

**UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK MENGGUNAKAN BIOGAS  
LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT**

**SKRIPSI**

**OLEH**

**DICKY DWI CAHYA**

**13.813.0002**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

**2018**

## LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dicky Dwi Cahya

Npm : 13.813.0002

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Skripsi : "Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Menggunakan Biogas Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit."

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi-sanksi dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 2018



DICKY DWI CAHYA

13.813.0002

**LEMBAR PENGESAHAN**

**UNJUK KERJA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK  
MENGUNAKAN BIOGAS LIMBAH CAIR PADA PABRIK  
KELAPA SAWIT**

**TUGAS AKHIR**

Oleh:

Dicky Dwi Cahya

13.813.0002

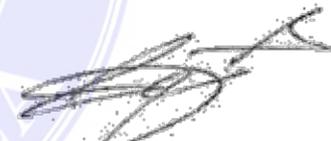
Disetujui:

Pembimbing I

Pembimbing II



(Ir.Husin Ibrahim,MT)



(Ir.H.Darianto,Msc)

Mengetahui:



Dekan

(Prof.Dr.Dadan Ramdan,M.Eng.Msc)



Kep. Program Studi

(Bobby Emroh, ST,MT)

## **ABSTRACT**

*In general the equipment of PLTBS at PT. Ukindo have been designed with special equipments in producing electricity, such as Gas Engine and Generator. It is because to make the security and safety of workers are guaranteed. One of them is palm oil mill liquid waste. Furthermore, the performance of Palm Oil Mill Ukindo is good enough, by gained the stability of processed fresh fruit bunches (TBS) for latest five years, averagely process in more than 300 tons of fresh fruit bunches per year. Then, as the raw material, fresh fruit bunches are obtained from the third party. Thus, the result of analysis calculation in the study reveals that the power is generated as much as 1.3 Mw. This calculation still uses the assumption of the lowest production in 2014. The more amounts the processed fresh fruit bunches, the more the potential power produced. So, the power analysis installed still can increase.*

**Keywords:** *Liquid Waste, Biogas and Power Plant*

## ABSTRAK

Pada umumnya peralatan PLTBS di PT. Ukindo telah dirancang, dengan peralatan khusus dalam memproduksi listrik, seperti Engine gas dan generator agar keamanan serta keselamatan pekerjaanya terjamin. Salah satunya Pabrik kelapa sawit sebagai penghasil energi listrik terbarukan, terlebih dalam bentuk limbah cair pks. Kinerja PKS Ukindo cukup bagus, dengan didapatkan kesetabilan TBS diolah selama lima tahun terakhir, dengan rata-rata mengolah diastaston 300 TBS/tahun. Sebagian bahan baku TBS diperoleh dari pihak ketiga. Dari hasil analisis perhitungan maka diperoleh daya terbangkit 1,3 MW. Perhitungan ini menggunakan asumsi pada produksi terendah pada tahun 2014. Jika kemudian jumlah TBS diolah lebih besar, maka potensi daya yang dihasilkan jika akan lebih besar, sehingga analisis daya terpasang masih bisa meningkat.

**Kata Kunci:** Limbah Cair, Biogas dan Pembangkit Listrik

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada ALLAH SWT atas segala karuniaNya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah Biogas dengan judul **Unjuk Kerja Sistem Pembangkit Listrik Menggunakan Biogas Limbah Cair Pada Pabrik Kelapa Sawit.**

Terwujudnya penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang telah mendorong dan membimbing penulis, baik tenaga, ide-ide, maupun pemikiran.

Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

Yth. Bapak **Bobby Umroh, ST. MT** selaku Ketua Program Studi Universitas Medan Area yang telah menyetujui dan menerima skripsi penulis.

Yth. Bapak **Ir. H. Husin Ibrahim, MT** dan Bapak **Ir. Darianto, MSc** selaku Dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu selama proses pengajuan judul sampai dengan selesainya pembuatan skripsi ini.

Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya.

Semoga skripsi ini bermanfaat.

