



**PRARANCANGAN PABRIK BIOGAS DARI LIMBAH CAIR  
KELAPA SAWIT *PALM OIL MILL EFFLUENT* (POME)  
KAPASITAS 12.000 TON/TAHUN**

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana, pada  
program studi S1 Teknik Kimia.*

**SKRIPSI**

Oleh

**Shafirra Asrowi Puteri  
191910401003**

**KEMETERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA  
JEMBER  
2023**

## PERSEMBAHAN

Skripsi berjudul “*Prarancangan Pabrik Biogas dari Limbah Cair Kelapa Sawit Palm Oil Mill Effluent (POME) Kapasitas 12.000 Ton/Tahun*” ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua saya yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, bimbingan, dan doanya secara terus-menerus yakni Bapak Ichsan Asrowi dan Ibu Binti Suriyah, serta adik-adik saya yakni Najwa Tisha Aprillia dan Natasha Asrowi Puteri yang selalu memberikan semangat;
2. Bapak Ir. Boy Arief Fachri, S.T., M.T., Ph.D., IPM., selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember sekaligus sebagai Dosen Pembimbing Utama (DPU) tugas akhir perancangan pabrik kimia;
3. Ibu Zuhriah Mumtazah, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota (DPA) tugas akhir perancangan pabrik kimia;
4. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Jember
5. Civitas Akademik Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan pelayanan dengan baik;
6. Sahabat-sahabat saya yang telah mendukung dan memberikan semangat kepada saya selama masa perkuliahan dan selama menyelesaikan tugas akhir Prarancangan Pabrik Biogas ini yakni Zilma Aliyah Farwah, Susilowati, Azizatul Husna, Ayunda Rara Mastika, Nadifa Indah Pramesti, dan Yensy Ina Anggraini;
7. Terimakasih untuk BTS yakni Kim Namjoon, Kim Seokjin, Min Yoongi, Jung Hoseok, Park Jimin, Kim Taehyung, dan Jeon Jungkook yang selalu memberikan inspirasi, semangat, dan hiburan selama pengerjaan tugas akhir ini;
8. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya penyusunan tugas akhir Prarancangan Pabrik Biogas ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu;
9. Almamater Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Jember yang kami banggakan.

Semoga segala dukungan, bimbingan, dan doa yang diberikan oleh semua pihak dalam pengerjaan Tugas Akhir ini kepada penulis akan menjadi berkah dan mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT. Pembuatan laporan hasil Prarancangan Pabrik Biogas Dari Limbah Cair Kelapa Sawit *Palm Oil Mill Effluent* (POME) ini, tentunya masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, dengan adanya kritik dan saran yang membangun maka diharapkan dapat menjadi masukan untuk peyempurnaan di masa depan. Penulis berharap bahwa Tugas Akhir Prarancangan Pabrik Biogas Dari Limbah Cair Kelapa Sawit *Palm Oil Mill Effluent* (POME) ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Jember, 20 Juli 2023

Penulis

**MOTTO**

*“ Whatever difficulties there may be, I’ll just do my best where I can ”*

– Kim Namjoon, BTS –

*“ You were born to be real. Not, to be perfect ”*

– BTS –



## PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Shafirra Asrowi Puteri

NIM : 191910401003

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: *Prarancangan Pabrik Biogas dari Limbah Cair Kelapa Sawit Palm Oil Mill Effluent (POME) Kapasitas 12.000 Ton/Tahun* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan skripsi ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 21 Juli 2023

Yang menyatakan,



Shafirra Asrowi Puteri

NIM. 191910401003

### HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul *Prarancangan Pabrik Biogas dari Limbah Cair Kelapa Sawit Palm Oil Mill Effluent (POME) Kapasitas 12.000 Ton/Tahun* telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Jum'at  
Tanggal : 21 Juli 2023  
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

#### Pembimbing

#### Tanda Tangan

1. Pembimbing Utama  
Nama : Ir. Boy Arief Fachri, S.T., M.T., Ph.D., IPM  
NIP : 197409011999031002  
(.....)
2. Pembimbing Anggota  
Nama : Zuhriah Mumtazah, S.Si., M.Si.  
NIP : 199311022022032014  
(.....)

#### Penguji

1. Penguji Utama  
Nama : Ir. Istiqomah Rahmawati S.Si., M.Si.  
NIP : 760017101  
(.....)
2. Penguji Anggota  
Nama : Ir. Meta Fitri Rizkiana, S.T., M.Sc.  
NIP : 760017111  
(.....)

**ABSTRACT**

*Biogas is a gas that is formed naturally through anaerobic fermentation process which is one of the raw materials from Palm Oil Mill Effluent (POME). POME is a pollutant from the palm oil industry that causes the most environmental problems because the content of organic compounds is high above the quality standard. Untreated POME can release  $CH_4$  and  $CO_2$  into the atmosphere in the form of greenhouse gases, which cause an increase in the Earth's surface temperature and thus affect the Earth's biotic community. Further treatment needs to be done to overcome these problems by processing POME into biogas. Biogas formation using anaerobic fermentation method for 4 days and purified using chemical absorption solvent monoethanolamine (MEA). The design of a biogas plant with POME raw materials will be established in 2025 with a production capacity of 12,000 tons/year. The location of the plant is planned to be in the Sebawi, Kab. Sambas, District. Sebawi, West Kalimantan with an area of 59,620 m<sup>2</sup>. The workforce required is 140 workers with a company in the form of a Perseroan Terbatas (PT) that implements the line and staff organization system. Based on economic analysis, obtained Annual Cash Flow (ACF) of 30%, Pay Out Time (POT) amount 3,7 years, Rate of Return (ROR) 21,38% , Discounted Cash Flow (DCF) 28,1%, Break Even Point (BEP) 54,9%, so the factory is worth setting up.*

*Keywords: Biogas, Anaerobic Fermentation, Palm Oil Mill Effluent (POME)*

## RINGKASAN

Biogas merupakan gas yang terbentuk secara alamiah melalui proses fermentasi anaerobik yang salah satu bahan bakunya dari limbah cair kelapa sawit atau dikenal sebagai POME (Palm Oil Mill Effluent). POME merupakan polutan dari industri kelapa sawit yang paling banyak menimbulkan masalah lingkungan karena kandungan senyawa organiknya tinggi di atas baku mutu. POME yang tidak diolah dapat melepaskan  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$  ke atmosfer dalam bentuk gas rumah kaca (GRK) yang menyebabkan peningkatan suhu permukaan bumi sehingga mempengaruhi komunitas biotik bumi. Penanganan lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan mengolah POME menjadi biogas. Pembentukan biogas menggunakan metode fermentasi anaerobik selama 4 hari dan dimurnikan menggunakan *chemical absorption* pelarut monoethanolamine (MEA). Proses fermentasi dilakukan menggunakan 2 tahapan, yaitu tahap pertama pada reaksi hidrolisis, asidogenesis dan metanogenesis menggunakan fermentor 1, sedangkan tahap kedua pada reaksi metanogenesis menggunakan fermentor 2. Perancangan pabrik biogas dengan bahan baku POME akan didirikan pada tahun 2025 dengan kapasitas produksi 12.000 ton/tahun. Lokasi pabrik direncanakan berada di daerah Sebawi, Kab. Sambas, Kec. Sebawi, Kalimantan Barat dengan luas area 59.620 m<sup>2</sup>. Tenaga kerja yang diperlukan sebanyak 140 pekerja dengan perusahaan berbentuk Perseroan Terbatas (PT) yang menerapkan sistem organisasi *line and staff*. Berdasarkan analisis ekonomi, diperoleh *Annual Cash Flow* (ACF) sebesar 30%, *Pay Out Time* (POT) sebesar 3,7 tahun, *Net Profit Over Total Life of the Project* (NPOTLP) sebesar Rp. 5.120.164.975.197, *Total Capital Sink* (TCS) sebesar Rp. 4.341.200.098.189, *Rate Of Return* (ROR) sebesar 21,38%, *Discounted Cash Flow* sebesar 28,1%, dan *Break Even Point* (BEP) sebesar 54,9%, sehingga pabrik layak didirikan.



## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkah dan rahmatnya penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Prarancangan Pabrik Biogas dari Limbah Cair Kelapa Sawit *Palm Oil Mill Effluent* (POME) Kapasitas 12.000 Ton/Tahun” dengan lancar sebagaimana mestinya. Keberhasilan dari penyusunan Skripsi ini dapat terwujud dan terselesaikan secara baik dengan adanya bantuan, dorongan, serta bimbingan dari berbagai pihak yang terkait. Dalam kesempatan yang telah diberikan ini, penulis ingin memberikan ucapan terima kasih kepada:

- 1) Allah SWT. atas segala limpahan rahmat dan berkah yang maha besar
- 2) Bapak dan ibu saya yang tercinta selaku orang tua yang selalu memberikan dukungan, semangat dan doa
- 3) Ir. Boy Arief Fachri, S.T., MT., Ph.D., IPM. selaku pembimbing utama
- 4) Zuhriah Mumtazah, S.Si., M.Si selaku pembimbing anggota
- 5) Seluruh *civitas academica* dan teman-teman yang selalu mendukung kami

Penulis menyadari bahwa skripsi yang dikerjakan masih jauh dari kata sempurna, yang masih banyak memiliki kekurangan didalamnya. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan seluruh saran dan kritik yang dapat membangun perkembangan pembahasan terkait topik skripsi maupun bagi penulis pribadi. Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi banyak pihak, khususnya penulis, negara Indonesia dan pihak lain yang ingin mengembangkan potensi biogas sebagai energi baru terbarukan, serta dapat menambah pengetahuan bagi pembaca.

Jember, 20 Juli 2023

Penulis

**DAFTAR ISI**

PERSEMBAHAN.....	i
MOTTO.....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN.....	v
RINGKASAN.....	vii
PRAKATA.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Sejarah dan Perkembangan.....	2
BAB 2 PERENCANAAN PABRIK.....	3
2.1 Pemilihan Kapasitas.....	3
2.1.1 Ketersediaan Bahan Baku di Dalam Negeri.....	3
2.1.2 Produsen Biogas di Indonesia.....	4
2.2 Pemilihan Proses.....	4
2.3 Uraian Proses.....	6
2.4 Pemilihan Lokasi dan Tata Letak.....	11
2.5.1 Lokasi Pabrik.....	11
2.5.2 Tata Letak Pabrik.....	13
BAB 3 NERACA MASSA.....	14
BAB 4. NERACA ENERGI.....	15
BAB 5 SPESIFIKASI ALAT.....	16
5.1 Daftar Alat.....	16
5.1.1 Tangki Fermentor 1 (R-210).....	16
5.1.2 Tangki Fermentor 2 (R-220).....	17
5.1.3 Absorber (D-310).....	18
5.1.4 Storage Tank (F-330).....	19
5.1.5 Stripper (D-320).....	19

