian listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga biogas. Standar perhitungan perusahaan kontras dengan perhitungan IPCC untuk mengukur besaran emisi yang dihasilkan dari proses degradasi POME dan Tandan Buah Kosong (EFB). Rata-rata emisi yang dihasilkan sektor pengolahan sampah setiap tahunnya sebesar 9.503 t-CO₂/tahun dan nilai keekonomian [11]

Palm Oil Mill Effluent (POME) merupakan limbah minyak kelapa sawit yang memiliki kadar Chemical Oxygen Demand (COD) dan Biochemical Oxygen Demand (BOD) yang tinggi dan sehingga merusak ekosistem lingkungan serta menurunkan kadar oksigen terlarut (DO). Palm Oil Mill Effluent (POME) atau limbah cair kelapa sawit dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi yang berkontribusi dalam pengurangan emisi gas rumah kaca melalui penangkapan gas metana dan pengubahan biogas menjadi energi listrik. Potensi energy yang tinggi pada POME umumnya belum di eksploitasi secara optimum. Pembusukan POME secara alami menghasilkan biogas dengan kandungan utama (62%) gas methana (CH₄). Gas tersebut dihasilkan dari proses perombakan senyawa-senyawa organic secara anaerobic. Gas methane mempunyai tingkat emisi yang tinggi. Tercatat oleh UNFCC dan badan PBB yang mengatasi perubahan iklim bahwa gas methane 24 kali lebih tinggi dibandingkan dengan gas karbon (CO₂). Disamping itu, nilai energy yang cukup tinggi ditemukan di gas methana. Gas CH₄ ini

memiliki nilai kalor 50,1 MJ/Kg. jika densitas methana 0,717 kg/m³ maka 1m³ energy gas methana setara dengan 35,9 MJ atau sekitar 10 kWh.[7]

POME merupakan material kompleks dan mempunyai komposisi yang berbeda tergantung pada proses pengolahan Kelapa sawit menjadi Crude Palm Oil (CPO). Umumnya POME terdiri dari molekul organik dengan konsentrasi yang sangat tinggi seperti asam lemak bebas, protein, karbohidrat, senyawa nitrogen, dan lemak (termasuk triasilgliserol) dan mineral. POME adalah limbah kompleks yang mana tidak beracun tetapi dapat meningkatkan senyawa organik dan dapat menyebabkan pencemaran ekstrim. Karakteristik dari POME tergantung pada proses produksi dan bahan baku yang digunakan. Ketika pabrik dengan teknologi yang maju dapat memproses 150 MT tandan buah segar per jam dan menghasilkan POME dengan COD serendah 16 g O₂/ml, pabrik yang tidak memiliki teknologi yang maju mampu memproses 2,5MT dan memperoleh POME dengan COD setinggi 100 O₂/ml. Dalam tahapan produksi kelapa sawit, tetapi POME yang dihasilkan selama 3 tahapan yaitu pada perebusan (sterilization), setelah pemisahan kernel dari daging buah kelapa sawit dan setelah klarifikasi.[6]

Palm Oil Mill Effluent (POME) merupakan limbah cair pabrik kelapa sawit yang masih memiliki kandungan lemak. POME dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biodisel. Namun besarnya kandungan Asam Lemak Bebas (ALB), menjadikan POME harus dipreparasi sebelum dilakukan proses esterifikasi. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui perubahan nilai ALB dalam preparasi POME dan mengetahui perubahan ALB dengan adanya penambahan adsorben zeolite teraktivasi. Preparasi dilakukan dengan pemanasan POME pada suhu 60oC kemudian didegumming menggunakan asam phospat 3% selama 30 menit, dan dilanjutkan dengan bleaching menggunakan arang aktif dengan perbandingan 8:3 dari berat POME (dipanaskan pada suhu 100oC selama 1 jam). Adsorpsi dilakukan pada saat esterifikasi menggunakan zeolit aktif sebanyak 3% dari berat POME yang dipanaskan pada suhu 60oC selama 4 jam. Uji yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengecekan kadar ALB menggunakan metode titrasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa presentasi penurunan ALB yang terbaik terdapat pada perlakuan yang dilakukan proses degumming,

bleaching dan esterifikasi dengan zeolit. Efektivitas penurunan ALB dengan metode ini mencapai 45,20% [12]

Limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) yang dikenal dengan istilah Palm Oil Mill Effluent (POME) memiliki kandungan bahan organik yang tinggi, sehingga LCPKS harus diolah terlebih dahulu agar bisa digunakan sebagai pupuk (Pandia et al., 2020). Limbah cair kelapa sawit mengandung unsur hara yang sangat dibutuhkan oleh tanaman, yaitu Nitrogen 675 mg/L, Posfor 90-110 mg/L, Kalium 1.000-1,875 mg/L, dan Magnesium 250- 320 mg/L (Tambunan et al., 2019). Jika tidak dikelola dengan baik, LCPKS akan berpotensi untuk mencemari lingkungan karena LCPKS memiliki kandungan air (95-96%), Chemical Oxygen Demand (COD) berkisar 40.000-80.000 mg/L, Biochemical Oxygen Demand (BOD) berkisar 20.000-30.000 mg/L, TSS (4-5%), minyak dan lemak (0,6-0,7%) serta pH yang bersifat asam (3,5-4) sehingga mengakibatkan terjadinya pencemaran yang dapat menurunkan kualitas perairan (Ilmannafian et al., 2020). Jika LCPKS dibuang langsung ke lingkungan, akan terjadi sedimentasi kemudian terurai yang menimbulkan kekeruhan dan mengeluarkan bau yang tajam [5]

POME adalah limbah cair kelapa sawit yang masih mengandung banyak padatan terlarut. Sebagian besar padatan terlarut ini berasal dari material lignoselulosa mengandung minyak yang berasal dari buah sawit. Lignoselulosa dalam POME adalah penyusun terbanyak dari tanaman berkayu. Lignoselulosa terdiri dari lignin, hemiselulosa, dan material berselulosa. Kandungan kimiawi dari lignoselulosa ini membuat mereka bernilai tinggi dari segi bioteknologi. Kebanyakan dari limbah lignoselulosa ini dibuang langsung dengan cara pembakaran, dimana hal ini tidak dilarang di Negara berkembang. Namun, akan muncul masalah ketika biomassa ini tidak diperlakukan dengan baik dan dibiarkan membusuk di areal pertanian, dimana kedepannya akan terjadi penumpukan kandungan organik yang terlalu tinggi. Oleh sebab itu, manajemen lingkungan memberikan tekanan yang besar dipengurangan limbah dari sumbernya ataupun proses daur ulang [10].

Adapun karakteristik dari limbah cair pabrik kelapa sawit terlihat pada tabel 2.1. dibawah ini. [13]

Table 2.1 Karakteristik limbah cair POME

No.	Parameter	Satuan	Kisaran
1	Biological Oxygen Demand (BOD)	mg/L	20.000 - 30.000
2	Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	40.000 - 60.000
3	Total Suspended Solid (TSS)	mg/L	15.000 - 40.000
4	Total Solid (TS)	mg/L	30.000 - 70.000
5	Minyak dan Lemak	mg/L	5.000 - 7.000
6	NH ₃ -N	mg/L	30 – 40
7	Total N	mg/L	500 – 800
8	Suhu	oC	90 – 140
9	pH	-	4 – 5

Proses pengolahan minyak sawit menghasilkan sejumlah besar limbah cair (55-67 persen), yang dapat mencemari air karena mengandung 20.000 - 30.000 mg/L Biological Oxygen Demand (BOD).



Gambar 2.1 Penampungan POME

Kadar BOD dan COD pada suatu air limbah harus memenuhi baku mutu yang telah ditentukan. Baku mutu adalah batas atau kadar makhluk hidup, zat atau energi atau komponen lain yang ada atau harus ada dan/atau unsur pencemaran yang ditenggang adanya sesuai dengan peruntukannya. Standar baku mutu air

limbah bagi usaha dan/atau kegiatan industri minyak kelapa sawit mengacu ke Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 Berikut.[14]

Table 2.2 Baku mutu Air Limbah

NO	Parameter	Satuan	Baku Mutu
1	BOD	mg/L	100
2	COD	mg/L	350
3	TSS	mg/L	250
4	Minyak dan Lemak	mg/L	25
5	N	mg/L	50
6	pH	-	6-9

Peningkatan kandungan BOD mengurangi kadar oksigen dalam air, sehingga berbahaya bagi ekosistem perairan, bahkan dapat menghilangkan keanekaragaman hayati di dalamnya. Pemrosesan POME mengurangi sejumlah besar kandungan BOD dan mengurangi dampak negatif dari limbah pabrik kelapa sawit terhadap ekosistem perairan. Tingginya kandungan Chemical Oxygen Demand (COD) sejumlah 40.000- 60.000 mg/L dalam limbah cair kelapa sawit memberikan potensi untuk konversi listrik dengan menangkap gas metana yang dihasilkan melalui serangkaian tahapan proses pemurnian. Sumber energi terbarukan tersebut dapat menghasilkan listrik bagi desa-desa di sekitar perkebunan sawit yang saat ini banyak bergantung pada generator diesel yang mahal.

Pengurangan emisi gas rumah kaca dengan mengubah limbah bermasalah menjadi energi. Secara umum dampak yang ditimbulkan oleh limbah cair industri kelapa sawit adalah tercemarnya badan air penerima yang umumnya sungai karena hampir setiap industri minyak kelapa sawit berlokasi didekat sungai. Limbah cair industri kelapa sawit bila dibiarkan tanpa diolah lebih lanjut akan terbentuk ammonia, hal ini disebabkan oleh bahan organik yang terkandung dalam limbah.

2.2.3 Pengolahan POME

A. Kolam Tertutup

Kolam anaerobik, atau biasa disebut kolam tertutup, pada dasarnya merupakan kolam yang dilengkapi dengan membran penutup yang kuat untuk menyimpan biogas. Kolam anaerobik umumnya memiliki kontak bakteri ke substrat yang kurang baik, dengan tingkat pengolahan yang sangat rendah. Metode ini memerlukan waktu retensi hidrolis antara 20–90 hari dan membutuhkan area yang besar. Pada umumnya untuk kapasitas pengolahan limbah yang sama, investasi modal untuk kolam tertutup lebih rendah dibandingkan sistem tangki/CSTR, namun membutuhkan area yang lebih luas. Desain kolam tertutup biasanya untuk menangani limbah dengan kandungan padatan kurang dari 3%, dan umumnya harus beroperasi dalam kisaran suhu mesofilik. Operator harus menghilangkan padatan berserat limbah sebelum proses penguraian.



Gambar 2.2 Kolam Tertutup

B. Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)

Continuous stirred tank reactor (CSTR) dikenal sebagai reaktor kontak, biasanya dibangun dari beton ataupun logam yang berbentuk seperti silinder. Diameter sebagai rasio dan tinggi silinder yang kecil. Sistem ini dilengkapi thickener, clarifier atau dissolved air flotation untuk memekatkan biomassa.

CSTR dapat beroperasi pada suhu mesofilik ataupun termofilik. Pengadukan dalam CSTR dapat dilakukan secara mekanik, hidrolis maupun injeksi gas.



Gambar 2.3 CSTR

CSTR dapat mengakomodasi sebagai padatan dalam rentang yang besar. Selain itu, CSTR juga dapat memproses campuran dari berbagai jenis limbah. Desain ini umumnya digunakan untuk limbah dengan kandungan padatan 3-10%. Kedua teknologi ini dapat digunakan untuk mengkonversi POME menjadi biogas, tergantung pada kebutuhan dan kondisi dari pabrik kelapa sawit.

Tabel 2.3 dibawah ini merupakan perbandingan antara sistem CSTR dan sistem kolam tertutup.

Table 2.3 CSTR dan Kolam tertutup

Teknologi	Jenis limbah	HRT (Hari)	Produksi Energi	Biaya Modal	Kerumitan pengoperasian
CSTR	Cair dan padat	20-40	Baik	Tinggi	Sedang
Kolam Tertutup	Cairan Kental (< 3% bahan kering)	20-90	Kurang baik	Sedang	Rendah

C. Proses Anaerobik

Industri kelapa sawit menghasilkan beberapa jenis limbah dalam prosesnya, berupa limbah padat dan cair. Limbah cair yang paling signifikan dari industri kelapa sawit adalah air limbah pabrik kelapa sawit (POME), dimana setiap ton tandan buah segar akan menghasilkan sekitar 0,7-0,8 m³ limbah POME. Limbah POME yang keluar dari proses pengolahan biasanya memiliki suhu yang tinggi, berkisar antara 70 sampai 80°C, dengan tingkat keasaman (pH) sekitar 4,56 sampai 4,98, COD (chemical demand for oxygen) berkisar antara 4,56 sampai 4,98.57.000 hingga 60.400 mg/liter dan Total Padatan Tersuspensi (SS) 0,23 – 5,44 g/L(2). [15]

Alkyol pada tahun 2012 menyatakan bahwa kadar COD yang tinggi dapat membahayakan ikan dan mencemari rantai makanan jika dibuang langsung ke saluran pembuangan tanpa pengolahan terlebih dahulu. Oleh karena itu, metode pengolahan terbaik untuk mengolah limbah dengan kandungan organik tinggi adalah pengolahan anaerobik. Pencernaan anaerobik adalah fermentasi zat organik oleh aksi bakteri anaerob tanpa adanya oksigen bebas dan mengubahnya dari suspensi menjadi bentuk terlarut dan biogas. Proses anaerobik adalah salah satu teknologi yang withering hemat energi dan ramah lingkungan untuk produksi bioenergi. Pengolahan limbah anaerobik dapat dipahami sebagai proses biokimia yang menghasilkan biogas dengamengubah bahan organik kompleks menjadi sumber energi terbarukan. Perawatan an anerobik bisa lebih bermanfaat daripada perawatan anaerobic. Adapun keunggulan anaerobic, yaitu :

- a. Proses anaerobik tidak membutuhkan energi aerasi, mengurangi biaya perawatan
- b. Sludge atau lumpur yang dihasilkan lebih rendah dari proses aerobik.
- c. Polutan dalam bentuk bahan organik yang persisten sebagian besar diubah menjadi biogas (metana) yang berharga.