Medan, 17 Juni 2018

Penulis

(Dicky Dwi Cahya)

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT.....	v
RIWAYAT HIDUP.....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Biogas.....	6
2.1.1 Potensi energi biogas .....	9
2.1.2 Nilai kalor pembakaran gas.....	10
2.2 Produksi biogas yang optimal.....	11
2.2.1 Suhu .....	12
2.2.2 pH sistem penyangga.....	12
2.2.3 Kelarutan gas.....	13
2.2.4 Pengadukan .....	13
2.2.5 Nutrisi.....	14

2.2.6 Toksisitas .....	14
2.3 Peroses pembakaran(Combution Proces).....	15
2.3.1 Temperatur nyala api(flare temperatures).....	17
2.3.2 Kebutuhan udara pembakaran.....	19
2.3.3 Kebutuhab udara teoritis .....	21
2.4 Parameter pembangkit listrik tenaga biogas .....	23
2.4.1 Sistem bio-digester.....	23
2.4.2 Scrubber hidrogen sulfida( $H_2S$ ).....	25
2.4.3 Dehumidifier Biogas .....	26
2.4.4 Gas Engine .....	27
2.4.5 Burner dan Boiler.....	28
2.4.6 Flare biogas .....	28
2.5 Perbedaan bahan bakar alam dengan biogas.....	29
2.5.1 Bahan bakar alam.....	29
2.5.2 Bahan bakar gas .....	30
2.5.3 Efek Jangkah panjang biogas pada mesin.....	31
2.5.4 Analisis teoritis pembakaran biogas.....	31
2.5.5 Keuntungan dan Kerugian bahan bakar alam dengan biogas.....	32
2.5.5 Unjuk Kerja Motor Bakar .....	32
2.6 Menghitung potensi energi terbarukan .....	36
2.6.1 Rumus menghitung potensi energi terbarukan.....	37
2.7 Persepsi masyarakat terhadap limbah cair PKS.....	39
2.8 Data dan rumus potensi pembangkit listrik .....	40
BAB III BAHAN dan METODE.....	43
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian.....	43
3.2 Bahan Dan Alat.....	43

3.3 Metode Penelitian.....	44
3.4 Prosedur Penelitian.....	44
3.5 Diagram alir.....	45
3.6 Penjelasan diagram alir.....	46
BAB IV Hasil dan pembahasan.....	48
4.1 Proyek produksi.....	48
4.2 Kadar organik POME.....	49
4.3 Hasil potensi pembangkit listrik.....	49
4.3 Pembahasan teknologi pembangkit listrik.....	53
BAB V Kesimpulan dan Saran.....	56
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA	