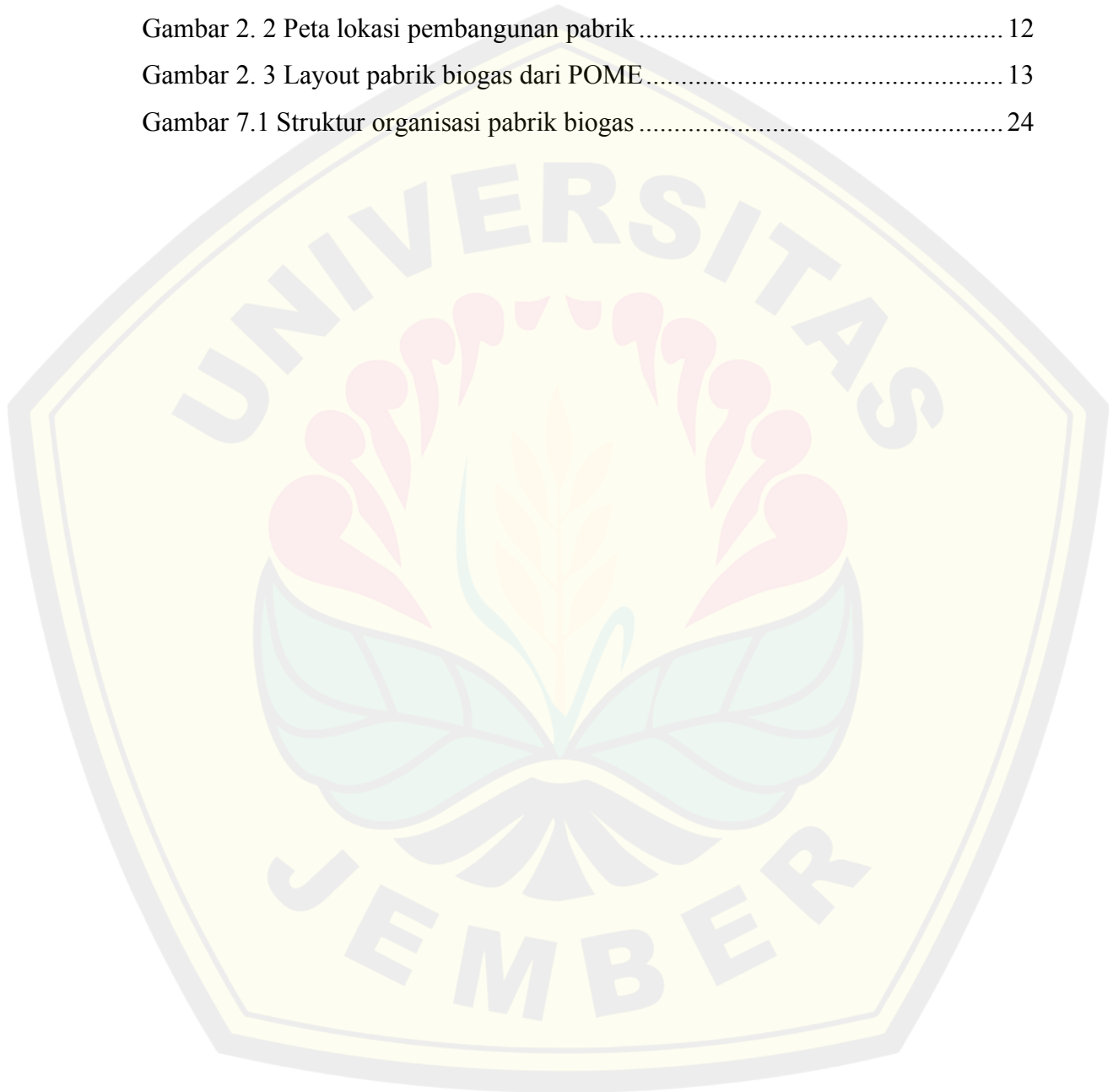
BAB 6 UTILITAS .....	20
6.1 Unit Pengolahan Air .....	20
6.2 Kebutuhan Air .....	20
6.3 Kebutuhan Air Umpan Boiler .....	20
6.4 Kebutuhan Air Pendingin.....	21
6.5 Kebutuhan Air Sanitasi.....	21
6.6 Kebutuhan Air Untuk Pengenceran.....	21
6.7 Unit Penyediaan Tenaga Listrik .....	22
6.8 Unit Penyedia Bahan Bakar .....	22
6.9 Unit Kultur Bakteri.....	22
6.10 Unit Pengolahan Limbah.....	23
BAB 7 MANAJEMEN PABRIK .....	24
7.1 Bentuk Perusahaan.....	24
7.2 Struktur Perusahaan .....	24
7.3 Jumlah Karyawan .....	24
7.4 Kualifikasi dan Gaji Pegawai/Karyawan .....	25
7.5 Jaminan Sosial Tenaga Kerja .....	25
BAB 8 EVALUASI EKONOMI DAN FAKTOR KESELAMATAN.....	26
8.1 Evaluasi Ekonomi.....	26
8.2 Faktor Keselamatan .....	27
8.2.1. Faktor Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3).....	27
8.2.2. Faktor Bahaya.....	27
8.2.3. Instrumentasi .....	28
BAB 9 PENUTUP .....	29
9.1 Kesimpulan.....	29
9.2 Saran .....	29
DAFTAR PUSTAKA .....	30
LAMPIRAN – LAMPIRAN .....	35

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Kapasitas produksi kelapa sawit di Indonesia .....	3
Tabel 2.2 Produksi POME PT. Fajar Sudara Kusuma tahun 2016 dan 2017 .....	3
Tabel 2. 3 Perbandingan Kapasitas Produksi Pabrik Biogas di Indonesia.....	4
Tabel 3. 1 Komposisi Biogas .....	14
Tabel 4. 1 Neraca Energi Total.....	15
Tabel 6. 1 Baku mutu air di daerah Sambas, Kalimantan Barat.....	20
Tabel 6.2 Total kebutuhan air.....	20
Tabel 6.3 Kebutuhan steam alat proses pabrik biogas .....	20
Tabel 6.4 Total kebutuhan air pendingin pabrik biogas .....	21
Tabel 6.5 Total kebutuhan air sanitasi pabrik biogas .....	21
Tabel 6.6 Total kebutuhan air untuk pengenceran pada pabrik biogas .....	21
Tabel 6.7 Total kebutuhan listrik pada pabrik biogas.....	22
Tabel 8. 1 Hasil Analisa Ekonomi Pembangunan Pabrik Biogas.....	26
Tabel 8. 2 Faktor bahaya pabrik biogas .....	27

**DAFTAR GAMBAR**

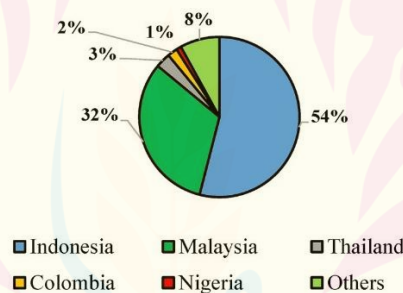
Gambar 1. 1 Total produksi kelapa sawit di Asia Tenggara (Aziz et al., 2020) ..... 1  
Gambar 1. 2 Skema Perkembangan Biogas di Dunia..... 2  
Gambar 2. 1 *Process Flow Diagram* konversi POME menjadi biogas ..... 6  
Gambar 2. 2 Peta lokasi pembangunan pabrik..... 12  
Gambar 2. 3 Layout pabrik biogas dari POME..... 13  
Gambar 7.1 Struktur organisasi pabrik biogas ..... 24



## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Berdasarkan data dari *Food and Agriculture Organization (FAO)*, Indonesia merupakan negara produsen kelapa sawit terbesar di ASEAN ataupun dunia dengan total produksi minyak kelapa sawit pada tahun 2020 mencapai 256,53 juta ton (Rumokoy et al., 2019). Minyak kelapa sawit merupakan minyak nabati yang memiliki permintaan global tertinggi. Oleh karena itu, industri minyak sawit dunia diharapkan dapat tumbuh secara substansial untuk memenuhi permintaan global yang terus meningkat. Situasi ini dapat ditemukan di dua negara produsen minyak kelapa sawit terbesar dunia yaitu Indonesia dan Malaysia. Kedua negara tersebut menyumbang sebanyak 85–90% dari total produksi minyak kelapa sawit global. Tetapi potensi kelapa sawit Indonesia lebih mendominasi dibandingkan negara lain di Asia Tenggara seperti terlihat pada gambar 1.1 berikut:



Gambar 1. 1 Total produksi kelapa sawit di Asia Tenggara (Aziz et al., 2020)

Proses produksi di pabrik kelapa sawit terdiri dari sterilisasi, pengupasan, klarifikasi, dan pemulihan minyak inti sawit. Proses ini menghasilkan limbah padat dan limbah cair, dengan komposisi limbah cair yang mendominasi. Setiap ton tandan buah kelapa sawit segar akan menghasilkan 0,7–1 m<sup>3</sup> POME (Lok et al., 2020). POME merupakan polutan dari industri kelapa sawit yang paling banyak menimbulkan masalah lingkungan karena kandungan senyawa organik yang tinggi di atas baku mutu yang disyaratkan oleh Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014 dengan dampak 100 kali lebih mencemari dibandingkan limbah domestik (Aznury et al., 2018; Chan & Chong, 2019).

*Indonesian Sustainable Palm Oil (ISPO)* adalah kebijakan yang dibuat oleh Pemerintah Republik Indonesia tentang peningkatan daya saing produksi sawit

Indonesia, berkontribusi mengurangi emisi gas rumah kaca, serta memberikan perhatian yang lebih terhadap dampak lingkungan hidup. Adapun limbah produksi kelapa sawit yang saat ini menjadi fokus utama untuk terus ditingkatkan pemanfaatannya yaitu *Palm Oil Mill Effluent* (POME) (Pangarso & Kusdiyantini, 2022). Berdasarkan Kebijakan Energi Nasional, target energi terbarukan adalah 23% dari bauran energi nasional pada tahun 2025. Potensi sumber energi baru terbarukan di Indonesia sangat melimpah, salah satunya ialah biogas. Dengan target bauran energi sumber energi baru terbarukan (EBT) yang diharapkan dapat memenuhi lebih dari 31% kebutuhan energi nasional.

## 1.2 Sejarah dan Perkembangan

Perkembangan awal biogas dimulai sejak ditemukannya di Benua Eropa oleh seorang ilmuwan bernama Alessandro Volta yang menemukan biogas sebagai hasil dari proses *anaerobic digestion*. Ilmuwan tersebut melakukan penelitian terhadap gas yang keluar dari rawa-rawa pada tahun 1770. Gas yang keluar tersebut telah diidentifikasi sebagai gas metana. Pada tahun 1875 dipastikan bahwa biogas adalah hasil dari proses *anaerobic digestion*. Selanjutnya pada tahun 1884 ilmuwan melakukan penelitian tentang biogas dengan menggunakan kotoran hewan sebagai mediasi. Pada tahun 1950 pemakaian biogas di Eropa mulai ditinggalkan. Hal tersebut dikarenakan Bahan Bakar Minyak (BBM) mudah didapatkan dan harganya juga murah (Bond & Templeton, 2011). Berikut merupakan skema sejarah perkembangan biogas di dunia:



Gambar 1. 2 Skema Perkembangan Biogas di Dunia

## BAB 2 PERENCANAAN PABRIK

### 2.1 Pemilihan Kapasitas

Kapasitas produksi pabrik adalah jumlah keluaran maksimum yang dapat diproduksi pada pabrik menggunakan satuan waktu tertentu. Perhitungan kapasitas produksi yang baik dapat membantu dalam pemenuhan kebutuhan masyarakat (Choirunnisa & Mustain, 2022). Penentuan kapasitas produksi dilakukan berdasarkan data pendukung yaitu produsen biogas di Indonesia dan memprediksi limbah cair yang dihasilkan. Berikut ini merupakan data produksi pabrik kelapa sawit di Indonesia:

Tabel 2.1 Kapasitas produksi kelapa sawit di Indonesia

Pabrik Kelapa Sawit	Kapasitas Produksi (Ton/Jam TBS)
PT Austindo Nusantara Jaya Agri Siaes (ANJAS)	60
PT Astra Agro Lestari Tbk	45
PT Hutan Hijau Mas	120
PT Djaja Putra Indonesia	45
PT Karangjuang Hijau Lestari	45
PT Maridan Sejati Surya Plantation	45
PT Mitra Agrolika Sejahtera	45
PT Padasa Enam Utama	60
PT Permata Nusa Sejati	30
PT Sebakis Inti Lestari	40
PT Sempurna Sejahtera	30
PTP Nusantara II Kebun Sawit Seberang (PKS Kwala Sawit)	30
PTP Nusantara II Kebun Sawit Seberang (Sawit Seberang)	30
PTP Nusantara II Kebun Sawit Seberang (Sawit Hulu)	30
PTP Nusantara II Kebun Sawit Seberang (Sawit Merbau)	30
PT Fajar Saudara Kusuma	57,6