Kondisi proses anaerobik yang berbeda berlaku untuk berbagai bakteri. Menurut Stronach et al., faktor dan mikroba berikut berkontribusi pada proses anaerobik.

1. Bakteri hidrolitik beroperasi di lingkungan fakultatif atau anaerobik wajib, dengan pH optimal 6,0-7. Clostridium, Bacillus, Cellulomonas, dan Bacteriodes Ruminococcus adalah contoh bakteri hidrolitik.

2. Bakteri asidogenik memiliki proses anaerobik yang sulit atau wajib dengan pH optimal 6,0-7. Clostridium, Lactobacilus, Selenomonas, dan Bacteriodes Ruminococcus adalah contoh bakteri asidogenik.
3. Bakteri asetogenik membutuhkan lingkungan proses anaerobik dengan pH optimal 6,5-7. Desulfomonas, Desulfotomaculum, dan Desulfovibrio adalah contoh bakteri asetogenik.
4. Bakteri metanogen memerlukan lingkungan proses anaerobik dengan pH optimal 6,5-7. Methanobacterium, Methanococcus, Methanosarcine, dan Methanospirillum adalah contoh bakteri metanogenik

Jika kondisi proses dikelola dengan baik, proses pengolahan anaerobik akan beroperasi secara konsisten untuk pemulihan energi yang tinggi. Namun, sistem pengolahan anaerobik ini memiliki dua tantangan utama: ketidakstabilan operasional dan kualitas pemrosesan. Gas metana akan dihasilkan sebagai produk sampingan dari dekomposisi anaerobik dari komponen utama pembuangan limbah. Karena beberapa bahan baku mungkin membatasi proses pengolahan anaerobik, pemilihan substrat organik sangat penting untuk stabilitas sistem pengolahan anaerobik. Karena beberapa bahan baku dapat menghambat prosedur pengolahan anaerobik. Konsentrasi besar protein, lipid, limonene, furan, logam, pestisida, antibiotik, dan zat organik lainnya dapat menghambat reaksi anaerobik dalam substrat organik.

Saat ini, pengolahan limbah POME anaerobik menggunakan teknologi tradisional berupa laguna tertutup. Teknologi cover lagoon ini memiliki kelemahan yaitu pada awalnya memerlukan pendinginan dan tahap netralisasi, yang biasanya dilakukan dengan mensirkulasikan POME yang telah diproses di dalam reaktor yang sudah memiliki pH tinggi. Hal ini berguna untuk memastikan suhu POME mendekati suhu lingkungan sekitar. Tingkat keasaman POME mendekati netral ($\text{pH} = 7$), dan lingkungan sekitar 300 derajat Celcius. Dalam pengolahan limbah POME, proses pendinginan dan penetralan akan memakan waktu dan biaya tambahan. Rata-rata tinggal di cover lagoon sekitar 30 hari.



Gambar 2.4 Covered Lagoon

2.2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Biogas

Biogas adalah *resource alternative* yang didapatkan dari perubahan komposisi organik yang diuraikan oleh bakteri dengan proses anaerob. Sifat dari biogas adalah renewable. Biogas memiliki keunggulan pada bahan baku yang beragam mulai dari limbah-limbah rumah tangga, pertanian, peternakan, kehutanan hingga komponen biotik lain yang menghasilkan gas. Pengembangan substrat/bahan baku biogas juga tidak sulit karena banyak didapatkan di Indonesia.



Gambar 2.5 Konstruksi Reaktor biogas

Biogas terdiri dari campuran berbagai gas, terutama metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2), 1–5% gas lain, termasuk hidrogen (H_2). Gas dihasilkan oleh bakteri yang terjadi selama bio-degradasi bahan organik dalam kondisi anaerobik.

Biogas memiliki kandungan metana yang tinggi yang membuatnya menjadi sumber energi yang renewable. Energi yang dilepaskan dari biogas menjadikannya bahan bakar yang cocok di negara mana pun untuk keperluan berbagai keperluan. Biogas juga dapat digunakan dalam digester anaerobik dimana energi dalam gas diubah menjadi listrik dan panas menggunakan mesin gas. Sebanyak biogas sebagian besar terdiri dari metana dan karbon dioksida, yang merupakan gas rumah kaca yang berbahaya bagi lingkungan. Oleh karena itu, penting untuk menjalani proses pembakaran sebelum dilepaskan ke atmosfer. Sifat fisik, kimia dan biologi serta potensi biomassa lainnya dapat mempengaruhi komposisi dan hasil biogas.[16]

Biogas yang diproduksi dijadikan energi untuk keperluan masak, pencahayaan dan bahan bakar genset. Keunggulan biogas jika dikomparasikan dengan bahan bakar minyak berbasis fosil diantaranya ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Biogas memiliki berbagai unsur penyusun, hal ini bergantung oleh reaksi yang terjadi. Proses anaerobik melibatkan berbagai senyawa kimia. Apabila biogas yang diproduksi berasal dari proses fermentasi umumnya konsentrasi metana relatif rendah yaitu 40%. Apabila komposisi CH_4 rendah maka bahan bakar yang ada hanya dapat digunakan sebagai energi pembakar seperti memasak. berkadar rendah dalam biogas sebesar itu hanya bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar dalam kegiatan masak memasak.

Biogas dihasilkan dari serangkaian reaksi organik dengan degradasi biomassa membutuhkan bakteri sebagai pengurai dengan kondisi bebas udara atau dengan istilah anaerobic digestion. Terdapat beberapa jenis digester yang dapat dilihat berdasarkan konstruksi, jenis aliran, dan posisinya terhadap permukaan tana. Jenis digester yang dipilih dapat didasarkan pada tujuan pembuatan digester tersebut. Hal yang penting adalah apapun yang dipilih jenisnya, tujuan utama adalah mengurangi kotoran dan menghasilkan biogas yang mempunyai kandungan CH_4 tinggi. Dari segi konstruksi, digester dibedakan menjadi:

1. Fixed Dome (kubah tetap)

Digester jenis ini mempunyai volume tetap. Seiring dengan dihasilkannya biogas, terjadi peningkatan tekanan dalam digester. Karena itu, dalam konstruksinya digester jenis kubah tetap, gas yang terbentuk akan segera

dialirkan ke pengumpul gas di luar reaktor. Indikator produksi gas dapat dilakukan dengan memasang indikator tekanan.



Gambar 2.6 Kubah Gas tetap

2. Floating Dome (Kubah Apung)

Pada digester tipe ini terdapat bagian yang reaktor yang dapat bergerak seiring dengan kenaikan tekanan reaktor. Pergerakan bagian kubah dapat dijadikan indikasi bahwa produksi biogas sudah mulai atau sudah terjadi. Bagian yang bergerak juga berfungsi sebagai pengumpul biogas.



Gambar 2.7 Kubah Gas Apung

Dengan model ini, kelemahan tekanan gas yang berfluktuasi pada reaktor biodigester jenis kubah tetap dapat diatasi sehingga tekanan gas menjadi konstan.

Kelemahannya adalah membutuhkan teknik khusus untuk membuat tampungan gas bergerak seiring naik atau turunnya produksi biogas.

Pemanfaatan biogas merupakan bagian dari energi terbarukan yang menjadi program Pemerintah dalam rangka meningkatkan akses energi bagi masyarakat melalui pemanfaatan Energi Baru dan Energi Terbarukan (EBT) khususnya bioenergi. Hal tersebut jelas diamanatkan pada Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional yang menargetkan kontribusi EBT mencapai 23% dari total bauran energi nasional pada tahun 2025. Dari target bauran energi sebesar 23% tersebut, bioenergi diharapkan untuk berkontribusi sebesar 9.7% atau 23 MTOE (Metric Ton Oil Equivalent) dengan rincian sebesar 13,8 Juta KiloLiter Biofuels, 8,4 Juta ton Biomasa, dan 489,8 Juta M3 Biogas. Potensi listrik yang dapat dibangkitkan dari pabrik kelapa sawit bisa mencapai hingga 15GW dimana 1,5 GW dari POME, dan hingga saat ini baru sekitar 30 MW yang baru termanfaatkan.

2.2.5 Proses pembentukan Biogas

Ada tiga proses pembentukan biogas, dari pengolahan bahan organik dengan bantuan mikroorganisme anaerob hingga menjadi biogas, yaitu proses hidrolisis, pengasaman (asidifikasi), dan metanogenesis.

1. Hidrolisis

Hidrolisis merupakan proses yang utama dan tahap awal dari proses fermentasi. Tahap ini merupakan penguraian bahan organik dengan senyawa kompleks yang memiliki sifat mudah larut, seperti lemak, protein dan karbohidrat, menjadi senyawa yang sederhana. Hidrolisis juga dapat diartikan sebagai struktur dari bentuk polimer menjadi bentuk monomer. Senyawa yang dihasilkan dari proses hidrolisis diantaranya senyawa asam organik, glukosa, etanol, CO₂, dan senyawa hidrokarbon lainnya. Senyawa ini akan dimanfaatkan mikroorganisme sebagai sumber energi untuk melakukan aktivitas fermentasi.

2. Pengasaman (Asidifikasi)

Proses berikutnya adalah asidifikasi atau pengasaman. Pada tahap ini, senyawa-senyawa yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan dijadikan sumber energi bagi mikroorganisme untuk tahap selanjutnya, yaitu pengasaman atau asidifikasi. Pada

tahap ini, bakteri akan menghasilkan senyawa-senyawa asam organik, seperti asam asetat, asam propionat, asam butirat, dan asam laktat beserta produk sampingan berupa alcohol, CO₂, hydrogen, dan zat ammonia.

3. Metanogenesis

Tahap ketiga adalah proses metanogenesis. metanogen, seperti methanococcus, methanosarcina, dan methano bacterium akan mengubah produk lanjutan dari tahap pengasaman 6 menjadi gas methana, karbondioksida, dan air yang merupakan komponen penyusun biogas. Berikut reaksi perombakan yang dapat terjadi pada tahap metanogenesis. Jumlah energy yang dihasilkan dalam pembentukan biogas sangat bergantung pada kosentrasi gas metana yang dihasilkan pada proses metanogenesis. Semakin tinggi kandungan metana yang dihasilkan, maka semakin besar pula energy yang dibentuk. Sebaliknya, apabila kosentrasi gas metana yang dihasilkan rendah, energy yang dihasilkan juga semakin rendah. [17]

Kualitas biogas yang dihasilkan juga dapat ditingkatkan melalui penghilangan hydrogen sulfur, kandungan air, dan karbondioksida yang turut terbentuk. Hidrogen sulfur merupakan senyawa yang mengandung racun yang dapat menyebabkan korosi (pengkaratan) sehingga menjadi berbahaya apabila biogas mengandung senyawa ini karena dapat merusak instalasi. Kandungan air dihindari karena dapat menurunkan titik penyalaan biogas. Untuk menghilangkan ketiga zat tersebut, dapat menggunakan alat desulfurizer yang dibutuhkan untuk menyalakan mesin generator (angin) sehingga mesin tidak mudah mengalami korosi. Alat desulfurizer akan menyaring biogas yang masih mengandung CO₂ sehingga terserap. Mesin generator pun tidak mudah korosi karena kandungan metan pada biogas sudah 80 – 95%.