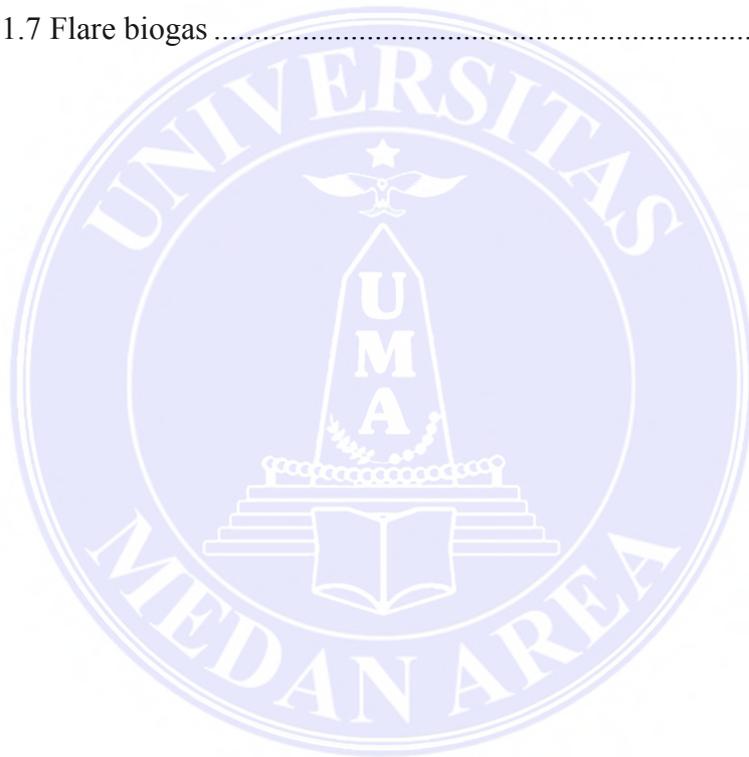


## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi biogas .....	7
Tabel 2.2 Nilai kalor limbah pabrik kelapa sawit .....	10
Tabel 2.3 Nilai kalor pembakaran biogas .....	11
Tabel 2.4 Hasil pengujian generator listrik tenaga premium .....	33
Tabel 2.5 Hasil pengujian generator listrik tenaga biogas .....	34
Tabel 2.6 Data hasil penghitungan torsi dan tekanan efektif rata-rata .....	35
generator listrik tenaga biogas .....	35
Tabel 2.7 Menghitung potensi energi terbaruka POME .....	36
Tabel 2.8 Asumsi dalam menghitung potensi daya .....	37
Tabel 2.9 Distribusi responden(anggota masyarakat).....	39
Tabel 3.1 Jadwal pelaksanaan penelitian.....	43

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram pembangkit listrik tenaga biogas.....	11
Gambar 1.2 CSTR(KIRI) Kolam tertutup (kanan) .....	24
Gambar 1.3 Scrubber H <sub>2</sub> S.....	26
Gambar 1.4 Dehumidifier biogas .....	26
Gambar 1.5 Gas engine .....	27
Gambar 1.6 Burner biogas .....	28
Gambar 1.7 Flare biogas .....	28



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Singuda ensikom(2016) Permintaan energi listrik yang meningkat setiap tahunnya menjadi masalah tersendiri di setiap negara di dunia. Begitu pula dengan Indonesia, khususnya Sumatera Utara. Pertumbuhan beban yang tidak diikuti dengan penambahan pusat pembangkit tenaga listrik menyebabkan krisis energi listrik. Di sisi lain bertambahnya kebutuhan manusia menyebabkan pertumbuhan industri juga meningkat yang diiringi dengan meningkatnya permasalahan tentang lingkungan. Salah satu industri yang cukup penting dalam memenuhi kebutuhan umat manusia adalah industri pengolahan kelapa sawit. Industri pengolahan kelapa sawit tersebut menghasilkan limbah yang berpotensi mencemari lingkungan. Secara garis besar limbah dalam industri pengolahan kelapa sawit dapat dibagi dua yaitu limbah cair dan limbah padat. Limbah padat terdiri dari tiga jenis yaitu tandan kosong, cangkang dan serabut. Pada umumnya, pabrik pengolahan kelapa sawit menggunakan limbah padat serabut sebagai bahan bakar boiler pabrik itu sendiri, sehingga yang menjadi masalah adalah cangkang sawit dan tandan kosong sawitnya. Oleh sebab itu diperlukan solusi untuk mengatasi masalah-masalah yang berkaitan dengan defisit pasokan tenaga listrik serta pengolahan limbah PKS tersebut sehingga kebutuhan umat manusia terpenuhi tetapi tetap tidak mencemari lingkungan. Dalam tulisan ini penulis menawarkan cara untuk mengatasi kedua masalah tersebut sekaligus dengan membangun

Pembangkit Listrik Tenaga Biomasa Sawit (PLTBS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Sawit (PLTBGS).