Sumber: Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2023

#### 2.1.1 Ketersediaan Bahan Baku di Dalam Negeri

Penentuan kapasitas ditentukan berdasarkan potensi POME yang dihasilkan oleh PT. Fajar Saudara Kusuma. Berikut adalah data produksi POME dari tahun 2016 dan 2017:

Tabel 2.2 Produksi POME PT. Fajar Sudara Kusuma tahun 2016 dan 2017

Bulan	TBS Olah (Ton)		Debit Limbah (m <sup>3</sup> )		% Konversi	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Januari	12.060,13	9.066,36	9.648,10	6.930,40	79,99	76,44
Februari	13.073,68	7.214,60	9.935,00	5.671,00	75,99	78,61
Maret	9.599,11	7.219,21	7.478,30	5.304,80	77,91	73,48



Bulan	TBS Olah (Ton)		Debit Limbah (m <sup>3</sup> )		% Konversi	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017
April	8.879,89	6.277,95	6.659,90	5.156,30	74,99	82,13
Mei	8.742,84	6.990,89	6.469,70	5.073,90	73,99	72,58
Juni	6.648,23	7.478,81	5.158,60	5.758,70	77,59	77,00
Juli	6.439,61	9.971,19	4.855,77	8.207,00	75,40	82,30
Agustus	8.764,90	11.180,52	6.285,85	8.659,80	71,72	77,45
September	10.304,09	12.947,82	7.488,86	9.828,50	72,68	75,91
Oktober	10.134,69	12.336,22	8.041,90	9.759,80	79,35	79,11
November	9.459,05	14.402,56	7.935,50	11.262,20	83,90	78,20
Desember	8.427,00	9.309,25	6.737,60	7.094,40	79,95	76,21
<b>Total</b>	<b>112.533,2</b>	<b>114.395,4</b>	<b>86.695,1</b>	<b>88.706,8</b>	<b>923,5</b>	<b>929,4</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>9377,77</b>	<b>9532,95</b>	<b>7224,59</b>	<b>7392,23</b>	<b>76,96</b>	<b>77,45</b>

Sumber: (Irwansyah et al., 2016)

Berdasarkan perhitungan persen konversi POME yang diproduksi PT. Fajar Saudara Kusuma didapatkan rata-rata produksinya sebesar 77%. Presentase ini akan digunakan sebagai acuan perhitungan produksi pabrik biogas yang akan didirikan.

### 2.1.2 Produsen Biogas di Indonesia

Dalam menentukan kapasitas pabrik maka dapat menggunakan perbandingan keberadaan produsen biogas di Indonesia. Berikut Perbandingan kapasitas produksi pabrik biogas di Indonesia yang tersaji dalam tabel 2.3 berikut:

Tabel 2. 3 Perbandingan Kapasitas Produksi Pabrik Biogas di Indonesia

Nama Perusahaan	DSN Group	PT. Energi Agro Nusantara	PT. Inti Indo Sawit	Prarancangan Pabrik ini
Kapasitas (m <sup>3</sup> /jam)	280	1.000	390,1	2.621

Dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku pada PT. Fajar Saudara Kusuma dan keberadaan produsen biogas di Indonesia, maka dipilih pabrik yang akan didirikan dengan kapasitas 12.000 Ton/Tahun.

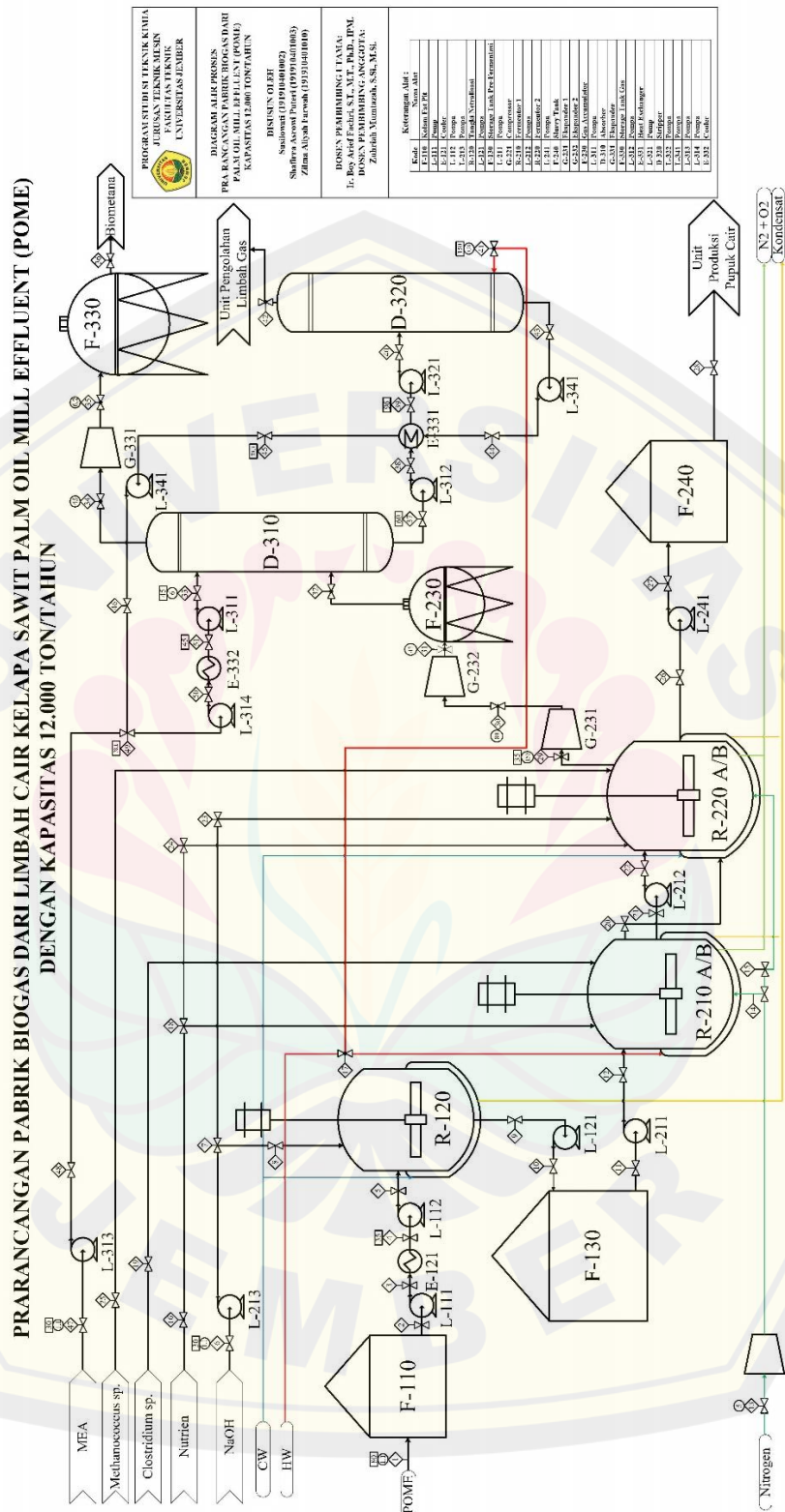
### 2.2 Pemilihan Proses

Pemilihan proses ialah tahapan yang krusial mengenai keputusan dalam memilih jenis teknologi proses dan tipe alat yang terbaik untuk digunakan melalui berbagai pertimbangan. Hal ini dikarenakan pemilihan proses yang baik akan

menentukan keoptimalan berjalannya suatu produksi pabrik, sehingga akan memberikan profit yang tinggi (Choirunnisa & Mustain, 2022). Mengacu pada berbagai pertimbangan proses produksi biogas, maka dalam prarancangan pabrik biogas dari limbah POME akan menggunakan proses sebagai berikut:

- 1) Proses pengolahan POME menggunakan jenis fermentasi anaerobik dengan tahapan sebagai berikut:
  - Hidrolisis, yaitu proses konversi senyawa kompleks (seperti lemak, protein dan karbohidrat) menjadi monomer atau senyawa yang lebih sederhana (seperti asam lemak, asam amino dan gula) (Ohimain & Izah, 2017).
  - Asidogenesis, yaitu proses perubahan gula-gula amino menjadi asam organik dan alkohol.
  - Asetogenesis, yaitu proses reaksi yang menghasilkan asam asetat, karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), dan hidrogen ( $\text{H}_2$ ).
  - Metanogenesis, yaitu proses pembentukan gas metana ( $\text{CH}_4$ ) dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) (Mirnandaulia et al., 2019).
- 2) Tipe digester *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) karena memberikan konversi produksi relatif tinggi dibandingkan dengan *covered lagoon*. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya catatan historis keberhasilannya. (Chan & Chong, 2019) melaporkan bahwa CSTR memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan *covered lagoon* dalam menghasilkan jumlah gas metana per kg COD yang diolah dalam sistem. Selain itu, CSTR juga tidak membutuhkan tempat yang lebar.
- 3) Konfigurasi bioreaktor bertipe *double stage* yang disusun seri
- 4) Waktu fermentasi dilakukan selama 4 hari pada masing-masing fermentor
- 5) Kondisi operasi fermentasi dilakukan dalam kisaran suhu mesofilik ( $35^\circ\text{C}$ )
- 6) Zat alkali untuk pengstabil pH digunakan larutan NaOH
- 7) Bakteri fermentasi yang digunakan yaitu *Clostridium* sp. (hidrolisis, asidogenesis, dan asetogenesis) dan *Methanococcus* sp. (metanogenesis)
- 8) Pemurnian biogas menggunakan teknologi *Chemical Absorption* (CA) dengan pelarut *monoethanolamine* (MEA)

2.3 Uraian Proses



Gambar 2. 1 *Process Flow Diagram* konversi POME menjadi biogas

Produksi biogas dari *Palm Oil Mill Effluent* (POME) dengan proses fermentasi anaerobik menggunakan bakteri *Clostridium* sp. dan *Methanococcus* sp. terdiri dari 3 tahapan proses yaitu *pretreatment*, fermentasi anaerobik, dan pemurnian.

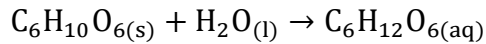
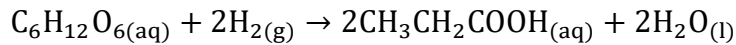
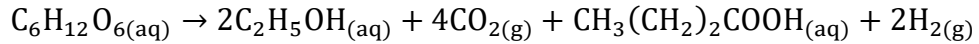
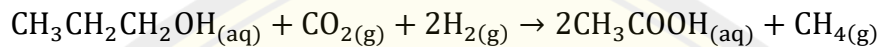
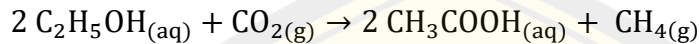
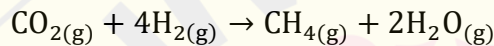
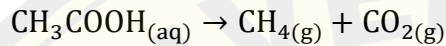
#### 1. *Pretreatment Palm Oil Mill Effluent* (POME)

Bahan baku dalam pembuatan biogas adalah *Palm Oil Mill Effluent* (POME) merupakan limbah cair yang berasal dari pengolahan kelapa sawit. Proses *pretreatment* bertujuan untuk membuat bahan baku dapat mudah dikonsumsi oleh mikroorganisme yang akan bekerja meningkatkan laju reaksi dalam pencernaan anaerobik sehingga meningkatkan produksi biogas (Aziz et al., 2020). POME yang sudah bersih dari limbah padatan seperti serabut dan cangkang kelapa sawit dari proses produksi Pabrik Kelapa Sawit (PKS) di alirkan ke kolam Fat Pit (F-110) sebagai tempat penampungan sementara (Nurdiah et al., 2018). POME memiliki suhu berkisar antara 80-90°C dan pH 4,3 sehingga memerlukan penyesuaian dengan kondisi fermentor 1 pada suhu 35°C dengan kisaran pH 5,5 yang dilakukan pada *cooler* (E-121) dan *tangki netralisasi* (R-120) menggunakan larutan 1 M NaOH (Omoregie et al., 2023). Ketika proses penyesuaian pH pada POME menggunakan larutan NaOH sedang berlangsung terjadi reaksi ekotermis sehingga dilakukan penyetabilan suhu menggunakan jaket pendingin pada *tangki netralisasi*. Umumnya, *pretreatment* alkali dilakukan sebagai *buffer* penjaga pH sebelum masuk digester agar bakteri metanogenesis tidak mati (Murti et al., 2019). Selanjutnya POME ditampung dalam *storage tank fermentation* (F-130).