A. Gas Metan

Gas Metan Sisa atau buangan senyawa organik yang berasal dari tanaman ataupun hewan secara alami akan terurai, baik akibat pengaruh lingkungan fisik (seperti panas matahari), lingkungan kimia (seperti adanya senyawa lain) atau yang paling umum dengan adanya jasad renik yang disebut mikroba, baik bakteri maupun jamur. Akibat penguraian bahan organik yang dilakukan jasad renik tersebut, maka akan terbentuk zat atau senyawa lain yang lebih sederhana (kecil),

serta salah satu diantaranya berbentuk CH₄ atau gas metan. Gas metan yang bergabung dengan CO₂ atau gas karbon dioksida yang kemudian disebut biogas dengan perbandingan 65:35. Seperti sampah atau jerami yang diproses menjadi kompos memerlukan persyaratan dasar tertentu, demikian pula dalam proses pengubahan sampah atau buangan menjadi biogas, memerlukan persyaratan tertentu yang menyangkut:

1. Kandungan atau isi yang terkandung dalam bahan. Hal ini menyangkut nilai atau perbandingan antara unsur C (karbon) dengan unsur N (nitrogen) yang secara umum dikenal dengan nama rasio C/N. Perubahan senyawa organik dari sampah atau kotoran kandang menjadi CH₄ (gas metan) dan CO₂ (gas karbon dioksida) memerlukan persyaratan rasio C/N antara 20-25. Sehingga kalau menggunakan bahan hanya berbentuk jerami dengan rasio C/N diatas 65, maka walaupun CH₄ dan CO₂ akan terbentuk, perbandingan CH₄: CO₂ = 65:35 tidak akan tercapai. Mungkin perbandingan tersebut bernilai 45:55 atau 50:50 atau 40:60 serta angka – angka lain yang kurang dari yang sudah ditentukan, maka hasil biogasnya akan mempunyai nilai bakar rendah atau kurang memenuhi syarat sebagai bahan energi. Juga sebaliknya kalau bahan yang digunakan berbentuk kotoran kandang, misalnya dari kotoran kambing dengan rasio C/N sekitar 8, maka produksi biogas akan mempunyai perbandingan antara CH₄ dan CO₂ seperti 90:10 atau nilai lainnya yang terlalu tinggi. Dengan nilai ini maka hasil biogasnya juga terlalu tinggi nilai bakarnya, sehingga mungkin akan membahayakan pengguna. Hal lain yang perlu diperhatikan yaitu rasio C/N terlalu tinggi atau terlalu rendah akan mempengaruhi proses terbentuknya biogas, karena ini merupakan proses biologis yang memerlukan persyaratan hidup tertentu, seperti juga manusia.
2. Kadar air yang terkandung dalam bahan yang digunakan, juga seperti rasio C/N harus tepat. Jika hasil biogas diharapkan sesuai dengan persyaratan yang berlaku, maka bahan yang digunakan berbentuk kotoran kambing kering dicampur dengan sisa-sisa rumput bekas makanan atau dengan bahan lainnya yang juga kering, maka diperlukan penambahan air. Tapi berbeda kalau bahan yang akan digunakan adalah sampah organik

misalnya sisa makanan yang telah basi atau sayur hijau yang telah membusuk. Dalam bahannya sudah terkandung air, sehingga penambahan air tidak akan sebanyak pada bahan yang kering. Air berperan sangat penting didalam proses biologis pembuatan biogas. Artinya terlalu banyak (berlebihan) juga jangan terlalu sedikit (kekurangan).

3. Temperatur yang diyakini sebagai temperatur optimum perkembangbiakan bakteri metan adalah sekitar 35°C. Dengan temperatur itu proses pembuatan biogas akan berjalan sesuai dengan waktunya. Tetapi berbeda kalau nilai temperatur terlalu rendah (dingin), maka waktu untuk menjadi biogas akan lebih lama.
4. Kehadiran jasad renik pemproses atau jasad renik yang mempunyai kemampuan untuk menguraikan bahan-bahan yang akhirnya membentuk CH₄ dan CO₂.

Dalam kotoran kandang, lumpur selokan ataupun sampah dan jerami, serta bahan-bahan buangan lainnya, banyak jasad renik, baik bakteri maupun jamur pengurai. Tapi yang menjadi masalah adalah hasil uraiannya belum tentu menjadi CH₄ yang diharapkan serta mempunyai kemampuan sebagai bahan bakar. Maka untuk menjamin agar kehadiran jasad renik atau mikroba pembuat biogas (umumnya disebut bakteri metan), sebaiknya digunakan starter, yaitu bahan atau substrat yang didalamnya sudah dapat dipastikan mengandung mikroba metan sesuai yang dibutuhkan. Aerasi atau kehadiran udara (oksigen) selama proses. Dalam hal pembuatan biogas maka udara sama sekali tidak diperlukan dalam reaktor pembuat. Keberadaan udara menyebabkan gas CH₄ tidak akan terbentuk. Untuk itu maka reaktor pembuat biogas harus dalam keadaan tertutup rapat. Masih ada beberapa persyaratan lain yang diperlukan agar hasil biogas sesuai dengan harapan. Tetapi ke lima syarat tersebut sudah merupakan syarat dasar agar proses pembuatan biogas sebagaimana mestinya.

B. Zeolit

Zeolit adalah senyawa zat kimia alumino-silikat terhidrasi dengan kation natrium, kalium dan barium.[18] Secara umum, zeolit memiliki molekuler struktur atom system yang di kelilingi oleh 3 atom oksigen, Yaitu:

1. Muatan pada framework dinetralkan dengan mengikat kation-kation monovalen atau divalen di dalam porinya.
2. Memiliki kemampuan sebagai penukar kation.
3. Mengikat molekul air di dalam pori-porinya.

Zeolit dengan struktur framework mempunyai luas permukaan yang besar dan mempunyai saluran yang dapat menyaring ion atau molekul. Bila atom Al dinetralkan dengan ion polivalen, misalnya logam Pt atau Cu, zeolit dapat berfungsi sebagai katalis yang banyak digunakan pada reaksi-reaksi kimia.

C. Pemurnian Biogas Menggunakan Zeolit

Zeolit pada umumnya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu: zeolit alam dan zeolit sintetik. Zeolit alam biasanya mengandung kation-kation K, Na, Ca, K, atau Mg. Sedangkan zeolit sintetik biasanya hanya mengandung kation-kation K, atau Na. system mengapa zeolit alam perlu di aktivasi terlebih dahulu sebelum digunakan. Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan secara fisika maupun kimia. Secara fisika aktivasi dapat dilakukan dengan pemanasan pada suhu 300-400°C dengan udara panas atau dengan system vakum untuk melepaskan molekul air. Sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan melalui pencucian zeolit dengan larutan Na₂EDTA atau asam-asam anorganik seperti HF, HCl, H₂SO₄ untuk menghilangkan oksida-oksida menutupi permukaan pori.

pengotor yang Pemisahan kandungan CO₂ dalam biogas dapat dilakukan dengan menggunakan zeolit karena zeolit memiliki pori-pori berukuran molekuler sehingga mampu memisahkan atau menyaring molekul dengan ukuran tertentu. Pemisahan kandungan CO₂ dalam biogas dilakukan dengan cara mengalirkan biogas kedalam purifier yang di dalamnya terdapat zeolit. Zeolit tersebut akan mengabsorpsi gas CO₂ yang melewati alat purifier.

D. Fermentasi

Ada dua tipe dasar dekomposisi organik yang dapat terjadi aerobik (dengan adanya oksigen), dan dekomposisi anaerobik (tanpa oksigen). Semua bahan organik, baik hewan dan sayur bisa dipecah oleh dua proses, namun produk dekomposisi akan sangat berbeda dalam dua kasus. Dekomposisi aerobik akan menghasilkan karbon dioksida, amonia dan beberapa gas lainnya dalam jumlah kecil, panas dalam jumlah besar dan produk akhir yang dapat digunakan sebagai

pupuk. Dekomposisi anaerobik akan menghasilkan metana, karbon dioksida, hidrogen beberapa dan gas lainnya, panas sangat sedikit dan produk akhir dengan kadar nitrogen lebih tinggi dari pada yang dihasilkan oleh fermentasi aerobik. Dekomposisi anaerobik adalah proses dua tahap sebagai pakan bakteri tertentu pada bahan organik tertentu.

Pada tahap pertama, bakteri asam membongkar molekul organik kompleks menjadi peptida, gliserol, alkohol dan gula sederhana. Ketika senyawa ini telah diproduksi dalam jumlah yang cukup, kedua jenis bakteri mulai mengubah senyawa-senyawa sederhana menjadi metana. Bakteri penghasil metana ini sangat dipengaruhi oleh kondisi sekitar, yang dapat memperlambat atau menghentikan proses sepenuhnya. Zat Racun (Toxic) – Beberapa zat racun yang dapat mengganggu kinerja biodigester antara lain air sabun, detergen, creolin. Berikut adalah tabel beberapa zat beracun yang mampu diterima oleh bakteri dalam biodigester.

E. Bakteri

Ada tiga kelompok bakteri yang berperan dalam proses pembentukan biogas, yaitu:

1. Kelompok bakteri fermentatif: Steptococci, Bacteriodes, dan beberapa jenis Enterobacteriaceae
2. Kelompok bakteri asetogenik: Desulfovibrio
3. Kelompok bakteri metana: Mathanobacterium, Mathanobacillus, Methanosacaria, Methanococcus.

Bedasarkan kisaran suhu bakteri di bagi menjadi tiga golongan:

1. Tipe krioofilik, yaitu bakteri yang hidup pada daerah suhu antara 0°C-30°C, dengan suhu optimum 15°C.
2. Tipe Mesofilik, yaitu bakteri yang hidup pada temperatur 35 – 37°C. Bakteri ini dapat berkembang pada negara negara tropis seperti di indonesia. Untuk itu kondisi bidigester yang dibangun di indonesia tidak perlu dipanasi. Biodigester yanag dibangun didalam tanah juga mempunyai keuntungan sendiri, yaitu temperatur dalam biodigester cenderung konstan sehingga baik untuk pertumbuhan bakteri. Temperatur

dimana bakteri ini bekerja secara optimum adalah pada 35 – 45°C. Waktu penyimpana dalam biodigester adalah lebih dari 30 – 60 hari.

3. Tipe termofilik, yaitu bakteri yang hidup pada temperatur optimum 53 – 55°C. Bakteri yang berkembang pada temperatur tinggi pada umumnya digunakan hanya untuk mengurangi material, bukan untuk menghasilkan biogas. Waktu penyimpanan dalam digester akan lebih dari 10 sampai dengan 16 hari.

Digester dengan bakteri ini bisanya dipakai untuk skala industri dimana tipe ini lebih memungkinkan dimaksimalisasi produksi biogasnya. Starter yang mengandung bakteri metana sangat diperlukan untuk mempercepat proses fermentasi anaerob. Beberapa jenis starter antara lain:

1. Starter alami, yaitu lumpur aktif seperti lumpur kolam ikan, cairan septictank, endapan lumpur (sludge) dan kotoran hewan.
2. Starter semi buatan, yaitu starter dari fasilitas biodigester dalam stadium aktif.
3. Starter buatan, yaitu bakteri yang dikembangkan secara laboratorium.

2.2.6 Komponen PLTBg limbah POME (Palm oil mill effluent)

A. Reactor

1. Pendinginan

Pendinginan aliran limbah POME yang masuk ke reaktor pada suhu yang baik agar bakteri di dalam reaktor dapat bekerja mengubah COD yang ada dalam limbah menjadi kandungan biogas. Kandungan COD limbah POME seringkali memiliki hubungan yang setara dengan peningkatan suhu. Scrap POME baru dihasilkan dari proses COD PKS yang tinggi pada suhu yang juga tinggi, namun setelah melalui pengolahan limbah sederhana di bak-bak instalasi pengolahan air limbah di PKS, suhu POME secara bertahap menurun dengan penurunan konsentrasi COD. Untuk pembangkit biogas yang baik, POME dengan kadar COD perlu tinggi, namun karena itu suhu POME juga tinggi. Untuk menyesuaikan dengan kondisi tersebut Limbah POME yang masuk ke dalam reaktor memerlukan proses pendinginan. [19]

Proses pendinginan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu menggunakan panas Heat exchanger (HEs) biasanya bertipe shell and tube dan menggunakan menara pendingin langsung. Menggunakan HE memiliki keluaran suhu yang lebih

stabil dan dapat disesuaikan dengan menambah atau mengurangi laju aliran air pendingin yang bersirkulasi di HE jika diperlukan, tetapi sistem ini memiliki biaya investasi dan pengoperasian yang lebih tinggi daripada menggunakan menara pendingin langsung. Untuk perbedaan suhu yang besar, disarankan untuk menggunakan HE karena kemampuannya yang lebih baik untuk menurunkan suhu.[20]

2. Covered Lagoon

Sistemnya berupa kolam limbah sedalam sekitar 6 meter yang selanjutnya ditutup dengan selimut di atasnya. Jenis asuransi yang paling umum digunakan adalah polietilen densitas tinggi (HDPE) atau polivinil klorida (PVC). biogas yang dihasilkan tersangkut di bawah tutup kemudian dialirkan melalui selang yang terpasang pada jaringan laguna. Laguna tertutup membutuhkan area yang luas dan iklim yang hangat, oleh karena itu sistem ini tidak memerlukan pemanasan awal. Sistem ini murah tetapi tidak cocok untuk iklim dingin dan tempat dengan tingkat air tanah yang tinggi. Kolam anaerobik atau tertutup adalah kolam yang dilengkapi film penyekat yang kuat untuk penyimpanan gas. Hubungi bakteri tangki anaerobik pada substrat yang tidak menguntungkan dengan tingkat perawatan rendah.HTR dari 20 hingga 90 hari.