Panji (2013), Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari limbah cair pabrik kelapa sawit oleh mikroorganisme dalam kondisi anaerobik. Beberapa keuntungan dari pemanfaatan biogas adalah mengurangi efek gas rumah kaca, mengurangi pencemaran udara, tanah, air, dan hasil samping berupa pupuk padat dan cair. Keuntungan lain dari biogas adalah emisi gas buang CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO yang dihasilkan oleh mesin generator set berbahan bakar biogas sebagian besar lebih rendah dibandingkan dengan emisi gas buang CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh mesin generator set berbahan bakar bensin. Timbulnya kelangkaan bahan bakar minyak yang disebabkan oleh ketidakstabilan harga minyak dunia, maka pemerintah mengajak masyarakat untuk mengatasi masalah energy ini secara bersama-sama. Hal ini telah memunculkan kesadaran bahwa selama ini bangsa Indonesia sangat tergantung pada sumber energi tak-terbarukan. Cepat atau lambat sumber energi tersebut akan habis. Salah satu solusi mengatasi permasalahan ini adalah dengan mengoptimalkan potensi energi terbarukan yang dimiliki bangsa ini.

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan sebesar 311.232 MW, namun kurang lebih hanya 22% yang dimanfaatkan. Masyarakat Indonesia terlena dengan harga BBM yang murah, sehingga lupa untuk memanfaatkan dan mengembangkan sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui. Sumber energi terbarukan yang tersedia antara lain bersumber dari tenaga air (*hydro*), panas bumi, energi cahaya, energi angin, dan biomassa. (Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi, 2001; ZREU, 2000).

Pengujian pada biogas tersebut dilakukan dengan beberapa tahap analisis, dimulai dari analisis COD yang berperan dalam menentukan kualitas limbah yang digunakan sebagai biogas tersebut. Kemudian ada pula analisis kadar air yang dikandungnya, analisis nitrogen, analisis karbon organik, analisis selulosa, analisis lignin, analisis padatan volatil, dan juga analisis hemiselulosa sebagai bagian analisis paling akhir yang dilakukannya. (Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi, 2001; ZREU, 2000).

Pembuatan biogas dapat dilakukan dengan 4 tahap yang berbeda, diantaranya :

Tahap pertama

Pada tahapan yang satu ini bakteri dibiarkan untuk melakukan hidrolisis polimer yaitu dengan bantuan dari enzim selulase yang dilakukan pada bagian polimer karbohidrat. Sementara itu enzim lipase membantu hidrolisis pada bagian lemak, sedangkan untuk hidrolisis protein justru dilakukan oleh enzim protease yang pada akhirnya akan menghasilkan bentuk senyawa terlarut.

Tahap kedua

Pada tahap ini senyawa terlarut dilakukan perombakan kembali sehingga menghasilkan bagian gas hidrogen, karbon dioksida, alkohol, asam laktat, senyawa asetat dan juga bentuk senyawa lainnya yang memiliki ukuran rantai pendek. Tahap kedua ini juga dikenal dengan sebutan asidogenesis yang mana prosesnya dilakukan dengan bantuan dari bakteri asam.

Tahap ketiga

Pada tahapan yang satu ini, proses pembuatan biogas dilakukan dengan menggunakan bantuan dari bakteri asetat. Sehingga dapat menghasilkan asetat,

gas karbon dioksida, dan juga gas hidrogen. Tahap ketiga juga masih sama dengan tahap kedua yaitu disebut sebagai tahap asidogenesis.

Tahap keempat

Umumnya kegiatan produksi biogas yang dilakukan oleh pabrik akan menghasilkan gas metana yang berasal dari limbah kelapa sawit. Namun dalam tahapan pembuatan yang keempat dan dilakukan pada limbah kelapa sawit tersebut adalah prose ketika bagian asetat, kemudian karbon dioksida dan juga gas hidrogen yang dihasilkan dari tahap ketiga tadi kemudian dilakukan perombakan kembali. Perombakan ini dilakukan dengan menggunakan bakteri metan, sehingga pada akhirnya dapat menghasilkan gas metana dan juga gas karbon dioksida.

### **1.2 Rumusan masalah**

Bagaimana unjuk kerja sistem pembangkit listrik biogas sebagai energi listrik yang optimal dan dapat di manfaatkan secara umum?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Untuk mengetahui unjuk kerja sistem pembangkit listrik biogas sebagai sumber energi yang optimal.