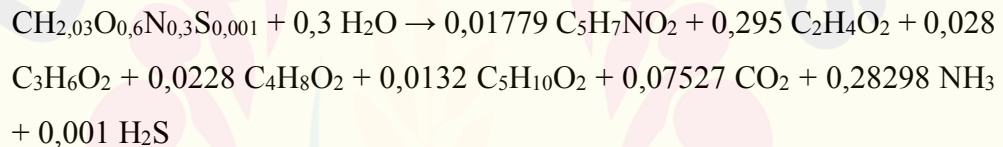
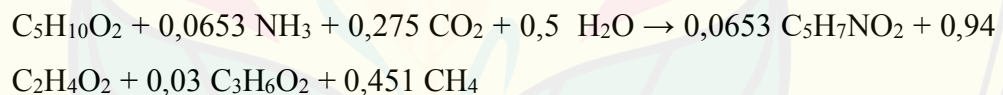
#### 2. Fermentasi anaerobik

Berdasarkan (Angelidaki et al., 1999), pembentukan biogas terjadi dari proses pendegradasian senyawa karbohidrat, protein dan lemak. Reaksi fermentasi pada pembentukan biogas dari *Palm Oil Mill Effluent* (POME) sebagai berikut:

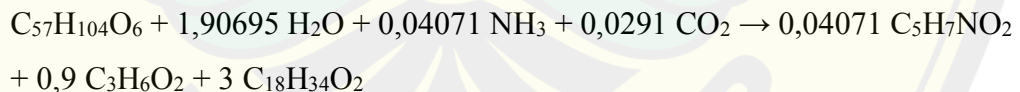
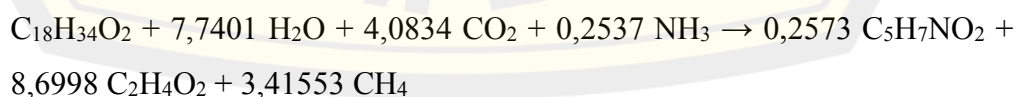
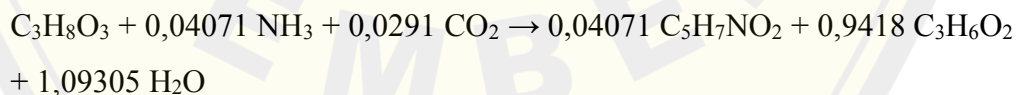
- a) Karbohidrat (Dewi & Dewi, 2014; Gerber & Span, 2008; Grace Roma Artha Samosir & Merry Meryam Martgrita, 2021)

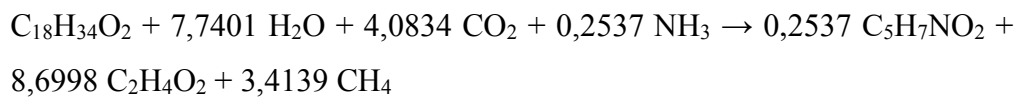
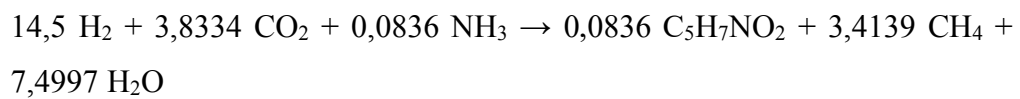
**Hidrolisis:****Asidogenesis:****Asetogenesis:****Metanogenesis:**

b) Protein (Angelidaki et al., 1999)

**Hidrolisis dan Asidogenesis:****Asetogenesis:**

c) Lemak (Angelidaki et al., 1999)

**Hidrolisis:****Asidogenesis dan Asetogenesis:**

**Metanogenesis:**

Pada fermentor 1 (R-210) dilakukan tahap fermentasi hidrolisis, asidogenesis dan asetogenesis yang dibantu oleh bakteri *Clostridium* sp. dengan pengaturan pH awal 5,5 dan beroperasi pada kisaran pH 5,2 – 5,8. Sedangkan pada fermentor 2 (R-220) terjadi fermentasi lanjutannya yaitu metanogenesis yang dibantu oleh bakteri *Methanococcus* sp. dengan pengaturan pH awal 7 (netral) dan beroperasi pada kisaran pH 6,2 - 8,1 (Iriani et al., 2017). Perlu dilakukan pemantauan pH dan penambahan larutan NaOH secara berkala pada fermentor selama terjadinya reaksi agar kondisi pH stabil. Sebelum proses fermentasi terjadi, dilakukan *flushing* gas nitrogen kedalam reaktor pada tekanan 15 bar. *Flushing* dilakukan dengan cara menginjeksikan gas nitrogen ke dalam reaktor. Hal ini dilakukan agar gas oksigen yang ada didalam reaktor keluar melalui lubang dan tergantikan oleh gas nitrogen. Pengamatan tekanan gas dilakukan setiap hari (Mellyanawaty et al., 2019).

POME yang disimpan dalam *storage tank fermentation* (F-130) selanjutnya diumpankan ke dalam fermentor 1 (R-210), yang diikuti dengan nutrisi ( $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , dan  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ), dan bakteri *Clostridium* sp. (Suraya et al., 2012). Kemudian proses fermentasi dilanjutkan dalam digester fermentor 2 (R-220) dengan dilakukan penstabilan pH menjadi 7 (netral) menggunakan larutan NaOH. Kemudian dilakukan penambahan nutrisi dan bakteri *Methanococcus* sp.. Proses fermentasi dilakukan dalam kondisi mesofilik ( $30^\circ\text{C}$ ) dan dijaga kestabilan suhunya menggunakan jaket pendingin pada fermentor. Selama proses fermentasi juga dilakukan pengadukan menggunakan *impeler* tipe *paddle* dengan kecepatan 100 rpm selama 15 menit perhari (Aznury et al., 2018). Pengadukan dilakukan agar proses pendistribusian nutrisi dan larutan basa terjadi secara merata di seluruh area digester sehingga pH dan lingkungan tempat fermentasi berjalan dengan seragam. Pengadukan ini memberikan peluang kontak antara mikroorganisme dengan POME (substrat) semakin tinggi, sehingga

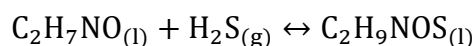
membuat proses pendegradasian semakin cepat (Suryani et al., 2018). Selain itu, pengadukan juga dapat mencegah terjadinya akumulasi hasil metabolisme yang berkonsentrasi tinggi yang dapat menghambat proses fermentasi (Aznury et al., 2018). Reaksi fermentasi memberikan presentase konversi reaksi yang berbeda di tiap tahapannya (Gavala et al., 2003). Proses fermentasi dilakukan selama 4 hari pada masing-masing fermentor mengacu pada penelitian (Tena et al., 2021) yang memberikan *yield* biogas paling optimal. Pada proses fermentasi juga terjadi pembetukan gas H<sub>2</sub>S dengan reaksi sebagai berikut:

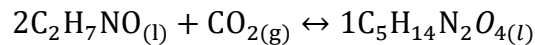


Setelah proses fermentasi biogas selesai dilakukan, gas diturunkan tekananya menggunakan ekspander hingga 47 bar dan disimpan sementara dalam *gas accumulator* (F-230) sebelum dilakukan pemurnian (Farooqi et al., 2022). Sedangkan produk residu sisa fermentasi akan ditampung dalam tangki pengendapan untuk dilakukan pendegradasian bahan organik lebih lanjut pada unit produksi pupuk (Lam & Lee, 2011).

### 3. Pemurnian biogas (*purification*)

Biogas yang tersimpan dalam *gas accumulator* (F-230) memiliki kandungan *impurities* seperti CO<sub>2</sub>, dan sejumlah kecil hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S). *Impurities* harus dihilangkan untuk meningkatkan kemurnian biogas terutama pada karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), yang menyebabkan penurunan nilai kalor pembakaran gas metana (CH<sub>4</sub>) (Yanti et al., 2018). Selain itu, hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) juga perlu diturunkan konsentrasinya sampai batas maksimum 20 ppm sesuai dengan standar keselamatan dan kesehatan (Bow et al., 2021). Hal ini dikarenakan keberadaan hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) dalam biogas bersifat korosif yang mampu merusak mesin, dan mampu membentuk oksida sulfur (SO<sub>x</sub>) akibat pembakaran yang menimbulkan emisi beracun pada lingkungan (Yanti et al., 2018). Proses pemurnian ini menggunakan *chemical absorption* dengan *monoethanolamine* (MEA) sebagai pelarutnya. Reaksi yang terjadi dalam proses pemurnian biogas dengan pelarut monoethanolamine (MEA) sebagai berikut (Godini & Mowla, 2008):





Biogas diumpankan ke kolom *scrubber* dari bawah kolom, sedangkan pelarut *lean amine* (MEA) diumpankan dari atas kolom, untuk memungkinkan gas asam mengalir ke atas dalam arah aliran berlawanan dengan arah pelarut *lean amine* (MEA) dan saling berkontak (Pourjazaieri et al., 2011). Produk atas *scrubber* (D-310) berupa biogas yang memiliki kemurnian metana ( $\text{CH}_4$ ) > 90% diturunkan tekanannya menggunakan *ekspander* (G-331) hingga 6.2 dan di alirkan pada *storage tank gas* (F-330) sebagai tempat penyimpanan sebelum di distribusikan. *Rich amine* di bagian bawah kolom *scrubber* (D-310) dilakukan proses *recycle* dengan cara dipanaskan terlebih dahulu di *heat exchanger* (E-331) hingga  $96^\circ\text{C}$ , bertukar panas dengan *rich amine* produk bawah dari kolom *stripper* (D-320). Kemudian larutan ini dimasukkan ke bagian atas kolom *stripper* (D-320), dengan tekanan operasi sebesar 2 bar (Pourjazaieri et al., 2011). Produk atas yang dihasilkan berupa gas  $\text{H}_2\text{S}$  dan  $\text{CO}_2$  akan diproses lebih lanjut pada unit pengolahan limbah gas. Sedangkan larutan MEA sebagai produk bawah dimanfaatkan lagi sebagai pelarut pada absorber (D-310). Larutan MEA meninggalkan *stripper* dan memasuki *heat exchanger* (E-331) yang digunakan sebagai media pemanas. Kemudian pelarut MEA *recycle* dan MEA *fresh* dikontakkan pada *mixing point*, serta dilakukan proses pendinginan lebih lanjut pada cooler sebelum dipompa masuk kembali menuju *scrubber* (D-310) (Pourjazaieri et al., 2011).