Gambar 2.8 Lagoon

HTR adalah waktu retensi hidrolis atau HRT (*Hydraulic Retention time*) adalah waktu rata-rata suatu senyawa terlarut tetap berada di dalam tangki

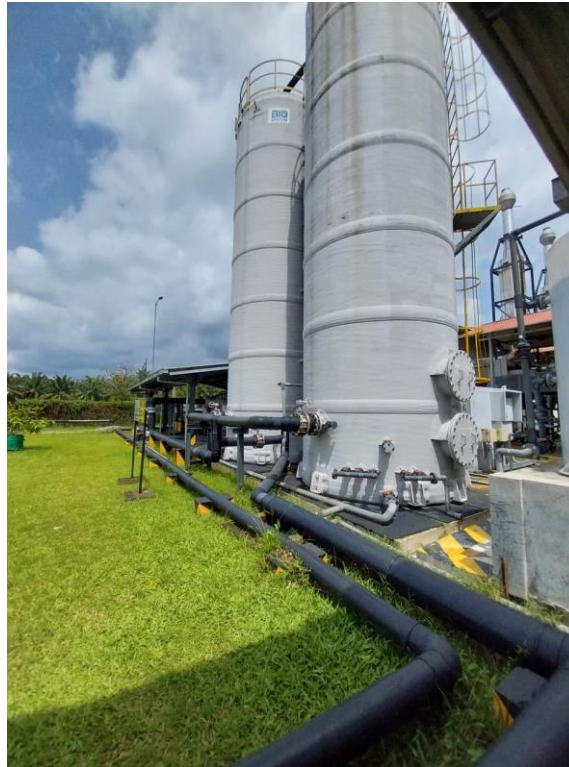
biodegradasi. Membutuhkan area yang luas. Sebelum dekomposisi Perlu untuk menghilangkan padatan berserat dalam limbah. Sebelum membangun kolam anaerobik, lakukan pengeboran uji tanah untuk mengetahui kondisi lahan. Uji tanah untuk mencari tahu; Jenis tanah; klasifikasi tanah; Kedalaman tabel air tanah; Kedalaman tanah; Warna; Struktur; dan tanah organik yang dapat menghasilkan gas di dasar kolam. Hasil uji tanah digunakan untuk mengevaluasi stabilitas lereng dan menentukan desain pondasi yang paling tepat untuk sistem penanganan gas Saat membangun kolam, perhatian harus diberikan pada parit jangkar untuk mempertahankan lapisan dan penutup kolam renang. Freeboard di kolam digunakan untuk mengambil air saat hujan atau air dari kegiatan lain seperti membersihkan peralatan. Kemiringan kolam memiliki rasio jarak vertikal dan horizontal 1:2. Jika medan rawan longsor, koefisien atap tambak bisa menjadi 1:3 tempat di mana perkuatan tanggul diperlukan. Teknik konstruksi cekungan konvensional mengacu pada *American Society of Civil Engineers (ASCE)*.

B. Gas Handling

Sistem pengolahan gas adalah proses penghilangan pengotor pada biogas dan pengkondisian biogas sehingga siap untuk diolah di mesin gas. Mesin bensin normal Ada persyaratan yang harus dipenuhi oleh kondisi biogas agar bisa diolah dengan baik. Sistem ini terdiri dari 4 bagian utama yaitu scrubber, filter, blower dan flare.

4 Scrubber

Penjernih udara adalah alat untuk desulfurisasi, suatu proses yang menghilangkan H₂S pada tingkat yang dalam Biogas. Gas H₂S tidak dapat terdapat dalam biogas karena bersifat korosif dan dapat merusak bagian besi pada pembangkit, terutama mesin gas dan pipa. Proses desulfurisasi dapat dilakukan dengan dua cara, baik secara biologi maupun secara kimiawi. Proses yang digunakan tergantung pada jumlah gas H₂S yang masuk dan seberapa rendah konsentrasi H₂S yang diharapkan. Proses desulfurisasi dapat dilakukan di dalam atau di luar reaktor. Desulfurisasi biologis dilakukan dengan menggunakan bakteri *Sulfobacteroxydans* yang aktif secara aerobik, membutuhkan udara 2 hingga 8% dari manipulasi biogas.



Gambar 2.9 Scruber

Proses ini dapat mengkonversi gas H_2S unsur belerang (padat) atau H_2SO_3 cair. Desulfurisasi kimia dilakukan dengan menambahkan beberapa bahan kimia dalam aliran biogas. Metode ini dapat dilakukan di dalam reaktor maupun di luar. Reaktor yang digunakan adalah tangki tertutup, sehingga metode ini sebaiknya dilakukan di luar ruangan bagian reaktor karena tidak mudah menambahkan bahan kimia lain ke dalam reaktor tertutup dengan baik sepanjang waktu. Untuk alasan ini, filter kolom digunakan Bed berisi bahan kimia untuk menyerap kandungan H_2S dari aliran biogas.

5 Dehumidifier / unit pengeringan

Dehumidifier atau pengering adalah alat yang digunakan untuk menghilangkan kandungan air biogas. Air dan CO_2 adalah kombinasi yang sangat baik korosif, karena biogas banyak mengandung CO_2 , maka keberadaan air sangat tinggi tidak diharapkan. Metode yang paling umum adalah mendinginkan aliran biogas sehingga air yang terkandung dalam biogas terkondensasi dan terpisah dari gas. Untuk ini, yang paling umum adalah mengembunkan gas dengan pengaturan mengarahkan aliran biogas ke mesin gas

sehingga air mengembun bersama aliran dapat dikumpulkan pada titik terendah dalam pipa. Jika pipa berada di bawah tanah, efisiensi kondensasi akan meningkat.



Gambar 2.10 Dehumidifier

Tetapi cara ini membutuhkan pengaturan jarak pipa dan pipa cukup untuk mengembunkan air menjadi gas dalam jumlah yang cukup, sehingga diperlukan permukaan yang agak besar. Apalagi jika pipanya ada di dalam tanah, biaya yang diperlukan akan meningkat. Cara lain adalah dengan menggunakan HE bersamaan dengan chiller untuk menurunkan suhu biogas ke kondisi yang sesuai. Kondensasi jumlah air yang tepat. Menggunakan metode ini tepat jika memiliki lahan yang terbatas.

6 Mixing Blower

Blower digunakan untuk mendorong gas biogas sehingga memiliki tekanan yang cukup ke dalam mesin bensin. Mesin bensin biasanya memiliki tekanan kerja minimum, fungsi kipas adalah mendorong gas untuk mencapai tekanan ini. Kaleng peniup biasanya berupa kompresor udara atau kipas angin. Secara umum, jenis-jenis kompresor terbagi dalam 2 kategori utama, perpindahan aktif dan dinamis. Jenis perpindahan positif meningkatkan tekanan dengan mengompresi volume gas terendam sedangkan tipe dinamis meningkatkan tekanan kerja dan momen putaran impeler ada di bagian utama kompresor. Jenis dinamis sering digunakan di pabrik skala besar, dengan laju aliran dan tekanan saluran masuk yang berbedakan pelarian yang hebat.



Gambar 2.11 Mixing Blower

Jenis perpindahan positif lebih fleksibel untuk ditanganilaju aliran besar atau kecil dan tingkat tekanan yang berbeda. tipe alternate menggunakan piston dan poros engkol sebagai bagian utama yang memberikan tekanan gas, sedangkan tipe rotary menggunakan kerja dua mesin yang bekerja sama untuk tekan gasnya. Jenis piston tidak dirancang untuk pekerjaan terus menerus dan terus menerus kontinu, sedangkan tipe putar dapat digunakan dalam proses yang membutuhkan kontinuitas. Di antara tipe putar, paling cocok untuk digunakan dalam aliran masuk biogas Mesin gas adalah jenis lobus yang biasa digunakan untuk menghilangkan gas yang mudah terbakar Mesin pembakaran internal. Jenis lobe yang umum digunakan adalah blower asli.

8. Flare

Flare/suar digunakan dalam industri pengolahan atau manufaktur untuk menyalakan kelebihan gas. Untuk alasan keamanan, instalasi biogas harus memasang suar untuk membakar kelebihan biogas, terutama ketika biogas tidak dapat disuplai ke mesin gas atau perangkat pembakaran lainnya. Biasanya hal ini terjadi pada puncak musim panen, yang menyebabkan produksi biogas berlebihan. Overproduksi meningkatkan aliran biogas melebihi batas maksimum biogas yang dapat masuk ke mesin gas. Suar juga digunakan saat mesin bensin

tidak bekerja selama perawatan. Biogas bekerja tanpa mesin gas atau boiler harus menggunakan petasan terus menerus untuk membakar biogas. Operator tidak boleh membuang kelebihan biogas langsung ke atmosfer karena sifatnya yang mudah terbakar pada konsentrasi tinggi. Selain itu, pelepasan biogas secara langsung juga berarti pelepasan gas rumah kaca ke atmosfer seperti penggunaan kolam limbah terbuka.



Gambar 2.12 Flare Biogas

C. Gas Engine

Gas Engine merupakan mesin pembakaran dalam yang ditenagai oleh piston naik turun karena siklus tugas mesin otto dalam kompresi-ekspansi usaha yang dilakukan untuk membuat piston bergerak naik turun. Pekerjaan piston terintegrasi dengan generator medan magnet yang menghasilkan listrik. biogas yang dihasilkandigunakan bersama dengan udara untuk menyala di ruang bakar mesin, ini adalah hasil dari proses pemuaiian dan pembakaran digunakan sebagai energi bagi piston untuk bergerak. PLTbg PKS Bandar Pasir Mandoge menggunakan 2 unit Gas Engine dengan kapasitas daya 1.024 kWe tiap unitnya.



Gambar 2.13 Gas Engine

Spesifikasi *Gas Engine* yang digunakan PLTBg PKS Bandar Pasir Mandoge dapat dilihat pada table 2.3 dibawah ini :

Table 2.3 Spesifikasi Gas Engine

1	Fabricante/ Manufacture	Guascor
2	Serial Number	340.294
3	Tahun	2015
4	Rated Power	1.024 kWe
5	Rated Power Factor	1
6	Maximum Ambient Temp	25°c
7	Rated Frequency	50 Hz
8	Rated Voltage	400 V
9	Rotasi Per Minute	1500
10	Rated Current	1.478 A

Dari table 2.3 diatas mengenai spesifikasi Gas engine yang digunakan PLTBg PKS Bandar Pasir Mandoge menggunakan gas *engine* dari pabrikan guascor dengan nomor seri 340.294 yang diproduksi pada tahun 2015. *Output power* dari gas engine tersebut sebesar 1.024 kWe dengan cos phi 1. Nilai frekueansi 50 Hz dengan output tegangan 400 V , rpm 1500 dan maximal current 1.478 A. PLTBg PKS Bandar Pasir Mandoge menggunakan 2 unit gas engine dengan spesifikasi yang sinkron untuk mendapat 1,1 x 2MWe.

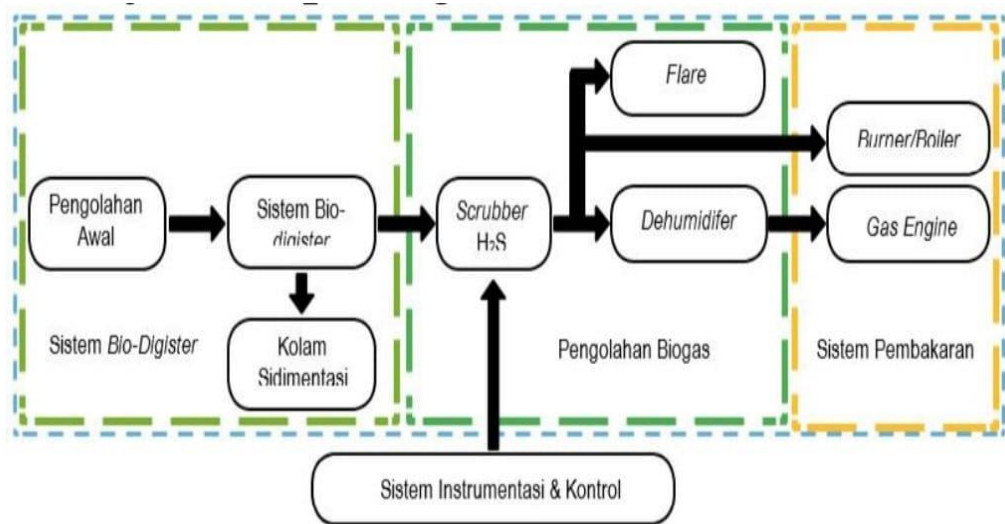
2.2.7 Konversi POME (Palm Oil Mill Effluent) ke Energy listrik

Konversi POME menjadi Biogas Ketika air limbah minyak kelapa sawit (POME) terurai dalam kondisi anaerobik, biogas dihasilkan secara spontan. Tanpa regulasi, biogas berkontribusi signifikan terhadap perubahan iklim global. Biogas biasanya terdiri dari 50-70% metana (CH_4), 25-45% CO_2 , dan sejumlah kecil gas lainnya. Jika POME tidak dikelola dengan baik, metana dalam biogas akan langsung terlepas ke atmosfer. Metana memiliki dampak 21 kali lipat lebih besar terhadap lingkungan daripada karbon dioksida. Pembangkit listrik tenaga biogas menghasilkan listrik dengan memanfaatkan proses dekomposisi alami. Limbah cair organik yang dihasilkan selama pengolahan kelapa sawit merupakan sumber energi signifikan yang kurang dimanfaatkan di Indonesia. Mengubah POME menjadi biogas untuk pembakaran dapat menghasilkan energi sekaligus menurunkan dampak lingkungan dari proses pembuatan minyak sawit. Tabel 1 menggambarkan potensi daya konversi POME menjadi biogas yang dihasilkan PKS, dengan asumsi setiap ton TBS menghasilkan 0,73 m³ limbah cair, PKS beroperasi 20 jam per hari, dan kandungan COD 55.000 mg/liter.