### **1.4 Manfaat**

1. Sebagai sumber energi yang alternatif.
2. Untuk membantu dan mengatasi krisis sumber energi dalam kebutuhan masyarakat.
3. Untuk mengurangi bahan bakar alam yang digunakan.
4. Untuk mengurangi pencemaran lingkungan.

## **1.5 Sistematika Penulisan**

Penelitian ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut: bagian pendahuluan berisi tentang halaman judul, halaman pengesahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar, dan daftar lampiran. Bagian isi laporan penelitian terdiri dari :

BAB I pendahuluan berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan manfaat, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan laporan.

BAB II Tinjauan pustaka, berisi tentang kelapa sawit, biogas dan manfaatnya.

BAB III Metodologi penelitian, merupakan rangkaian pelaksanaan dengan menguraikan desain penelitian, bahan dan alat yang digunakan untuk penelitian, pembuatan spesimen, diagram alir, teknik pengambilan data, analisa data dan tempat penelitian.

BAB IV Analisa hasil dan pembahasan penelitian, berisi tentang data hasil penelitian, analisa dan pembahasan yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan diagram. Dan penelitian ini ditutup dengan

BAB V penutup berisi tentang kesimpulan dan saran

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Biogas

(Anonymous, 2011) Biogas terbentuk secara alami ketika limbah cair kelapa sawit (pome) teruraikan pada kondisi anaerob. Tanpa pengendalian, biogas merupakan kontributor utama bagi perubahan iklim global. Jika pengelolaan POME tidak terkendali, metana di dalam biogas terlepas langsung ke atmosfer. Sebagai gas rumah kaca (GRK), metana mempunyai efek 21 kali lebih besar dibandingkan dengan  $CO_2$ . Pembangkit listrik tenaga biogas mengambil manfaat dari proses penguraian alami untuk membangkitkan listrik. Limbah cair organik yang dihasilkan selama produksi kelapa sawit merupakan sumber energi besar yang belum banyak dimanfaatkan di Indonesia. Mengubah Pome menjadi biogas untuk dibakar dapat menghasilkan energi sekaligus mengurangi dampak perubahan iklim dari proses produksi minyak kelapa sawit.

(Deublein dan Steinhauser, 2008) Pemanfaatan limbah padat dan cair dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Komponen terbesar yang terkandung dalam biogas adalah  $CH_4$  (55 % – 70 %) dan  $CO_2$  (30 % – 45 %) serta sejumlah kecil, nitrogen dan hidrogen sulfida. Apabila kandungan gas metan dalam biogas lebih dari 50%, biogas tersebut layak digunakan sebagai bahan bakar, bersifat mudah meledak dan terbakar. Gas metana memiliki nilai kalor 50,1 MJ/kg. Jika densitas methana  $0,717 \text{ kg/m}^3$ , gas  $1 \text{ m}^3$  methana akan memiliki energi setara dengan 35,9 MJ atau sekitar 10 kWh. Jika kandungan gas methana adalah 62% dalam biogas, biogas  $1 \text{ m}^3$  akan memiliki tingkat energi sebesar 6,2 kWh, dengan

asumsi efisiensi konversi biogas menjadi sifat dan kualitas biogas sebagai bahan bakar, seperti di tunjukan tabel 1.1

(Iqbal,2008)Kandungan  $CO_2$  dalam biogas sebesar 25 – 50 % dapat mengurangi nilai kalor bakar dari biogas tersebut. Sedangkan, kandungan  $H_2S$  dalam biogas dapat menyebabkan korosi pada peralatan dan perpipaan dan nitrogen dalam biogas juga dapat mengurangi nilai kalor bakar biogas tersebut. Pada lower explosion limit (LEL) 5,4 vol % metana dan upper explosion limit (UEL) 13,9 vol %. Di bawah 5,4 % tidak cukup metana sedangkan di atas 14% terlalu sedikit oksigen untuk menyebabkan ledakan. Temperatur yang dapat menyebabkan ledakan sekitar 650–750 °C, percikan api dan korek api cukup panas untuk menyebabkan ledakan.