## 2.4 Pemilihan Lokasi dan Tata Letak

### 2.5.1 Lokasi Pabrik

Lokasi pabrik merupakan salah satu faktor yang harus dipertimbangkan dalam merancang pabrik. Hal tersebut dikarenakan berkaitan dengan nilai ekonomis yang diinginkan dari suatu pabrik. Berdasarkan beberapa pertimbangan, pabrik biogas ini akan didirikan di sekitar wilayah PT. Fajar Saudara Kusuma. Berikut merupakan lokasi terpilih yang akan digunakan untuk mendirikan pabrik biogas :





Gambar 2. 2 Peta lokasi pembangunan pabrik  
(Sumber: Google Earth, 2023)

#### A. Sumber Bahan Baku

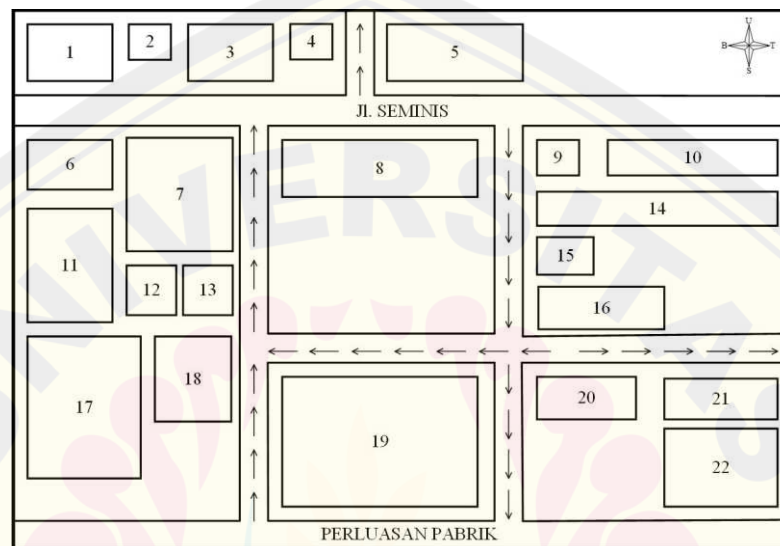
Bahan baku dari pembuatan biogas yaitu *Palm Oil Mill Effluent* (POME) pada daerah Sebawi, Kab. Sambas, Kec. Sebawi, Kalimantan Barat. Dimana pada daerah tersebut terdapat pabrik pengolahan kelapa sawit yaitu PT. Fajar Saudara Kusuma dengan kapasitas produksi 57,6 ton/jam dan menghasilkan limbah cair POME sebesar 44 ton/jam.

#### B. Pasar

Pasar merupakan salah faktor yang sangat mempengaruhi bagaimana target jual beli suatu produk, dimana faktor ini juga mempengaruhi diterima atau tidaknya suatu produk di masyarakat. Pemasaran biogas akan ditargetkan dengan skala nasional yang nantinya digunakan untuk kebutuhan dalam negeri. Kerja sama pemasaran sangat perlu dilakukan terutama dengan perusahaan yang dinaungi oleh Badan Umum Milik Negara (BUMN). Salah satunya adalah PT. Pertamina yang nantinya akan dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar industri kimia di Indonesia. Hal tersebut dikarenakan biogas dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar generator penghasil listrik dan bahan bakar boiler pada industri kimia terutama industri kelapa sawit yang menjadi mayoritas di wilayah Provinsi Kalimantan Barat. Pada Kabupaten Sambas terdapat beberapa perusahaan kelapa sawit dengan kapasitas besar yang dapat dijadikan sebagai sasaran pemasaran yaitu

PT. Sarana Esa Cita, PT. Mulia Indah, PT. Agronusa Investama, PT. Mitra Abadi Mas Sejahtera, PT. Agrowiratama, dan PT. Rana Westu Kencana. Adanya pemasaran seperti itu maka akan mempermudah pendistribusian hasil produksi biogas.

### 2.5.2 Tata Letak Pabrik



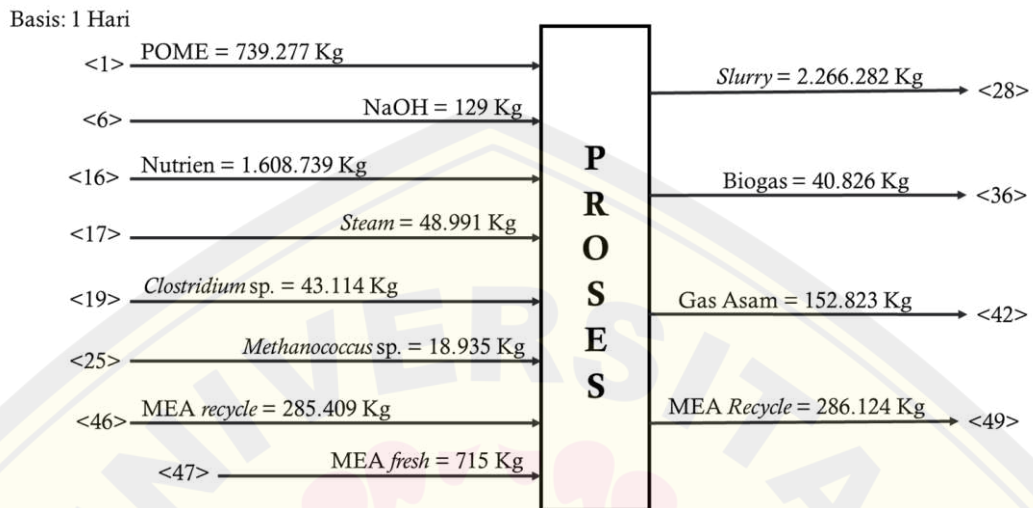
Gambar 2. 3 Layout pabrik biogas dari POME

Keterangan :

- |                                |                            |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1. Perumahan karyawan          | 12. Kantin                 |
| 2. Rumah sakit (RS)/klinik     | 13. Perpustakaan dan arsip |
| 3. Masjid                      | 14. Taman                  |
| 4. Gor                         | 15. Laboratorium           |
| 5. Gedung Diklat               | 16. Tempat parkir          |
| 6. Supermarket khusus karyawan | 17. Utilitas               |
| 7. Kantor pusat                | 18. Parkir Truk            |
| 8. Titik kumpul                | 19. Area Proses            |
| 9. Pos satpam                  | 20. Control Room           |
| 10. Departemen keamanan        | 21. Unit Pemadam Kebakaran |
| 11. Gudang Alat                | 22. Gudang Bahan Baku      |

### BAB 3 NERACA MASSA

Berikut merupakan Neraca massa total pada pabrik biogas yang dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut:



Gambar 3. 1 Neraca Massa Total Pabrik Biogas dari *Palm Oil Mill Effluent* (POME)

Kapasitas Produksi biogas dari limbah cari kelapa sawit *Palm Oil Mill Effluent* (POME) yang siap dilakukan pendistribusian ialah sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Komposisi Biogas

Komponen	massa (kg)	densitas (kg/m <sup>3</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	presentase (%)
CH <sub>4</sub>	40567,40	0,646298	62768,87238	99,7693%
CO <sub>2</sub>	258,1	1,778607	145,1292843	0,2307%
<b>Total</b>	<b>40825,52</b>	<b>2,42</b>	<b>62914,00</b>	<b>100%</b>

Kapasitas produksi biogas = 40.825,52 kg/hari = 12.247.657,39 kg/tahun

Kapasitas produksi biogas = 12.247,7 ton/tahun

## BAB 4. NERACA ENERGI

Neraca energi pada pabrik biogas dari *Palm Oil Mill Effluent* dilakukan perhitungan berdasarkan berikut:

Kapasitas Produksi	= 12.000 ton/tahun
Waktu Operasi	= 24 jam/hari = 300 hari/tahun
Basis Waktu	= 1 hari
Satuan Energi	= 1 KiloJoule (KJ)
Satuan Massa	= 1 Kilogram (Kg)
Suhu Referensi	= 25 °C

Entalpi dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = \Delta H = m \times C_p \times \Delta T$$

Keterangan: Q = Panas (KJ)       $C_p$  = *Specific Heat* (KJ/Kmol K)  
 m = Berat Bahan (kg)       $\Delta T$  = (Tin – Tout)/Tref

Neraca energi total pada semua alat di pabrik biogas ialah berikut:

Tabel 4. 1 Neraca Energi Total

No	Nama Alat	Kode	Q masuk (KJ/hari)	Q keluar (KJ/hari)
1	Kolam Fat Pit	F-110	464.705.785	464.705.785
2	Cooler	E-121	528.074.755	528.074.755
3	<i>Tangki Netralisasi</i>	R-120	84.502.245	84.502.245
4	<i>Storage Tank Pre-Fermentasi</i>	F-130	84.492.801	84.492.801
5	Fermentor 1	R-210	453.847.202	453.847.202
6	Fermentor 2	R-220	101.681.165	101.681.165
7	Slurry Tank	F-240	84.839.736	84.839.736
8	Ekspander 1	G-231	4.677.034	4.677.034
9	Ekspander 2	G-232	2.332.265	2.332.265
10	<i>Gas Accumulator</i>	F-230	1.821.439	1.821.439
11	Absorber	D-310	45.459.328	45.459.328
12	Ekspander	G-331	921.113	921.113
13	Storage Tank Gas	F-330	921.113	921.113
14	<i>Heat Exchanger</i>	E-331	127.654.924	127.654.924
15	Stripper	D-320	110.500.003	110.500.003
16	<i>Mixing Point</i>		48.133.323	48.133.323
17	<i>Cooler</i>	E-332	53.138.614	53.138.614
	<b>Total</b>		<b>2.144.564.232</b>	<b>2.144.564.232</b>

## BAB 5 SPESIFIKASI ALAT

### 5.1 Daftar Alat

#### 5.1.1 Tangki Fermentor 1 (R-210)

Spesifikasi	Keterangan	
Kode Alat	R-210	
Fungsi	Fermentasi POME menjadi asam asetat	
Jenis Alat	CSTR	
Jenis Bahan	<i>Stainless stell SA-167 Grade 3 type 304</i>	
Jumlah	1 unit	
Kondisi operasi		
Tekanan	1	atm
Suhu	35	C
Dimensi Reaktor		
Diameter shell	5,694	m
Tinggi shell	8,541	m
Tebal shell	0,3125	in
Volume shell	217,366	m <sup>3</sup>
Tinggi reaktor	11,3017	m
Volume reaktor	220,616	m <sup>3</sup>
Dimensi head		
Tinggi head	1,381	m
Tebal head	0,1875	in
Volume head	1,836	m <sup>3</sup>
Pengaduk		
Jenis impeller	<i>Turbin with 6 flat blades</i>	
Jumlah inmeller	1	buah
Jumlah baffle	4	buah
Diameter pengaduk	1,898	m
Tinggi pengaduk	7,402	m
Lebar pengaduk	0,380	m
Jarak pengaduk	2,467	m
Lebar baffle	0,323	m
Kecepatan pengadukan	100,000	rpm
Power pengadukan	5	hP
Coil		
Bahan coil	<i>Stainless stell</i>	
Diameter dalam coil	5,703	m

Spesifikasi	Keterangan	
Diameter luar coil	6,211	m
Tinggi coil	8,541	m
Tebal coil	0,750	in
Beban steam pemanas	360.995.940,400	kJ/jam
Luas selubung reaktor	196,997	m <sup>2</sup>
Laju alir steam pemanas	89,42626333	m <sup>3</sup>

### 5.1.2 Tangki Fermentor 2 (R-220)

Spesifikasi	Keterangan	
Kode Alat	(R-220)	
Fungsi	Fermentasi asam asetat menjadi biometana	
Jenis Alat	CSTR	
Jenis Bahan	<i>Stainless stell</i> SA-167 Grade 3 type 304	
Jumlah	1 unit	
Kondisi operasi		
Tekanan	1	atm
Suhu	35	C
Dimensi Reaktor		
Diameter shell	5,683	m
Tinggi shell	8,524	m
Tebal shell	0,31	in
Volume shell	216,134	m <sup>3</sup>
Tinggi reaktor	11,2856	m
Volume reaktor	219,372	m <sup>3</sup>
Dimensi head		
Tinggi head	1,381	m
Tebal head	0,1875	in
Volume head	1,619	m <sup>3</sup>
Pengaduk		
Jenis impeller	<i>Turbin with 6 flat blades</i>	
Jumlah inmeller	1	buah
Jumlah baffle	4	buah
Diameter pengaduk	1,894	m
Tinggi pengaduk	7,388	m
Lebar pengaduk	0,379	m
Jarak pengaduk	2,463	m
Lebar baffle	0,322	m