Table 2.4 Potensi Biogas Dari POME

Kapasitas PKS (Ton TBS/ Jam)	POME yang dihasilkan		Potensi Daya (MW)
	m ³ /Jam	m ³ /Hari	
30	21	400	1,1
45	31,5	600	1,6
60	42	800	2,1
90	63	1.200	3,2
Total potensi di Indonesia			
34.280	23.996	479.920	1.280

Bagian utama dari suatu fasilitas komersial konversi POME menjadi biogas ditunjukkan pada gambar 2.14 berikut :



Gambar 2.14 Proses Konversi POME ke Biogas

Pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) memberikan serangkaian opsi pemanfaatan untuk pabrik kelapa sawit. Pengelola pabrik dapat menggunakan biogas untuk;

- Bahan bakar burner maupun boiler sehingga mengganti sebagian pengguna cangkang dan serat.
- Menghasilkan listrik untuk keperluan pabrik sehingga mengurangi biaya bahan bakar.
- Menghasilkan listrik untuk dijual ke PLN sehingga menambah pendapatan.
- Kebutuhan energi di pabrik kelapa sawit dan potensi keuntungan menjadi dasar pertimbangan untuk memilih opsi pemanfaatan biogas.

Pemanfaatan Biogas secara umum diuraikan pada Tabel Berikut ;

Table 2.5 Pemanfaatan Biogas

Teknologi	Biaya	Efisiensi	Kerumitan	Kendala
Pembakaran				
Burner	Rendah	Tinggi	Rendah	Tinggi
Boiler	Rendah	Tinggi	Rendah	Tinggi
Listrik/Lainnya				
Generator	Tinggi	Sedang	Sedang	Tinggi

Turbin	Tinggi	Sedang	Tinggi	Sedang
Pemurnian gas	Sangat tinggi	Tinggi	Tinggi	Bervariasi

Dari table 2.5 pemanfaatan biogas bisa disimpulkan penggunaan Teknologi burner dan boiler termasuk ke dalam golongan biaya rendah untuk investasi awal pada Pembangkit listrik tenaga biogas. Disamping biaya yang relative rendah , namun efesiensi pada burner dan boiler bisa dikatakan tinggi. Dengan tingkat kerumitan yang rendah menambah kepraktisan penggunaan boiler dan burner didalam PLTBg. Disamping itu, kendala yang tinggi menjadi tolak ukur pertimbangan untuk penggunaan boiler dan burner pada PLTBg. Pada generator dan turbin memerlukan biaya yang tinggi dengan efisiensi yang lebih rendah dari penggunaan boiler dan burner. Tingkat kerumitan dari generator dan turbin lebih tinggi dari burner dan boiler. Terkait dengan kendala generator dan Turbin bisa dikatakan tidak berbeda jauh dengan burner dan boiler.

Adapun persamaan untuk mencari nilai volume biogas untuk menghasilkan sebagai berikut :

$$\text{Produksi TBS} = \text{TBS olah } x \text{ Waktu pengisian} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\text{Volume POME} = \text{Rasio TBS } x \text{ Produksi TBS} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\text{Volume Biogas} = 30 \text{ m}^3 x \text{ Volume POME} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\text{Nilai kalor} = 33.600 \text{ kJ } x \text{ Kualitas gas CH}_4 \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\text{Konsumsi Biogas} = \text{Output Gas Engine} / \text{Efisiensi Elektrikal} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{Nilai energy (Joule)} = \text{kWh } x 3.600 \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{Total Fuel consumption} = \text{Nilai energy} / \text{nilai kalor} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{Volume biogas / kWh} = \text{Volume Biogas} / \text{konsumsi Biogas} \dots\dots\dots(2.8)$$

Prosedur pengolahan awal, biodigester, dan kolam sedimentasi membentuk sistem biodigester. POME dikondisikan selama proses pre-treatment untuk mencapai nilai parameter yang dibutuhkan untuk masuk ke digester. Diperpanjang pada titik ini untuk memungkinkan penyaringan partikel besar seperti kotoran atau serat. PH diatur menjadi 6,5-7,5 dengan memutar dan menetralsirnya. Sistem pendingin (cooling tower atau heat exchanger) bekerja

untuk menjaga temperatur POME antara 40° dan 50° Celcius. Untuk mencapai kondisi mesofilik yang optimal, suhu digester harus dijaga di bawah 40°C. Proses daur ulang air limbah yang keluar dari digester juga berkontribusi terhadap penurunan suhu.

Setelah pengolahan awal, limbah dialirkan ke bio-digester, yang bisa berupa kolam tertutup atau CSTR. Degradasi POME menghasilkan biogas dan residu (slurry). Digester harus dibangun dengan cara kedap udara dan tahan air. Digester tersedia dalam berbagai bentuk dan ukuran, dan bahan digester yang digunakan ditentukan oleh kadar air POME, beban COD, dan waktu retensi hidrolis (HRT) yang diperlukan untuk destruksi yang efektif. Limbah POME yang akan diolah akan difilter terlebih dahulu untuk menyaring kotoran/lumpur yang akan tercampur. Setelah difilter selanjutnya POME akan diendapkan sebelum masuk ke proses pretreatment di sebuah bak yang disebut bakcoling pond.



Gambar 2.15 Bak Penampung POME 1

D. Petreatment

Dalam proses konversi biogas dari limbah POME ada beberapa parameter yang harus dipenuhi oleh aliran Effluent POME sebelum masuk ke reactor. Petreatment merupakan proses penyesuaian kondisi POME berdasarkan spesifikasi yang dibutuhkan oleh reactor untuk mencapai hasil yang optimum. Parameter- parameter untuk mencapai hasil optimum sebagai berikut :

1. Temperature

Proses anaerobic digestion dapat diproses pada temperature yang tidak sinkron dan jenis bakteri yang digunakan menjadi factor. Ada 3 jenis bakteri yang bisa diproses pada tahap ini, yaitu bakteri psychrophilic , mesophilic dan thermophilic. PKS Bandar Pasir mandoge menggunakan bakteri thermophilic. Bakteri thermophilic digunakan di PKS Bandar Pasir Mandoge Kabupten Asahan karena factor keunggulan yang terdapat pada bakteri thermophilic. Adapun beberapa keunggulan dari bakter thermophilic ;

- a. Efektif dalam menghancurkan pathogen
- b. Rasio pertumbuhan bakteri metanogenesis lebih baik pada temperatur tinggi
- c. HRT yang rendah, proses lebih efisien dan cepat
- d. Peningkatan performa digestibilitas dan kemampuan substrat
- e. Substrat padat lebih mudah terdegradasi

Lebih mudah memisahkan antara fraksi cair dan padat

2. pH dan Alkalinitas

Nilai pH dihitung berdasarkan derajat keasaman (acidity) atau kebasaaan air limbah flux POME. Bakteri yang digunakan dalam reaktor memiliki pH tertentu untuk pertumbuhan yang optimal. Bakteri pembentuk asam yang baik tumbuh pada pH 6, dan bakteri pembentuk asam dan metanogen tumbuh dengan baik pada pH 7. Oleh karena itu, limbah POME di PKS Bandar Pasir Mandoge Kabupaten Asahan pada pH antara 6,5 dan 7,5 untuk menampungnya. Untuk itu, sering digunakan sistem penyangga menggunakan natrium bikarbonat, kapur atau natrium hidroksida untuk mengatur pH POME sebelum memasuki reaktor.

3. Nutrien

Proses biodegradasi yang baik membutuhkan penyediaan nutrisi bagi bakteri baik yang digunakan, biasanya berupa nitrogen dan fosfor. Untuk itu, biasanya rasio cod harus dijaga dalam kondisi yang baik dan stabil untuk diproses di dalam reaktor, namun pada limbah POME seringkali mengandung N dan P yang cukup sehingga tidak diperlukan penambahan lainnya.

4. Toksisitas

Bakteri yang digunakan dapat teracuni jika terdapat bahan pengotor dalam limbah POME, jika limbah POME dalam kondisi yang tidak sesuai. Bakteri metanogenik paling sensitif terhadap pengotor terutama amoniak. Ammonia dapat muncul jika pH di atas 7, sehingga perlu segera dilakukan menyesuaikan pH.

Tabel 2.6 menunjukkan komponen-komponen yang terdapat dalam diagram alir proses, detail material, jenis, dan ukuran masing-masing komponen untuk pembangkit listrik tenaga biogas kapasitas 2 MWe.

Table 2.6 Komponen PLTBg POME

Label	Komponen	Material	Jenis	Keterangan
T-01	Tangki pencampuran	Beton dan coating		Volume 50 m ³
T-02	Digester anaerobik	Tanah & lining HDPE		Volume 24.000 m ³
T-03	Kolam sedimentasi	Tanah & Lining HDPE		Volume 1.500 m ³
M-01	Pengaduk tangki pencampuran	Stainless Steel	Top entry	0,5 KW
B-001A/B	Blower biogas ke gas engine atau flare	Cast iron/ Stainless steel	Root	Kapasitas 1.200 Nm ³ /jam tekanan 200 mbar
B-002A/B	Blower biogas ke burner atau flare	Cast Iron/Stainless Steel	Root	Kapasitas 1.200 Nm ³ /Jam, tekanan kurang dari 100 mbar
B-002	Flare Biogas	Stainless steel	Open Flame	Kapasitas 1.200 Nm ³ /Jam
B-003	Scrubber Biogas	HDPE/FRP	Vertical Biological	Kapasitas 1.200 Nm ³ /Jam
B-004	Dehumidifier Biogas	Stainless steel		Kapasitas 1.200 Nm ³ /Jam
B-006	Engine Biogas			Kapasitas 2x1 MW
S-01 dan	Saringan Kasar	Stainless steel		Ukuran 5mm

S-01				
H-001	Sistem Pendingin		Heat Exchanger atau Cooling Tower	Kapasitas 50m ³ /Jam
P-001 A/B	Pompa POME ke system pendingin	Cast Iron/Stainless steel	Dry centrifugal	Kapasitas 50 m ³ /Jam
P-002 A/B	Pompa umpan ke digester	Cast iron/stainless steel	Dry Centrifugal	Kapasitas 210 m ³ /Jam
P-003A/B	Pompa resirkulasi	Cast Iron/stainless steel	Dry Centrifugal	Kapasitas 80 m ³ /Jam
P-004 A/B	Pompa Lumpur	Cast Iron/Stainless Steel	Dry Centrifugal	Kapasitas 50 m ³ /Jam
P-005 A/B	Pompa limbah akhir anerobik (opsional)	Cast Iron/ Stainless steel	Dry Centrifugal	Kapasitas 50 m ³ /Jam

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan studi lapangan yaitu melakukan kunjungan ke Pembangkit Listrik Tenaga Biogas milik PT. Perkebunan Nusantara IV di Desa Mandoge, kecamatan Pasir Mandoge, Kabupaten Asahan, Provinsi Sumatera Utara. Waktu pelaksanaan penelitian dimulai dari 20 Januari 2023 sampai dengan 28 Juni 2023.

3.1 Metode Pengumpulan Data

Dalam penulisan Skripsi ini, metode-metode yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Pada tahapan ini dilakukan pencarian bahan untuk pendalaman materi guna menyelesaikan masalah yang dirumuskan, seperti pencarian bahan pustaka dan jurnal yang mendukung penelitian. Studi literatur dilakukan agar dapat digunakan sebagai panduan informasi untuk mendukung keperluan dalam pelaksanaan penelitian dan penyelesaian laporan tugas akhir.

2. Pengambilan Data Lapangan

Melakukan pengamatan data yang diberikan ditinjau dari Jumlah Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit Sebagai PLTBG Bandar Pasir Mandoge Terhadap Kebutuhan Energi Listrik Pada Proses Pengolahan Kelapa Sawit.

- a. Wawancara

Teknik pengumpulan data dengan mengadakan komunikasi langsung terhadap pihak perusahaan yang berwenang untuk memberikan informasi dan data yang dibutuhkan dalam penulisan laporan akhir ini.

- b. Riset/Pengumpulan Data Tertulis

Riset dilakukan untuk pengambilan data yang dibutuhkan guna melengkapi data dari penulisan laporan tugas akhir. Pengambilan data dilakukan guna memenuhi tujuan dan manfaat dari penelitian ini.

3. Metode Konsultasi

Konsultasi dilakukan dengan dosen pembimbing ataupun dengan pembimbing dari instansi yang bersangkutan serta dengan pihak-pihak yang berkenaan dengan tugas akhir.