Spesifikasi	Keterangan	
Kecepatan pengadukan	100	rpm
Power pengadukan	5	hP
<b>Jaket Pendingin</b>		
Bahan jaket	<i>Stainless stell</i>	
Diameter dalam jaket	6,058	m
Diameter luar jekat	6,566	m
Tinggi jaket	5,683	m
Tebal jaket	0,500	in
Beban pendingin	3.154.408,560	kJ/jam
Luas selubung reaktor	140,835	m <sup>2</sup>
Laju alir pendingin	6,290198333	m <sup>3</sup>

### 5.1.3 Absorber (D-310)

Spesifikasi	Keterangan	
Kode Alat	D-310	
Bentuk	Silinder tegak dengan atap berbentuk <i>flanged torispherical head with butt welded</i> , dilengkapi dengan <i>packing rascing ring</i> dan <i>sparger</i>	
Fungsi	Mengurangi kandungan CO <sub>2</sub> dan H <sub>2</sub> S dalam biogas	
Diameter shell	26,19680463	ft
Tinggi shell	13,09824262	ft
Tebal <i>shell</i>	0,875	in
Tebal <i>head</i>	2,5	in
Tinggi total absorber	4,618779813	m
Bahan kontruksi	<i>Carbon Stell SA-201 grade A</i>	
Jenis sambungan las	<i>Double welded butt joint</i>	
Jenis <i>packing</i>	<i>Pall ring</i>	
<i>Normal size</i>	2	in
Prositas	0,96	
Fp	27	
Jumlah	1	

**5.1.4 Storage Tank (F-330)**

Spesifikasi	Keterangan
Kode Alat	F – 330
Fungsi	Tangki penyimpanan gas
Tipe	Silinder berbentuk spherical
Bahan Konstruksi	SA – 238 Grade C
Jumlah	1 unit
Kapasitas	67160 m <sup>3</sup> /jam
Waktu tinggal	7 hari
D – Diameter	166 ft
Hs – Tinggi silinder	166 ft
Ts – Tebal silinder	2,81 in

**5.1.5 Stripper (D-320)**

Spesifikasi	Keterangan
Kode Alat	D-320
Bentuk	Silinder tegak dengan atap berbentuk <i>flanged torispherical head with butt welded</i> , dilengkapi dengan <i>packing rascing ring</i> dan <i>sparger</i>
Fungsi	Meregenerasi pelarut MEA
Diameter shell	37,15178204 ft
Tinggi shell	18,57566454 ft
Tebal <i>shell</i>	0,1875 in
Tebal <i>head</i>	0,3125 in
Tinggi total stripper	6,24114549 m
Bahan konstruksi	<i>Carbon Stell SA-201 grade A</i>
Jenis sambungan las	<i>Double welded butt joint</i>
Jenis <i>packing</i>	<i>Pall ring</i>
<i>Normal size</i>	2 in
Prositas	0,96
Fp	27
Jumlah	1



## BAB 6 UTILITAS

### 6.1 Unit Pengolahan Air

Air yang dibutuhkan oleh pabrik biogas ini diperoleh dari sungai Sambas Besar, Kalimantan Barat. Berikut tabel 6.1 mengenai baku mutu air bersih sesuai dengan Permenkes RI Nomer 32 Tahun 2017 :

Tabel 6. 1 Baku mutu air di daerah Sambas, Kalimantan Barat

No	Parameter	Standar Baku Mutu	Sumber air sungai Sambas besar
1	pH	6,5 – 9,0	6 – 9
2	Total hardness (ppm)	500	254,33
3	Rasa	Tidak Berasa	Tidak Berasa
4	Suhu (°C)	25	26 – 30

Sumber: Permenkes RI Nomor 32 Tahun 2017

Air yang diambil dari sungai selanjutnya akan melalui beberapa proses pada *water intake* untuk dilakukan proses pemurnian yaitu tahap pra-sedimentasi dan sedimentasi, *clarifying*, filtrasi, demineralisasi, dan deaerasi.

### 6.2 Kebutuhan Air

Kebutuhan air pada pabrik biogas terbagi menjadi 4 yaitu sebagai berikut:

Tabel 6.2 Total kebutuhan air

No.	Jenis Kebutuhan	Laju alir (kg/hari)
1.	Air umpan boiler	1.721.857,188
2.	Air pendingin	239.815,43
3.	Air sanitasi/air bersih	731,5
4.	Air untuk Pengenceran	42.799,28
	<b>Total</b>	<b>189.8062,0143</b>

### 6.3 Kebutuhan Air Umpan Boiler

Air umpan boiler merupakan air bahan baku atau air umpan yang digunakan untuk menghasilkan *steam* pada boiler. Air yang digunakan untuk unit boiler ini adalah air demineralisasi. *Steam* yang dihasilkan oleh unit ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan alat proses serta digunakan sebagai bahan baku untuk unit penyedia listrik.

Tabel 6.3 Kebutuhan steam alat proses pabrik biogas

No.	Alat	Laju Alir (kg/hari)
1.	Tangki Fermentor 1 (R-210)	1414560,9
2.	Stripper (D-320)	20320,09

No.	Alat	Laju Alir (kg/hari)
	<b>Total</b>	1434880,99

#### 6.4 Kebutuhan Air Pendingin

*Cooling tower* adalah suatu sistem untuk mendinginkan air proses dengan cara pengontakan dengan udara sehingga air yang dihasilkan temperaturnya lebih rendah. Pada pabrik biogas ini, untuk jenis *cooling tower* yang dipilih adalah jenis *cooling tower counter flow*. Berikut merupakan rincian alat yang membutuhkan air pendingin pada pabrik biogas:

Tabel 6.4 Total kebutuhan air pendingin pabrik biogas

No	Alat	Laju Alir (kg/hari)
1.	Cooler (E-121)	3032733,7
2.	Tangki Netralisasi (R-120)	478,65
3.	Fermentor 2 (R-220)	150964,76
	<b>Total</b>	3184177,11

#### 6.5 Kebutuhan Air Sanitasi

Jumlah kebutuhan air sanitasi dari pabrik biogas adalah sebagai berikut:

Tabel 6.5 Total kebutuhan air sanitasi pabrik biogas

No.	Jenis Kebutuhan	Laju alir (kg/hari)
1.	Karyawan	5600
2.	Laboratorium	1120
3.	Fasilitas Lainnya	1680
4.	Pemadam Kebakaran dan Cadangan air	3360
	<b>Total</b>	<b>11760</b>

#### 6.6 Kebutuhan Air Untuk Pengenceran

Berikut merupakan tabel kebutuhan massa air yang digunakan untuk pengenceran pada proses produksi:

Tabel 6.6 Total kebutuhan air untuk pengenceran pada pabrik biogas

No	Alat	Jumlah	Laju air (kg/hari)
1.	Tangki Pengenceran MEA	1	42794,1
2.	Tangki Pengenceran NaOH	1	5,18
	<b>Total</b>		42799,28

### 6.7 Unit Penyediaan Tenaga Listrik

Unit penyedia listrik dirancang untuk memenuhi kebutuhan listrik pada pabrik biogas. Sumber listrik pada pabrik biogas ini diperoleh dari :

1. Pembangkit Listrik Negara (PLN)
2. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Kebutuhan listrik pabrik biogas ini disediakan oleh Pembangkit Listrik Negara (PLN) sebagai penyedia listrik utama. Total kebutuhan listrik pada pabrik biogas ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 6.7 Total kebutuhan listrik pada pabrik biogas

No.	Jenis Kebutuhan	Daya (kW/jam)	Daya (hp/jam)
1.	Peralatan proses, utilitas, dan Instrumentasi	107	144
2.	Fasilitas Lain	27	36,2
3.	Penerangan	220,95	296,3
<b>Total Kebutuhan</b>		<b>354,95</b>	<b>475,99</b>
4.	Faktor Keamanan	71,07	95,3
<b>Total seluruh kebutuhan dan keamanan</b>		<b>426,40</b>	<b>571,8</b>

### 6.8 Unit Penyedia Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan dalam pabrik biogas ini adalah solar (*fuel oil*).

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan bahan bakar} &= \frac{Ms \times (H_g - H_f)}{\text{Efisiensi} \times H_v} \\
 &= \frac{158168,53 \times 908,72}{0,8 \times 18500} \\
 &= 9711,55 \text{ lb/jam} \\
 &= 233077,2 \text{ lb/hari} \\
 &= 104884,74 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

### 6.9 Unit Kultur Bakteri

Rumen sapi merupakan salah satu media yang sangat baik untuk dikembangkan dan dilakukan pembibitan untuk menguraikan senyawa-senyawa organik yang kompleks menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana, seperti

limbah hasil proses pembuatan minyak kelapa sawit (POME). Adapun prosedur pengkulturan bakteri ialah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan bioreaktor, dengan volume masing-masing 2 liter
- b. Menyiapkan mikroba dan substrat limbah dengan perbandingan 40 : 60
- c. Memasukkan mikroba kedalam bioreaktor, dilakukan pengadukan secara perlahan agar homogen, dan dilakukan pengukuran pH
- d. Setelah itu bioreaktor ditutup lalu dialiri gas  $N_2$  untuk membuat sistem anaerob didalam bioreactor (Hanbali, 2009).

#### **6.10 Unit Pengolahan Limbah**

- a. Pengolahan limbah slurry hasil fermentasi  
slurry kaya akan senyawa organik dan karbondioksida. Slurry hasil fermentasi mengandung sejumlah besar nitrogen, fosfat, kalsium, magnesium, dan kalium sehingga dapat digunakan sebagai pupuk. Kandungan hara slurry banyak dibutuhkan di lahan terdegradasi seperti lahan pasca tambang batubara (Artidarma & Fitria, 2021). Sehingga slurry sebagai pupuk cair ini nantinya akan dijual kepada petani kelapa sawit sekitar Kalimantan Barat untuk mendukung nutrisi pertumbuhan pada kelapa sawit.

- b. Pengolahan limbah  $H_2S$  dan  $CO_2$

Pada unit pengolahan limbah gas asam dipilih menggunakan metode *high-gravity rotating packed bed* (HGRPB) dalam menghilangkan  $H_2S$  dan  $CO_2$  sebagai limbah gas dari biogas. Larutan kalsium hidroksida ( $Ca(OH)_2$ ) digunakan sebagai penyerap. Berdasarkan percobaan (Tran et al., 2021), menunjukkan bahwa efisiensi pemurnian optimal  $H_2S$  dan  $CO_2$  menggunakan HGRPB mencapai nilai 99,56% untuk efisiensi pemurnian  $H_2S$  dan 77,86% untuk efisiensi pemurnian  $CO_2$ . Kondisi operasi yang optimal ialah pada pH 12,26, dengan kecepatan putar 1200 rpm, laju aliran gas 2,46 (L/menit), dan laju aliran cairan 0,125 (L/menit).

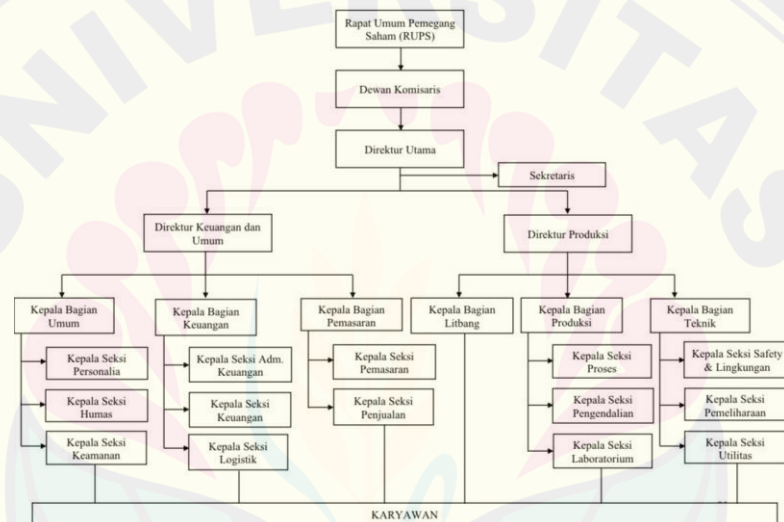
## BAB 7 MANAJEMEN PABRIK

### 7.1 Bentuk Perusahaan

Bentuk perusahaan yang direncanakan untuk pabrik biogas dari POME ini berbentuk Perseroan Terbatas (PT). Perseroan terbatas merupakan suatu badan hukum karena memiliki kekayaan yang terpisah dari kekayaan pribadi masing-masing pemegang saham (Ihsan, 2013).

### 7.2 Struktur Perusahaan

Bentuk struktur organisasi perusahaan yang dipilih untuk pabrik biogas dari POME yaitu sistem Organisasi Lini dan Staff (*Line and Staff Organization*).



Gambar 7.1 Struktur organisasi pabrik biogas

### 7.3 Jumlah Karyawan

Total proses pabrik biogas yaitu terdapat 12 proses dengan pembagian setiap shift 8 jam kerja. Sehingga jumlah karyawan shift yang dibutuhkan dalam produksi biogas berbahan baku POME adalah sebanyak 45 karyawan *shift*. Sedangkan jumlah karyawan *non-shift* sebanyak 95 karyawan. Sehingga total jumlah karyawan pabrik biogas ini secara keseluruhan yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Total seluruh karyawan} &= \text{Jumlah Karyawan Shift} + \text{Jumlah Karyawan Non-Shift} \\
 &= 45 \text{ orang} + 95 \text{ orang} \\
 &= 140 \text{ orang karyawan}
 \end{aligned}$$

#### **7.4 Kualifikasi dan Gaji Pegawai/Karyawan**

Kualifikasi jenjang pendidikan karyawan perlu ditetapkan sebab karyawan tersebut yang akan bertanggung jawab penuh atas suatu jabatan tertentu serta dapat bekerja secara efektif yang didasarkan pada keahlian yang dimiliki agar tercapainya tujuan perusahaan. Besaran gaji untuk setiap karyawan atau pegawai akan berbeda-beda. Berdasarkan kebijakan Dinas Ketenagakerjaan dan Transmigrasi Provinsi Kalimantan Barat, upah minimum kerja yang ditetapkan untuk Kabupaten Sambas pada tahun 2023 adalah sebesar Rp. 2.792.599. Total gaji pada pabrik biogas ini sebesar Rp. 1.538.000.000,00 yang didasarkan pada tingkat jabatan dan jumlah karyawan.

#### **7.5 Jaminan Sosial Tenaga Kerja**

Berdasarkan Badan Penyelenggaraan Jaminan Sosial Ketenagakerjaan (BPJS Ketenagakerjaan) menurut Undang-Undang No. 24 Tahun 2011 mengenai Jaminan Sosial Tenaga Kerja menyebutkan bahwa suatu perlindungan bagi tenaga kerja dalam bentuk santunan berupa uang sebagai pengganti sebagian dari penghasilan yang hilang atau berkurang dan pelayanan sebagai akibat peristiwa atau keadaan yang dialami oleh tenaga kerja berupa kecelakaan, sakit, hamil, bersalin, hari tua, dan meninggal dunia. Adapun ruang lingkup jaminan sosial tenaga kerja menurut Undang-Undang No. 24 Tahun 2011 tentang Badan Penyelenggara Jaminan Sosial yaitu meliputi jaminan kecelakaan kerja, jaminan hari tua, jaminan pensiun, dan jaminan kematian.

## BAB 8

### EVALUASI EKONOMI DAN FAKTOR KESELAMATAN

#### 8.1 Evaluasi Ekonomi

Kapasitas Produksi	= 12.000 ton/tahun	= 300 hari
Basis Bahan Baku	= 739.200 kg/hari	= 739,2 ton/tahun
Waktu Operasi	= 1 tahun	= 300 hari
Umur Pabrik (n)	= 10 tahun	
Tahun Mulai Konstruksi	= 2025	
Lama Pengerjaan	= 3 tahun	
Tahun Operasi Pabrik	= 2028	
Nilai Tukar Dollar ke Rupiah	= Rp. 14.950	

Evaluasi ekonomi pada suatu pabrik berkaitan dengan menentukan jumlah biaya untuk menghasilkan per satuan massa produk dan keuntungan yang dihasilkan guna menjustifikasi pembangunan pabrik. Evaluasi ekonomi dapat dilakukan dengan menerapkan beberapa cara, namun umumnya dapat ditinjau dari segi keuntungan/profit, lama dan laju perusahaan dalam mengembalikan modal, total modal akhir, serta *Break Even Point* (BEP). Berikut merupakan hasil analisa ekonomi pada pabrik biogas dari *Palm Oil Mill Effluent* yang tersaji dalam tabel 8.1:

Tabel 8. 1 Hasil Analisa Ekonomi Pembangunan Pabrik Biogas

No	Parameter	Hasil	Syarat Kelayakan	Kesimpulan
1	<i>Annual Cash Flow (ACF)</i>	30%	Lebih besar dari bunga bank (ACF > 8,42%)	Pabrik layak didirikan
2	<i>Pay Out Time (POT)</i>	3,7 tahun	Kurang dari setengah umur pabrik (POT < 5 Tahun)	Pabrik layak didirikan
3	<i>Net Profit Over Total Life of the Project (NPOTLP)</i>	Rp. 5.120.164.975.197	Lebih Besar dari TCI ditambah bunga pinjaman (NPOTLP > TCI)	Pabrik layak didirikan
4	<i>Total Capital Sink (TCS)</i>	Rp. 4.341.200.098.189	Lebih besar dari TCI (TCS > TCI)	Pabrik layak didirikan

No	Parameter	Hasil	Syarat Kelayakan	Kesimpulan
5	<i>Rate of Return</i> (ROR)	21,38%	Lebih besar dari bunga bank (ROR > 8,42%)	Pabrik layak didirikan
6	<i>Discounted Cash Flow</i> (DCF)	28,1%	Lebih besar dari bunga bank (DCF > 8,42%)	Pabrik layak didirikan
7	<i>Break Event Point</i> (BEP)	54,9%	40 < BEP < 60%	Pabrik layak didirikan

## 8.2 Faktor Keselamatan

### 8.2.1. Faktor Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3)

Keselamatan kerja merupakan sarana atau upaya untuk mencegah terjadinya kecelakaan kerja yang dapat menimbulkan kerugian baik berupa luka atau cedera, cacat atau kematian, kerugian harta benda, serta kerusakan peralatan atau mesin dan lingkungan secara luas. Melalui penerapan keselamatan dan kesehatan kerja maka para pihak atau karyawan di suatu perusahaan atau pabrik diharapkan dapat melakukan pekerjaan dengan aman dan nyaman. Keselamatan dan kesehatan kerja adalah salah satu aspek perlindungan tenaga kerja yang diatur dalam Undang-Undang Nomor 13 Tahun 2003. Dengan menerapkan teknologi pengendalian keselamatan dan kesehatan kerja, diharapkan tenaga kerja akan mencapai ketahanan fisik, daya kerja, dan tingkat kesehatan yang tinggi. Selain itu, keselamatan dan kesehatan kerja dapat diharapkan mampu menciptakan kenyamanan kerja dan keselamatan kerja yang tinggi.

### 8.2.2. Faktor Bahaya

Tabel 8. 2 Faktor bahaya pabrik biogas

No.	Potensi Bahaya	Upaya Pencegahan
1.	Bahaya ledakan dan kebakaran	a. Melakukan pemasangan water hydrant pada seluruh area pabrik b. Melakukan pemasangan APAR pada setiap tempat yang mudah terjangkau c. Melakukan pemasangan plakat, slogan, serta SOP pada setiap proses
2.	Bahaya Fisik	a. Memberi simbol pada area yang memungkinkan adanya bahaya fisik b. Menyediakan APD yang tepat
3.	Bahaya Mekanik	a. Melakukan perancangan alat sesuai dengan aturan yang berlaku



No.	Potensi Bahaya	Upaya Pencegahan
		b. Melakukan pemasangan indikator (alat pengendali) yang baik dan sesuai
4.	Bahaya Bahan Kimia	a. Memberi simbol pada area yang memungkinkan adanya bahaya bahan kimia
		b. Menyediakan APD bagi seluruh pekerja
5.	Bahaya Biologis	a. Menjaga kesterilan area kerja
		b. Menggunakan APD yang tepat
6.	Bahaya Ergonomis	Memperbaiki posisi kerja sehingga karyawan tidak mengalami permasalahan dalam menangani pekerjaan
7.	Bahaya Psikologi	Memberikan karyawan ruang agar dapat melakukan kegiatan yang disenangi untuk dapat mengatasi stress
8.	Bahaya Listrik	a. Seluruh bagian pabrik diberi penerangan yang cukup
		b. Peralatan seperti switcher dan transformator diletakkan pada tempat yang aman serta tersendiri
		c. Peralatan listrik yang letaknya di bawah tanah harus diberi tanda dengan jelas.

### 8.2.3. Instrumentasi

Instrumentasi merupakan salah satu bagian penting yang berfungsi sebagai pengendali, pengontrol dan pengamat terhadap suatu proses produksi. Sistem kontrol atau Instrumentasi ini dipasangkan pada unit yang membutuhkan pengendalian secara akurat agar menghasilkan kapasitas yang sesuai. Beberapa indicator dan controller yang perlu dipasang yaitu :

- a. *Level indicator (LI)* merupakan alat instrumentasi yang berfungsi sebagai penunjuk ketinggian fluida
- b. *Level controller (LC)* merupakan alat instrumentasi yang berfungsi sebagai pengendali ketinggian fluida
- c. *Temperature controller (TC)* merupakan alat instrumentasi yang berfungsi sebagai pengendali ketinggian suhu
- d. *Flow controller (FC)* merupakan alat instrumentasi yang berfungsi sebagai pengendali aliran
- e. *Pressure controller (PC)* merupakan alat instrumentasi yang berfungsi sebagai pengendali tekanan
- f. *Ratio controller (RC)* merupakan alat instrumentasi yang berfungsi sebagai pengendali ratio.

## BAB 9 PENUTUP

### 9.1 Kesimpulan

Kesimpulan prarancangan pabrik biogas dari limbah cair POME dengan kapasitas 12.000 ton/tahun ialah sebagai berikut:

1. Lokasi pabrik biogas yaitu berada di Kecamatan Sambas, Kalimantan barat dan merupakan lokasi yang strategis;
2. Pabrik biogas dirancang memiliki kapasitas sebesar 12.000 ton/tahun;
3. Bahan baku yang dibutuhkan yaitu *Palm Oil Mill Effluent* (POME) sebesar 739.200 kg/hari yang dipasok dari PT. Fajar Saudara Kusuma
4. Pabrik beroperasi secara kontinyu selama 300 hari/tahun;
5. Bentuk badan usaha yang direncanakan pada pabrik ini adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan berbagai pertimbangan dan jumlah karyawan sebanyak 140 orang;

Pabrik layak didirikan berdasarkan evaluasi ekonomi yang meliputi *Annual Cash Flow* (ACF) sebesar 30%, *Pay Out Time* (POT) sebesar 3,7 tahun, *Net Profit Over Total Life of the Project* (NPOTLP) sebesar Rp. 5.120.164.975.197, *Total Capital Sink* (TCS) sebesar Rp. 4.341.200.098.189, *Rate Of Return* (ROR) sebesar 21,38%, *Discounted Cash Flow* sebesar 28,1%, dan *Break Even Point* (BEP) sebesar 54,9%.