4. Metode Analisis dan Kesimpulan

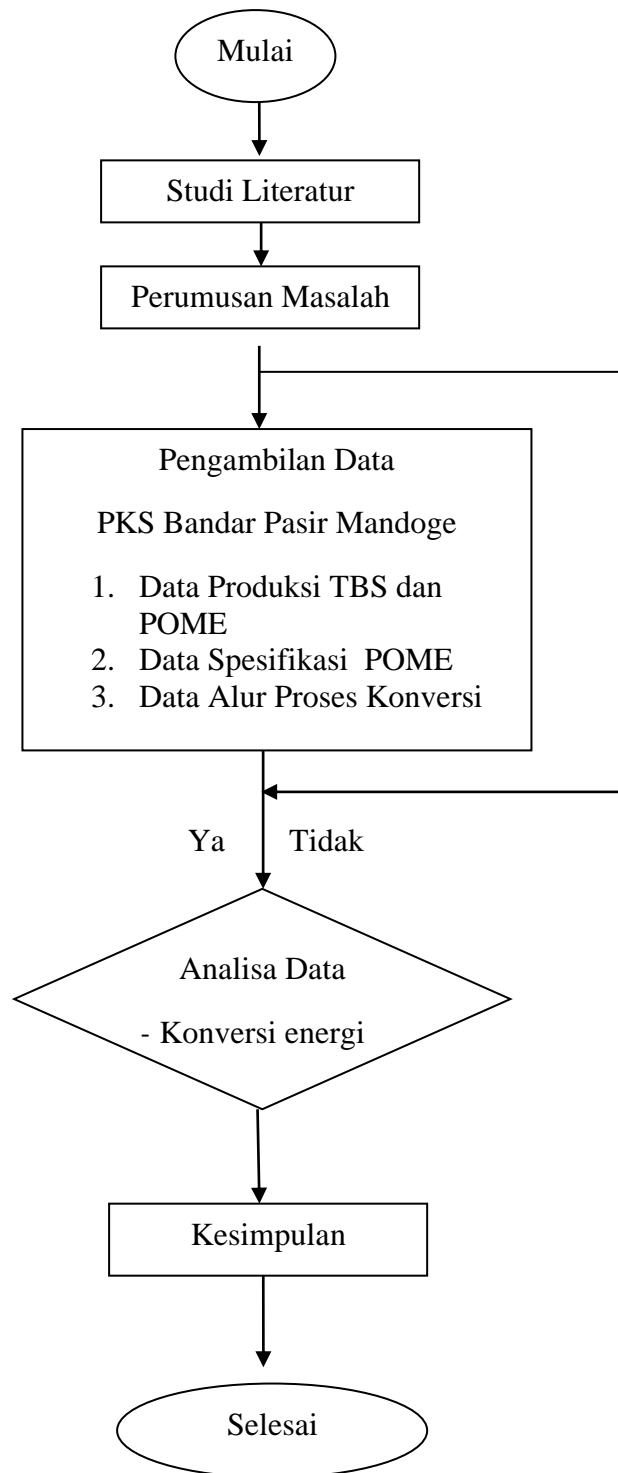
Melakukan analisis dari semua data yang diperoleh dan mengambil kesimpulan akhir keseluruhan proses yang telah dilakukan.

3.2 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

Proses jalannya penelitian yang akan dilaksanakan dari Desember 2022 sampai dengan September 2023 melihat jadwal pelaksanaan penelitian dimulai dari melakukan pengajuan judul tugas akhir hingga sidang meja hijau.

3.3 Jalannya Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian yaitu dengan cara pengumpulan data Dari lapangan untuk selanjutnya dilakukan analisa data terhadap data yang telah diperoleh dari lapangan. Dalam penelitian ini, pengumpulan data yang digunakan untuk mengetahui hasil konversi energi listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga biogas dalam penggunaan beban. Pada metode ini, data yang sudah dikumpulkan selanjutnya diolah menggunakan teknik perhitungan matematis untuk mengetahui hasil yang diperoleh dari data lapangan, sehingga dapat diterapkan hasil dari penelitian ini pada keadaan yang sebenarnya. Dari penelitian ini di harapkan akan di peroleh konfigurasi untuk konversi energy listrik dari pembangkit listrik tenaga biogas agar dapat mengurangi limbah POME yang dapat mencemarkan lingkungan. Untuk selanjutnya proses jalannya penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4 Sumber Data

Data pada tugas akhir ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan dari (PKS) Bandar Pasir Mandoge dan melalui wawancara dengan pihak terkait. Sedangkan data sekunder didapatkan dari berbagai literatur, jurnal, dan media elektronik. Data yang diperoleh dilapangan sebagai berikut :

- a) Data Produksi TBS dan POME
- b) Data Spesifikasi POME
- c) Data proses konversi limbah POME

3.5.1 Data Produksi Biogas

Dari hasil observasi dilapangan yang dilakukan oleh penulis data yang terkumpul terkait dengan produksi biogas disajikan melalui tabel 3.2,3.3 dan 3.4 dibawah ini:

Tabel 3.2 Produksi Biogas

NO	Produksi	Hasil
1	TBS olah	60 Ton/ jam
2	POME : TBS olah	60%
3	Biogas per m ³ POME	30 m ³ /m ³
4	Produksi Biogas	540 m ³ /jam
5	Waktu pengisian storage	44 Jam
6	Sesuai produksi no 4	2 Hari

Sumber Data Excel

Tabel 3.3 Konsumsi Biogas

1	Output Gas Engine	1.000 kWh
2	Efisiensi Elektrikal	39%
3	Konsumsi Biogas	2.564 kWh / 3.600 Kj / kWh
4	Kualitas Gas CH ₄	55 %
5	Kalorivic Value	33.600 kJ / m ³
6	Total Fuel Consumption	500 m ³ / h

Sumber Data Excel

Tabel 3.4 Cadangan Biogas

1	Volume tampungan Biogas	24.000 m ³
2	Cadangan Bahan bakar Biogas	48 Jam
3	Sesuai beban no 1	a. Hari

3.5.2 Data Produksi TBS di Bulan Mei

Dari perolehan data melalui proses penelitian mengenai produksi TBS (Tandan buah segar) kelapa sawit di PKS Bandar Pasir Mandoge Kabupaten Asahan pada bulan Mei 2023 disajikan pada table 3.5 dibawah ini

Table 3.5 Produksi POME di Bulan Mei

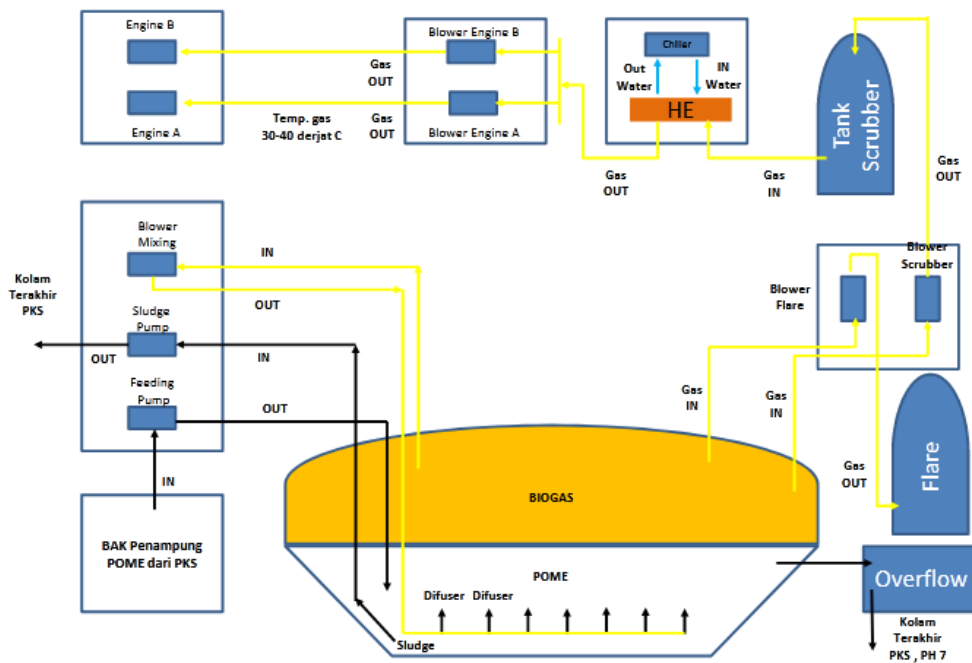
Tanggal	Bulan	TBS Olah (Ton)
1	MEI	966,181
2		967,220
3		1.038,120
4		1.065,960
5		1.116,720
6		962,160
7		963,453
8		1.063,440
9		1.066,750
10		1.063,440
11		967.330
12		1.067,220
13		1.016,400
14		519,060
15		1.063,440
16		1.012,800
17		1.038,120
18		430,440
19		939,060
20		963,300

21	976,335
22	943,020
23	1.062,170
24	1.063,860
25	962,160
26	1.003,860
27	1.002,800
28	978,343
29	1.012,800
30	1.038,120
31	1.040,580
TOTAL	25.523,020
RATA-RATA	823,323

Sumber data hasil observasi penulis

Dari Table 3.5 Diatas bisa dilihat produksi TBS kelapa sawit di PKS Bandar Pasir Mandoge Kabupaten Asahan pada bulan mei tahun 2023. Produksi TBS terendah pada bulan mei tercatat di tanggal 18 mei 2023 dengan jumlah TBS 430,440 Ton. Sementara itu, Produksi TBS tertinggi tercatat pada tanggal 5 Mei dengan jumlah produksi TBS sebesar 1.116,720 ton. Dengan produksi TBS tersebut tentu PKS Bandar Pasir Mandoge memiliki Cadangan penyimpanan. Oleh sebab itu PKS Bandar Pasir Mandoge Kabupaten Asahan memiliki masa pengisian selama 22jam/ Harinya. Total produksi TBS kelapa sawit di bulan mei pada tahun 2023 tercatat sejumlah 25.253,020 ton. Rata-rata produksi TBS di bulan mei tahun 2023 di PKS Bandar Pasir Mandoge Kabupaten Asahan sejumlah 823,323 ton.

3.5.3 Bagan Process Of Biogas Plant



Gambar 3.2 Bagan Process Biogas Plant

Berdasarkan gambar 3.2 proses biogas setiap komponen memiliki fungsinya masing-masing yaitu diantaranya sebagai berikut :

1. Penampung limbah dari PKS



Gambar 3.3 Penampung POME PKS

2. Coling pond PKS



Gambar 3.4 Colingpond PKS

3. Feeding Pump : Berfungsi sebagai penghisap pome dari PKS kemudian di salurkan ke dalam lagoon dengan Ph 5.



Gambar 3.5 Bak Fedding PKS



Gambar 3.6 Fedding pump

4. Sludge Pump : Berfungsi sebagai penghisap kotoran yang ada di dasar lagoon agar tidak terjadi pendakalan, kemudian dibuang kedalam kolam PKS, PH nya sudah di 8.
5. Mixing Blower : Berfungsi sebagai pengaduk POME, cara kerjanya, gas di hisap kemudian di semburkan kedalam lagoon agar bakteri 2 di yang ada di dalam menjadi segar, Bakteri nya di namakan Methagonic.



Gambar 3.7 Mixing Blower

6. Overflow : Berfungsi untuk menjaga level air di dalam lagoon bagian atas agar air tidak masuk kedalam gas collection yang ada di dalam cover lagoon.
7. Scrubber : berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan CH_4 dan menurunkan H_2s , Untuk menaikkan dan menurunkan CH_4 dengan cara mengatur injeksi udara yang ada di dalam ruangan control scrubber, apabila CH_4 naik maka injeksi udara yang masuk kedalam tanki scrubber di naikan, dan apabila CH_4 turun maka injeksi udara di kurangi, maksimal Injeksi udara di 5%, Untuk mengurangi H_2S dengan cara menghidupkan pompa spray agar bakteri2 di dalam tanki scrubber hidup sehingga H_2s tersebut dimakan oleh bakteri, nama bakterinya Thiobacelus.
8. Flare Berfungsi sebagai pengaman cover lagoon dari over pressure, gas secara otomatis akan buang dan flare akan bekerja.



Gambar 3.8 Flare

9. Chiller berfungsi untuk mendinginkan air yang masuk ke HE, HE merupakan tempat gas masuk dan keluar, sehingga gas yang keluar dari HE terjaga kelembapannya, Air Chiller di jaga di 13 derajat celcius.
10. Scrubber Blower : berfungsi sebagai penghisap gas dari Lagoon.
11. Blower Engine : Untuk Menyuplai gas ke Engine, Untuk Crank Engine butuh tekanan gas di 100 mBar, apabila sudah normal RPM engine maka di lakukan proses sinkronisasi kemudian di naikin pressurennya dengan

cara menaikkan hz nya perlahan-lahan, pressure saat sudah berbeban di jaga di 120 mBar.

3.5.4 Karakteristik limbah POME

Pada tahap ini dilakukan analisis karakteristik dari POME. Pengujian karakteristik POME didasarkan untuk mengetahui kandungan yang terdapat dalam POME. Parameter-parameter analisis yang dilakukan terdiri dari COD, BOD, TSS, dan pH, dimana karakteristik ini nantinya akan sangat berpengaruh terhadap proses produksi biogas. Hasil analisis karakteristik POME dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut ini :

Table 3.6 Karakteristik Limbah POME

PARAMETER	SATUAN	HASIL	BAKU MUTU*	METODA **
pH di Laboratorium	-	7,46	-	4500-H ⁺ -B
Total Nitrogen (N-Total)	mg/l	69,97	50	4500-N
***	mg/l	5793	250	org-B
Total Padatan Tersuspensi	mg/l	26	25	2540 D
Minyak dan Lemak	mg/l	8209,15	350	SNI 6989-
COD dgn K ₂ Cr ₂ O ₇	mg/l	4660	100	10:2011
BOD 5 hari 20 °C ***				5220 C
				5210 B

Analisis COD dilakukan untuk mengetahui banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi kandungan organik seperti amonia dan nitrit. COD mencakup jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik menjadi CO dan H O. POME memiliki nilai COD2 2 yang tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa kandungan organik dalam POME juga tinggi sehingga sangat baik untuk tempat ber- kembangnya organisme anaerobik, salah satunya yaitu bakteri metagenik yang akan menghasilkan gas metana atau biogas. Nilai COD berdasarkan Tabel 4.2 berada pada kisaran 35.000 mg/l, sehingga nilai tersebut digunakan sebagai basis desain proses.

BOD didefinisikan sebagai banyaknya oksigen yang diperlukan oleh organisme pada saat pemecahan bahan organik, pada kondisi aerobik (Raliby,

et.al., 2009). Pemecahan bahan organik diartikan bahwa bahan organik ini digunakan oleh organisme sebagai bahan makanan dan energinya diperoleh dari proses oksidasi. Penentuan BOD merupakan suatu prosedur yang menyangkut pengukuran banyaknya oksigen yang digunakan oleh organisme selama organisme tersebut menguraikan bahan organik yang ada dalam suatu substrat, pada kondisi yang hampir sama dengan kondisi yang ada di alam. Parameter BOD juga penting untuk diperhatikan karena menunjukkan biodegradabilitas dari POME. Semakin tinggi nilai BOD/COD maka semakin tinggi pula biodegradabilitasnya sehingga semakin efektif pula untuk proses produksi biogas. BOD POME di PKS Bandar Pasir Mandoge berkisar antara 10.000 mg/l.

Nilai pH POME berkisar 7,46. Menurut Saidu et.al., (2013), POME adalah koloid coklat krem dengan pH 4 - 5, yang tergantung oleh kualitas bahan baku (TBS). Pada fermentasi anaerobik, pH merupakan salah satu faktor kritis yang mempengaruhi metanogen, dan karena itu secara langsung mempengaruhi produksi biogas dan metana (Chonga, et.al., 2017). Metanogen sangat rentan terhadap nilai pH sekitarnya. Oleh sebab itu, sebelum POME masuk ke digester maka POME tersebut harus di treatment terlebih dahulu sampai pH 6,5 sampai 7,8 (Anderson, et.al., 2003). Salah satu treatment untuk menjaga pH yaitu dengan recycle effluent dari digester.

3.5.5 Uji Lab limbah POME (Palm Oil Mill Effluent)

Pada saat Survey dilaksanakan tercatat PKS Bandar Pasir Mandoge memproduksi TBS selama 16 Jam/ Hari. Uji laboratorium POME di PKS Bandar Pasir Mandoge dilakukan di 3 kolam, yaitu kolam 1, 2 dan 3. Masing-masing kolam dilakukan pengukuran sampel sebanyak 10 kali. Tabel 4.8 memperlihatkan hasil pengujian karakteristik POME tersebut.

Table 3.7 Uji Lab limbah POME

No	Parameter	Satuan	Rata-rata		
			Fat Fit	Cooling Pond	Bak Feeding
1	COD	mg/l	33.691	32.367	2.619
2	BOD	mg/l	14.294	12.658	800
3	TDS	mg/l	6.946	6.218	624

4	O & G	mg/l	526	803	8,2
5	pH	-	4,5	4,37	6,48
6	Temperature	°C	58,2	52,65	37,9

Dari hasil tersebut maka limbah POME untuk keperluan PLTBg POME akan diambil dari kolam pertama, yakni keluaran Fat Fit menuju Cooling Pond, karena memiliki nilai COD yang dianggap paling mencukupi untuk pembangunan PLTBg POME dengan kapasitas MW. Titik tersebut memiliki COD rata-rata sebesar 33.600 ppm, BOD 14.200 ppm, OG 526 ppm, pH 4,5



Gambar3.9 limbah POME

POME didefinisikan sebagai limbah cair yang dihasilkan dari industri, yang mengandung bahan terlarut yang berbahaya bagi lingkungan. Material terlarut tersebut dapat berupa gas (CH_4 , SO_2 , NH_3), cairan dan padatan yang mengandung ion-ion organik maupun anorganik yang konsentrasinya masih diatas level yang ditetapkan. Adanya kandungan senyawa- senyawa tersebut dapat berbahaya bagi lingkungan, sehingga perlu diolah atau dipurifikasi sebelum dibuang ke lingkungan. Limbah POME berwarna kecoklatan dan mengandung berbagai senyawa terlarut berupa serat-serat pendek, hemiselulosa dan turunannya, protein, asam organik bebas dan campuran mineral-mineral. Selain itu terdapat pigmen organik seperti antosianin, karoten, polifenol, lignin dan tanin

pada limbah POME (Kongnoo, 2012). Senyawa organik pada limbah POME akan menyebabkan beberapa masalah seperti meningkatkan nilai COD dan BOD, sehingga apabila dialirkan ke perairan tanpa diolah akan mengurangi jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh organisme perairan. Selain itu warna pada limbah POME dapat memperlambat pertumbuhan biota akuatik karena mengurangi penetrasi cahaya matahari mengakibatkan penurunan proses fotosintesis.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil produksi limbah POME selama 1 bulan

Potensi POME untuk produksi biogas dapat dilihat dari data TBS yang digunakan di PKS Bandar Pasir Mandoge. Jumlah TBS yang digunakan di PKS Bandar Pasir Mandoge kapasitas produksi 60 Ton/Jam setiap bulannya yang berlangsung pada bulan Mei 2023 dengan rasio TBS : POME adalah 60%, Maka dari perolehan data produksi TBS dan bisa dihitung jumlah limbah pome yang dihasilkan disajikan dalam bentuk tabel 4.1 dibawah ini :

Tabel 4.1 Produksi POME dan TBS

Tanggal	Bulan	TBS Olah (Ton)	Rasio	Limbah POME
1	MEI	966,181	60%	579,7086
2		967,22	60%	580,332
3		1.038,12	60%	622,872
4		1.065,96	60%	639,576
5		1.116,72	60%	670,032
6		962,16	60%	577,296
7		963,453	60%	578,0718
8		1.063,44	60%	638,064
9		1.066,75	60%	640,05
10		1.063,44	60%	638,064
11		967.330	60%	580398
12		1.067,22	60%	640,332
13		1.016,40	60%	609,84
14		519,06	60%	311,436
15		1.063,44	60%	638,064
16		1.012,80	60%	607,68
17		1.038,12	60%	622,872
18		430,44	60%	258,264
19		939,06	60%	563,436
20		963,3	60%	577,98
21		976,335	60%	585,801
22		943,02	60%	565,812
23		1.062,17	60%	637,302
24		1.063,86	60%	638,316
25		962,16	60%	577,296
26		1.003,86	60%	602,316

27		1.002,80	60%	601,68
28		978,343	60%	587,0058
29		1.012,80	60%	607,68
30		1.038,12	60%	622,872
31		1.040,58	60%	624,348
TOTAL		25.523,02		15.319,212
RATA-RATA		823,323		763,262

Sumber data PKS

Dari tabel 4.1 Diatas bisa dilihat jumlah volume POME yang dihasilkan dari produksi TBS di PKS Bandar Pasir Mandoge Kabupaten Asahan pada bulan mei selama 1 bulan penuh di tahun 2023. Nilai total dari produksi TBS Kelapa sawit di PKS Bandar Pasir Mandoge Kabupaten Asahan sejumlah 25.523,02 ton. Rata-rata produksi TBS Harian dengan jam produksi selama 16jam mencapai 823,323 ton. Dengan rasio 60% , maka dari tabel 4.1 diatas disimpulkan jumlah volume total pome yang dihasilkan dari produksi TBS sejumlah 15.319,212 m³. Rata- rata jumlah volume harian yang dihasilkan sejumlah 763,262 m³. Data produksi TBS dan limbah POME diambil setiap hari tiap jam produksi.

4.2 Perhitungan Volume Biogas

Berdasarkan Data-data yang diperoleh di lapangan, maka jumlah volume biogas di PKS Bandar Pasir Mandoge Kabupaten Asahan dengan kapasitas produksi sebesar 60 Ton/Jam dan rasio limbah POME yang dihasilkan sebesar 60% dalam jam produksi selama 22 jam/Hari. Untuk menghasilkan daya listrik $1,1 \times 2\text{MW}$ dengan metode perhitungan matematis sebagai berikut :

Dari persamaan 2.1 menghitung jumlah TBS yang dihasilkan dalam masa pengisian.

$$\begin{aligned} \text{Produksi TBS} &= \text{TBS olah} \times \text{Waktu pengisian} \\ \text{Produksi TBS} &= 60 \text{ ton} \times 22 \text{ Jam} \\ &= 1.320 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Hasil TBS selama masa pengisian sejumlah 1.320 Ton. Untuk menghitung jumlah volume yang dihasilkan dalam masa pengisian bisa dihitung melalui persamaan 2.2

$$\begin{aligned} \text{Volume POME} &= \text{Rasio TBS} \times \text{Produksi TBS} \\ \text{Volume POME} &= 60\% \times 1.320 \text{ ton} = 792 \text{ m}^3 \text{ POME} \end{aligned}$$

Dengan jumlah volume POME 792 m^3 , maka volume biogas yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan 2.3

$$\begin{aligned} \text{Volume Biogas} &= 30 \text{ m}^3 \times \text{Volume POME} \\ \text{Volume Biogas} &= 30 \text{ m}^3 \times 792 \text{ m}^3 \\ &= 23.760 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Menghitung nilai kalor bisa ditentukan melalui persamaan 2.4

$$\begin{aligned} \text{Nilai kalor} &= 33.600 \text{ kJ} \times \text{Kualitas gas CH}_4 \\ \text{Nilai kalor} &= 33.600 \times 55\% \\ &= 18.480 \text{ Kcal/kg} \end{aligned}$$

Berdasarkan sumber data yang diperoleh dilapangan untuk menentukan konsumsi biogas melalui persamaan 2.5

$$\begin{aligned}\text{Konsumsi Biogas} &= \text{Output Gas Engine} / \text{Efisiensi Elektrikal} \\ \text{Konsumsi Biogas} &= 1.000 \text{ kWh} / 39\% \\ &= 2.564 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Jadi, nilai daya listrik yang dihasilkan oleh konsumsi biogas oleh Gas engine berdasarkan efisiensi gas engine per unitnya adalah 2.564 kWh.

Selanjutnya untuk menentukan energy (Joule) menggunakan persamaan 2.6

$$\begin{aligned}\text{Nilai energy (Joule)} &= \text{kWh} \times 3.600 \\ \text{Nilai energy (Joule)} &= 2.564 \times 3.600 \\ &= 9.230.769 \text{ Kj}\end{aligned}$$

Maka, menentukan pemakaian fuel (bahan bakar) berdasarkan persamaan 2.7

$$\begin{aligned}\text{Total Fuel consumption} &= \text{Nilai energy} / \text{nilai kalor} \\ \text{Total fuel consumption} &= 9.230.769 / 18.480 \\ &= 500 \text{ m}^3/\text{h}\end{aligned}$$

Volume biogas yang dikonsumsi oleh gas engine untuk menghasilkan daya listrik 1 kWh dapat ditentukan pada persamaan 2.8

$$\begin{aligned}\text{Volume biogas / kWh} &= \text{Volume Biogas} / \text{konsumsi Biogas} \\ \text{Volume Biogas/ kWh} &= 23.760 \text{ m}^3 / 2.564 \text{ kWh} \\ &= 9,26 \text{ m}^3/\text{kWh}\end{aligned}$$

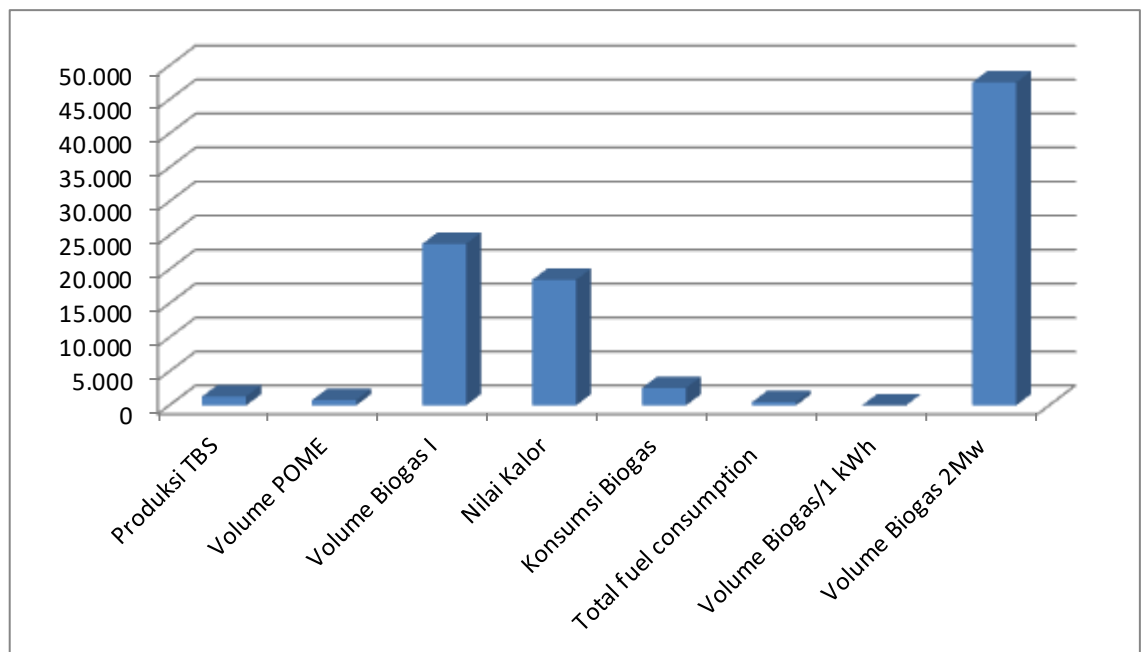
Disimpulkan untuk menghasilkan daya listrik 1MW memerlukan volume biogas sejumlah 23.760 m³, Maka untuk memenuhi kapasitas 1,1 x 2Mw dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Total volume limbah POME 1MW} &= 792 \text{ m}^3 \\ \text{Total volume limbah POME 2MW} &= 792 \text{ m}^3 \times 2 \\ &= 1.584 \text{ m}^3 \\ \text{Total volume biogas 1MW} &= 23.760 \text{ m}^3 \\ \text{Total volume biogas 2MW} &= 23.760 \text{ m}^3 \times 2 \\ &= 47.520 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Hasil analisa dengan metode perhitungan matematis terkait jumlah volume limbah POME dan volume biogas yang diperlukan untuk menghasilkan daya listrik 1,1 x 2MW dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Hasil perhitungan biogas