### 9.2 Saran

Untuk menindaklanjuti dari pabrik biogas dengan bahan baku limbah cair kelapa sawit (POME) perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai presentase kandungan yang terdapat pada POME sehingga akan didapatkan produk akhir dengan produktivitas yang tinggi. Selain itu, pada tangki netralisasi sebaiknya menggunakan larutan penyangga (*buffer*) agar lebih ekonomis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aliff Radzuan, M. R., Syarina, N. A., Wan Rosdi, W. M., Hussin, A. H., & Adnan, M. F. (2019). Sustainable Optimization of Natural Gas Sweetening Using A Process Simulation Approach and Sustainability Evaluator. *Materials Today: Proceedings*, *19*, 1628–1637. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.191>
- Angelidaki, I., Ellegaard, L., & Ahring, B. K. (1999). A comprehensive model of anaerobic bioconversion of complex substrates to biogas. *Biotechnology and Bioengineering*, *63*(3), 363–372. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0290\(19990505\)63:3<363::AID-BIT13>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0290(19990505)63:3<363::AID-BIT13>3.0.CO;2-Z)
- Artidarma, B. S., & Fitria, L. (2021). *Pengolahan Air Bersih dengan Saringan Pasir Lambat Menggunakan Pasir Pantai dan Pasir Kuarsa*. *09*(2), 4–6.
- Ashar, N. G., & Golwalkar, K. R. (2013). *A Practical Guide to the Manufacture of Sulfuric Acid, Oleums, and Sulfonating Agents* (1 ed.). Springer Cham. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-02042-6>
- Aziz, M. M. A., Kassim, K. A., ElSergany, M., Anuar, S., Jorat, M. E., Yaacob, H., Ahsan, A., Imteaz, M. A., & Arifuzzaman. (2020). Recent advances on palm oil mill effluent (POME) pretreatment and anaerobic reactor for sustainable biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *119*(November), 109603. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109603>
- Aznury, M., Purnamasari, I., Anggraini, S., Khusnul Fatimah, Y., & Sriyaya Negara Bukit Besar Palembang, J. (2018). Produksi Biogas Dari Air Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit Menggunakan Digester Anaerobik Modifikasi Dengan Penambahan Pengadukan Biogas Production From Palm Oil Mill Effluent Using Modified Anaerobic Digester With Agitator. *Jurnal Kinetika*, *9*(03), 12–16. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>
- Bond, T., & Templeton, M. R. (2011). History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy for Sustainable Development*, *15*(4), 347–354. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.09.003>
- Bow, Y., Kalsum, L., Hasan, A., Husaini, A., & Rusdianasari. (2021). The Purification of Biogas with Monoethanolamine (MEA) Solution Based on Biogas Flow Rate. *Proceedings of the 4th Forum in Research, Science, and*

- Technology* (FIRST-T1-T2-2020), 7, 1–5.  
<https://doi.org/10.2991/ahe.k.210205.003>
- Chan, Y. J., & Chong, M. F. (2019). Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment—Current Technologies, Biogas Capture and Challenges. *Springer Nature Singapore*, 71–92. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2236-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2236-5_4)
- Choirunnisa, A., & Mustain, A. (2022). Penentuan Kapasitas Produksi Dan Seleksi Proses Pra Rancangan Pabrik Kimia Bioetanol Gel Kapasitas 5000 Ton/Tahun. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 8(1), 86–93. <https://doi.org/10.33795/distilat.v8i1.251>
- Dewi, T. K., & Dewi, C. K. (2014). Pembuatan gas bio dari serbuk gergaji, kotoran sapi, dan larutan em4. *Jurnal Teknik Kimia*, 20(1), 1–9.
- Farooqi, A. S., Ramli, R. M., Lock, S. S. M., Hussein, N., Shahid, M. Z., & Farooqi, A. S. (2022). Simulation of Natural Gas Treatment for Acid Gas Removal Using the Ternary Blend of MDEA, AEEA, and NMP. *Sustainability (Switzerland)*, 14(17). <https://doi.org/10.3390/su141710815>
- Gavala, H. N., Angelidaki, I., & Ahring, B. K. (2003). *Kinetics and Modeling of Anaerobic Digestion Process*. 81.
- Gelatin Manufactures Institute of America (GMIA). (2012). *Gelatin handbook*. Gelatin Manufactures Institute of America. [http://www.gelatin-gmia.com/images/GMIA\\_Gelatin\\_Manual\\_2012.pdf](http://www.gelatin-gmia.com/images/GMIA_Gelatin_Manual_2012.pdf)
- Gerber, M., & Span, R. (2008). *An Analysis of Available Mathematical Models for Anaerobic Digestion of Organic Substances for Production of Biogas*.
- Godini, H. R., & Mowla, D. (2008). Selectivity study of H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> absorption from gaseous mixtures by MEA in packed beds. *Chemical Engineering Research and Design*, 86(4), 401–409. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2007.11.012>
- Grace Roma Artha Samosir, & Merry Meryam Martgrita. (2021). Analisis Pendahuluan Pemanfaatan Konsorsium Bakteri Termofilik dari Kotoran Sapi Untuk Produksi Biogas. *Journal of Applied Technology and Informatics Indonesia*, 1(1). <https://doi.org/10.54074/jati.v1i1.5>
- Hanbali, M. (2009). *DALAM LIMBAH CAIR CPO*. 16(2), 55–57.

- Ihsan, N. (2013). TINJAUAN MENGENAI BENTUK BENTUK PERUSAHAAN DALAM KONSEP EKONOMI KONVENSIONAL DAN FIQH ISLAM. *Jurnal Ekonomi*, 3.
- Iriani, P., Suprianti, Y., & Yulistiani, F. (2017). Fermentasi Anaerobik Biogas Dua Tahap Dengan Aklimatisasi dan Pengkondisian pH Fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 1(1), 1. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v1i1.16>
- Irwansyah, W. Y., Danial, & Hiendro, A. (2016). Potensi Pemanfaatan Palm Oil Mill Effluent (POME) Sebagai Bahan Baku Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) di PKS PT. Fajar Saudara Kusuma. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 2(1).
- Lam, M. K., & Lee, K. T. (2011). Renewable and sustainable bioenergies production from palm oil mill effluent (POME): Win-win strategies toward better environmental protection. *Biotechnology Advances*, 29(1), 124–141. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.10.001>
- Lok, X., Chan, Y. J., & Foo, D. C. Y. (2020). Simulation and optimisation of full-scale palm oil mill effluent (POME) treatment plant with biogas production. *Journal of Water Process Engineering*, 38(March). <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101558>
- Mellyanawaty, M., Alfiata Chusna, F. M., & Nofiyanti, E. (2019). Proses Peruraian Anaerobik Palm Oil Mill Effluent dengan Media Zeolit Termodifikasi. *Jurnal Rekayasa Proses*, 13(1), 16. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.39206>
- Mirnandaulia, M., Rachmiadji, I., & Exadius, G. (2019). Pemanfaatan Palm Oil Mill Effluent (Pome) Sebagai Alternatif Energi Terbarukan Di Salah Satu Perusahaan Kelapa Sawit Sumatera Utara. *Ready Star*, 2(1), 25–29.
- Murti, G. W., Pertiwi, A., Masfuri, I., Juwita, A. R., Adiprabowo, A. B., Dwimansyah, R., Senda, S. P., & Prasetyo, D. H. (2019). Ulasan Teknologi Pretreatment Terkini Limbah Cair POME Sebagai Umpan Digester Biogas. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, 4(1), 17. <https://doi.org/10.31544/jtera.v4.i1.2019.17-28>
- Nurdiah, R., Pertiwi, A., Rosyadi, E., Murti, G. W., Masfuri, I., Rini, T. P., Sholihah, A., Adiprabowo, A. B., & Hidayatullah, M. (2018). Pengembangan

Proses Pre-Treatment Pome ( Palm Oil Mill Effluent ) Sebagai Umpan Digester Jenis CCTR Di PLTBg Sei Pagar PTPN V Riau. *Technopex*, 308–317.

Ohimain, E. I., & Izah, S. C. (2017). A review of biogas production from palm oil mill effluents using different configurations of bioreactors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70(November 2016), 242–253. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.221>

Omoregie, A. I., Muda, K., Rahman, M. R., Bakri, M. K. Bin, Ngu, L. H., Ong, D. E. L., Basri, H. F. Bin, Hong, C. Y., & Mokhter, M. A. (2023). Impact of palm oil mill effluent as an economic medium for soil fixation via microbially induced carbonate precipitation. In *Biomass Conversion and Biorefinery* (Nomor 0123456789). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-03889-4>

Pangarso, S. S., & Kusdiyantini, E. (2022). Review Potensi Pemanfaatan Biogas dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit PTPN 5. *Journal Of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy*, 6(01), 18–31. <https://doi.org/10.31289/jmemme.v6i1.6298>

Popovic, M. (2019). Heliyon Thermodynamic properties of microorganisms : determination and analysis of enthalpy , entropy , and Gibbs free energy of biomass , cells and colonies of 32 microorganism species. *Heliyon*, 5(December 2018), e01950. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01950>

Pourjazaieri, S., Zoveidavianpoor, M., & Shadizadeh, S. R. (2011). Simulation of an amine-based CO<sub>2</sub> recovery plant. *Petroleum Science and Technology*, 29(1), 39–47. <https://doi.org/10.1080/10916460903330197>

Putri Primandari, S. R., Yaakob, Z., Mohammad, M., & Mohamad, A. B. (2013). Characteristics of residual oil extracted from palm oil mill effluent (POME). *World Applied Sciences Journal*, 27(11), 1482–1484. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.27.11.1422>

Rumokoy, S. N., Monika, D., & Gumilar, L. (2019). Konsep Sinyal Informasi Pada Stasiun Pengolahan Limbah Cair PLTBg POME. *CCIT Journal*, 12(1), 61–69. <https://doi.org/10.33050/ccit.v12i1.602>

- Salihu, A., & Alam, Z. (2012). Palm oil mill effluent: A waste or a raw material. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(1), 466–473.
- Suraya, I., Tiarasti, H., Trisakti, B., Hasibuan, R., & Tomiuchi, Y. (2012). *Pembuatan Biogas Dari Berbagai Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit*. 1(1), 45–48.
- Suryani, F. S., Homsah, O. F., & Basuki, M. (2018). Analisis pH dan Pengadukan Terhadap Produksi Biogas dari Limbah Cair Kelapa Sawit. *JRST (Jurnal Riset Sains dan Teknologi)*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.30595/jrst.v2i1.1855>
- Tena, M., Perez, M., & Solera, R. (2021). Effect of hydraulic retention time on the methanogenic step of a two-stage anaerobic digestion system from sewage sludge and wine vinasse: Microbial and kinetic evaluation. *Fuel*, 296(March), 120674. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120674>
- Tran, L. T., Le, T. M., Nguyen, T. M., Tran, Q. T., Le, X. D., Pham, M. Q., Lam, V. T., & Do, M. Van. (2021). *Simultaneous removal efficiency of H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> by high-gravity rotating packed bed: Experiments and simulation*. 288–298.
- Yanti, F. M., DwiHasuti, Z., Murti, S. . S., Valentino, N., Juwita, A. R., & Sholihah, A. (2018). Pengembangan Teknologi Desulfurisasi Melalui Metode Chemical Absorber Pada Produksi Biogas Yang Berasal Dari Limbah Palm il Mill Effluent (POME). *Jurnal Sains dan Teknologi*, Oktober, 1–6. [jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek](http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek)
- Yanti, F. M., Hastuti, Z. D., Murti, S. D. S., Valentino, N., Sholihah, A., & Juwita, A. R. (2019). Utilization palm oil mill effluent for biogas using continuous-stirred-tank-reactor: Production and biogas cleaning. *AIP Conference Proceedings*, 2097(April). <https://doi.org/10.1063/1.5098237>

**LAMPIRAN – LAMPIRAN**

<https://unej.id/SkripsiShafirraTeknikKimia2019>