No	Uraian	Hasil
1	Produksi TBS	1.320 Ton
2	Volume POME	792 m ³
3	Volume Biogas I	23.760 m ³
4	Nilai Kalor	18.480 Kcal /kg
5	Konsumsi Biogas	2.564 kWh
6	Total fuel consumption	500m ³
7	Volume Biogas/1 kWh	9,26 m ³
8	Volume Biogas 2Mw	47.520 m ³



Gambar 4.1 Grafik konsumsi POME dan Biogas

Dari hasil analisa dengan metode perhitungan matematis, PKS Bandar Pasir Mandoge Kabupaten Asahan menghasilkan TBS sebesar 1.320 ton pada kapasitas produksi 60 ton dengan masa storage/pengisian 22jam/ harinya. Limbah POME yang diperoleh dari total produksi TBS 1.320 ton dengan rasio 60% sejumlah 792 m³ dan disimpulkan 1 ton TBS mampu menghasilkan 0,6 m³ POME. Volume biogas yang diproduksi dari 1m³ POME sejumlah 30 m³. Maka total volume biogas yang dihasilkan dari 1.320 ton TBS adalah 23.760 m³. Ouput 1 unit gas engine 1.000 kWh dengan efisiensi 39% membutuhkan daya sebesar 2.564 kWh untuk bisa mencapai nilai output tersebut. 1 kWh bisa dihasilkan dari biogas sejumlah 9,26m³ dan hasil akhir untuk mencapai 1,1 x 2MW Dari hasil total volume biogas 23.760 m³/ 1 MW dengan masa penyimpanan 44jam. Kapasitas cadangan biogas sejumlah 24.000 m³. Untuk mencapai daya 1,1 x 2 MW PKS Bandar Pasir Mandoge Kabupaten Asahan menggunakan 2 unit Gas engine yang disinkronkan. Jadi, total volume limbah POME dan volume biogas yang diperlukan untuk menghasilkan daya listrik sebesar 1,1 x 2MW sejumlah 1.584m³ limbah POME dan volume biogas sejumlah 47.520 m³. Memerlukan 2.640 ton TBS kelapa sawit. Untuk bisa mengkonsumsi serta menyalurkan daya listrik yang dihasilkan dari proses konversi limbah POME memerlukan masa pengisian 2 hari ditambah memenuhi kapasitas cadangan biogas 1 hari.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa data yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Jumlah TBS yang dihasilkan di PKS Bandar Pasir Mandoge Kabupaten Asahan pada bulan Mei tahun 2023 sejumlah 25.523,02 ton dengan rata-rata produksi harian sejumlah 823,323 ton. Dengan rasio 60% maka pome yg dihasilkan sejumlah 15.319,212 m³. Rata-rata produksi pome per hari sejumlah 763,262 m².
2. Limbah POME yang diperoleh dari total produksi TBS 1.320 ton dengan rasio 60% sejumlah 792 m³ dan disimpulkan 1 ton TBS mampu menghasilkan 0,6 m³ POME. Volume biogas yang diproduksi dari 1 m³ POME sejumlah 30 m³. Maka total volume biogas yang dihasilkan dari 1.320 ton TBS adalah 23.760 m³. Untuk menghasilkan 1kWh membutuhkan konsumsi biogas sejumlah 9,26 m³.
3. Total output energi listrik dari turbin sebesar 1,1 x 2MW pada PKS Bandar Pasir Mandoge Kabupaten Asahan. Dengan kapasitas produksi sebesar 60 Ton/Jam dan POME yang dihasilkan sebesar 60% dengan masa pengisian selama 22jam/Hari. Biogas yang dihasilkan dari per m³ POME sebesar 30m³/m³ dengan masa storage selama 44 jam. Maka total Biogas yang dikonsumsi untuk mencapai output 2MW adalah ³ 47.520 m³ dan total limbah POME yang diperlukan sejumlah 1.584m³. dan TBS kelapa sawit yang diperlukan sejumlah 2.640 ton.

5.2. Saran

Berdasarkan pengamatan dalam penelitian ini, dapat diajukan beberapa saran yaitu:

1. Untuk lebih menekan biaya operasional PKS Bandar Pasir Mandoge Kabupaten Asahan, maka disarankan untuk penggunaan turbin uap lebih dimaksimalkan agar penggunaan genset atau listrik PLN tidak terlalu sering digunakan.

2. Untuk penelitian selanjutnya disarankan lebih memaksimalkan pendataan setiap peralatan/mesin produksi agar didapatkan data kapasitas terpasang dengan kapasitas terukur sehingga diketahui nilai efisiensi teknis pada setiap peralatan/mesin produksi.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang komposisi limbah cair kelapa sawit untuk lebih meningkatkan nilai daya yang lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Hidayati, Sukardi, A. Suryani, A. M. Fauzi, and Sugiharto, “Identifikasi Revitalisasi Perkebunan Kelapa Sawit Di Sumatera Utara,” *J. Teknol. Ind. Pertan.*, vol. 26, no. 3, pp. 255–265, 2019.
- [2] Ditjenbun, “Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2019-2021,” *Direktorat Jendral Perkeb. Kementerian. Pertan. Republik Indones.*, pp. 1–88, 2021.
- [3] D. Erivianto, B. A. P, and D. Notosudjono, “Penggunaan Limbah Padat Kelapa Sawit Untuk Menghasilkan Tenaga Listrik Pada Existing Boiler,” *Sainstech J. Penelit. dan Pengkaj. Sains dan Teknol.*, vol. 26, no. 2, pp. 85–93, 2020, doi: 10.37277/stch.v26i2.514.
- [4] M. Adios and R. Desmiarti, “Kombinasi Proses Aerobik dengan Plasma Dielectric Barrier Discharge (DBD) Untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Kelapa Sawit,” *Bunghatta*, vol. 18, no. 4, 2021.
- [5] S. Sisnayati, D. S. Dewi, R. Apriani, and M. Faizal, “Penurunan BOD, TSS, minyak dan lemak pada limbah cair pabrik kelapa sawit menggunakan proses aerasi plat berlubang Reducing BOD, TSS, oil and greace in palm oil mill effluent by using perforated plate aeration process,” *J. Tek. Kim.*, vol. 27, no. 2, pp. 2721–4885, 2021.
- [6] M. Mirnandaulia, I. Rachmiadji, and G. Exadius, “Pemanfaatan Palm Oil Mill Effluent (Pome) Sebagai Alternatif Energi Terbarukan Di Salah Satu,” *Ready STAR-2 Reg. Dev. Ind. Heal. Sci. Technol. Art Life*, vol. 2, no. 1, pp. 25–29, 2019.
- [7] L. Parinduri, “Analisa pemanfaatan POME untuk sumber pembangkit listrik tenaga biogas di pabrik kelapa sawit,” *J. Electr. Technol.*, vol. 3, no. 3, pp. 180–183, 2018.
- [8] Safrizal, “Small Renewable Energy Biogas Limbah Cair (Pome) Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Tipe Covered Lagoon Solusi Alternatif Defisit Listrik Provinsi Riau,” *J. DISPROTEK*, vol. 6, no. 1, pp. 26–35, 2018.
- [9] W. Y. Irwansyah, Danial, and A. Hiendro, “Potensi pemanfaatan palm oil mill effluent (POME) sebagai bahan baku pembangkit listrik tenaga biogas

- (PLTBg) di PKS PT. Fajar Saudara Kusuma,” *J. SI Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 2, no. 1, p. p8, 2018.
- [10] D. Maryani and L. Umar, “Identifikasi Limbah Palm Oil Mill Effluent (Pome) Menggunakan Biosensor Berbasis Alga,” *J. Online Phys.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–6, 2021, doi: 10.22437/jop.v7i1.14387.
- [11] D. A. P. Sari, D. Fadiilah, and A. Azizi, “Utilization of palm oil mill effluent (Pome) for biogas power plant; its economic value and emission reduction,” *J. Adv. Res. Dyn. Control Syst.*, vol. 11, no. 7, pp. 465–470, 2019.
- [12] D. Sarwanto, I. K. Nugraheni, N. Nuryati, A. A. BP, T. Triyono, and W. Trisunaryanti, “Preparasi Palm Oil Mill Effluent (Pome) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel Menggunakan Katalis Koh,” *J. Sains dan Terap. Kim.*, vol. 14, no. 2, p. 99, 2020, doi: 10.20527/jstk.v14i2.6902.
- [13] R. Desmiarti and A. Hazmi, *Sistem Plasma Sebagai Teknologi Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit Menjadi Biogas*. 2021.
- [14] B. Andika, P. Wahyuningsih, and R. Fajri, “Penentuan Nilai BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah Di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan,” *Quim. J. Kim. Sains dan Terap.*, vol. 2, no. 1, pp. 14–22, 2020.
- [15] W. S. Winanti, P. Prasetyadi, and W. Wiharja, “Pengolahan Palm Oil Mill Effluent (POME) menjadi Biogas dengan Sistem Anaerobik Tipe Fixed Bed tanpa Proses Netralisasi,” *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 20, no. 1, p. 143, 2019, doi: 10.29122/jtl.v20i1.3248.
- [16] A. S. Rahayu *et al.*, “Buku Panduan Konversi POME Menjadi Biogas Pengembangan Proyek di Indonesia,” *Winrock Int.*, p. 100, 2019.
- [17] F. M. A. Chusna, M. Mellyanawaty, and E. Nofiyanti, “Peningkatan Produksi Biogas dari Palm Oil Mill Effluent (POME) dengan Fluidisasi Media Zeolit Termodifikasi pada Sistem Batch,” *J. Rekayasa Proses*, 2020, doi: 10.22146/jrekpros.56133.
- [18] A. Asadiya and N. Karnaningroem, “Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Proses Aerasi, Pengendapan, dan Filtrasi Media Zeolit-Arang Aktif,” *J. Tek. ITS*, 2018, doi: 10.12962/j23373539.v7i1.28923.

- [19] H. Yonas, Riky; Irzandi, Uray; Satriadi, “Pengolahan Limbah Pome (Palm Oil Mill Effluent) Dengan Menggunakan Mikroalga,” *J. Teknol. Kim. dan Ind.*, 2018.
- [20] N. M. Putri, *Studi Bioremediasi Limbah POME (Palm Oil Mill Effluent) Menggunakan Mikroba Lipolitik Isolat Lokal*. 2023.



UMSU
Urgent | Cerdas | Terpercaya

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN SEMINAR HASIL

Nama : Wahyu Pramansyah
NPM : 1907220014
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : "Analisis Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit (POME) sebagai PLTBg di PKS Bandar Pasir Mandoge Kabupaten Asahan"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	7/7 2023	Revisi BAB 3	
2	11/8 2023	Acc Bab 3	
3	18/8 2023	Revisi Bab 4	
4	23/8 2023	Acc Bab 4	
5	31/8 2023	Pembahasan Bab 5	
6	2/9 2023	Acc Skripsi	

Mengetahui,
Pembimbing I

Rimbawati, S.T., M.T

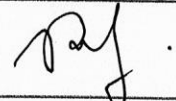
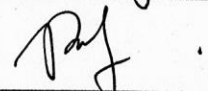
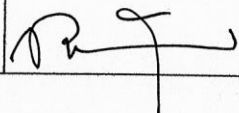


UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN SIDANG TUGAS AKHIR

Nama : Wahyu Pramansyah
NPM : 1907220014
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : "Analisis Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit (POME) sebagai PLTBg di PKS Bandar Pasir Mandoge Kabupaten Asahan"

No	Tanggal	Catatan Asistansi	Paraf Pembimbing
1	11/9/2023	Diskusi Hasil Selesai	
2.	17/9/2023	Revisi	
3	18/9/2023	UAc sidang	

Mengetahui,
Pembimbing I



Rimbawati, S.T., M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

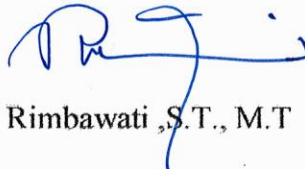
FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Wahyu Pramansyah
NPM : 1907220014
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : "Analisa Limbah Cair Kelapa Sawit (POME) Sebagai PLTBg Di PKS Pasir Mandoge Kabupaten Asahan"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	5/1/23	pembahasan isi BAB 1 - BAB 3	Raf.
2	25/1/23	Revisi BAB 1	Raf.
3	15/2/23	Ace BAB 1 lanjut Bab 2 1	Raf.
4	20/2/23	Revisi BAB 2 !!	Raf.
5	5/3/23	Ace BAB 2 ! lanjut BAB 3 !	Raf.
6	12/3/23	Ace sempurno ^{12/3} 2023	Raf.

Mengetahui,
Pembimbing I



Rimbawati, S.T., M.T