Tabel 2.1. Komposisi Biogas. Sumber; Deublein dan Steinhauser, 2008

No	Komposisi Biogas	Jumlah
1	Methana ( $CH_4$ )	55 -70 %
2	Karbon Dioksida ( $CO_2$ )	30 – 45%
3	Nitrogen ( $N_2$ )	0 – 0,3%
4	Hidrogen Sulfida ( $H_2S$ )	1 – 5%

Ditjen dan pemanfaatan energi 2001;ZRE,2002 Indonesia saat ini merupakan produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia , tercatat pada tahun 2011 terdapat sekitar 608 pabrik pengolahan kelapa sawit. Industri dan keberlanjutan yang lebih baik. Penangkapan metana dan pengubahan biogas menjadi energi menawarkan salah satu alternatif bagi pabrik kelapa sawit untuk mengurangi dampak

lingkungan sekaligus menghasilkan energi terbarukan. Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan beberapa parameter yaitu:

- a. Menghilangkan hidrogen sulphur, kandungan air dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Hidrogen sulphur mengandung racun dan zat yang menyebabkan korosi, bila biogas mengandung senyawa ini maka akan menyebabkan gas yang berbahaya sehingga konsentrasi yang diijinkan maksimal 5 ppm. Bila gas dibakar maka hidrogen sulphur akan lebih berbahaya karena akan membentuk senyawa baru bersama-sama oksigen, yaitu sulphur dioksida/ sulphur trioksida ( $\text{SO}_2 / \text{SO}_3$ ) yang merupakan senyawa lebih beracun. Pada saat yang sama juga akan terbentuk sulphur acid ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) yaitu suatu senyawa yang lebih korosif.
- b. Menghilangkan kandungan karbon dioksida untuk meningkatkan kualitas, sehingga gas dapat digunakan untuk bahan bakar kendaraan. Kandungan air dalam biogas akan menurunkan titik penyalan biogas serta dapat menimbulkan korosif

Thani (1999) dalam Jini, A.G.M. (2006) menyatakan bahwa limbah cair dari buangan pabrik kelapa sawit yang berkapasitas 30 ton TBS per jam, mengandung polutan yang sama dengan buangan domestik sebanding dengan 300.000 orang. Selain itu buangan ini tinggikandung *chemical oxygen demand* (COD), 50.000 mg/l, *biological oxygen demand* (BOD), 30.000 mg/l, minyak dan lemak, 6000 mg/l, *suspended solid*, 59,350 dan 750 mg/l total nitrogen (Ahmad A.L, 2005) dan berdampak mencemari lingkungan tanah, air dan udara, dengan emisi metana yang potensial. Dengan demikian di satu sisi potensi produksi biogas yang sangat menjanjikan perlu dilakukan penelitian dan

pengembangan sebagai sumber energi terbarukan dan upaya mendukung program pemerintah berkaitan keamanan pasokan energi serta teknologi bersih bagi industri.

Febijanto I, 2010 Limbah cair dari pabrik kelapa sawit disebut juga POME, *Palm Oil Mill Effluent*. Limbah air ini berasal dari air kondensasi proses sterilisasi sekitar 15-20%, air proses klarifikasi & sentrifugasi sekitar 40-50%, dan air dari *claybat/hydroclone* sekitar 9-11% (1). Limbah cair yang dihasilkan dari pabrik pengolahan minyak kelapa sawit (PKS) dapat memberikan dampak negatif bagi lingkungan karena memiliki kandungan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang sangat tinggi. Tanpa proses degradasi limbah cair ini berpotensi mencemari lingkungan dan menimbulkan bau. Untuk itu sebelum dialirkan ke lingkungan sekitar, kadar BOD dan COD limbah cair tersebut harus diturunkan sesuai dengan baku mutu.

#### 2.1.1 Potensi energi listrik biogas

(Lasrosse, 2010). Biogas merupakan sumber energi terbarukan. Potensi biogas yang dapat dihasilkan dari 0,6 – 0,7  $m^3$  POME kurang lebih mencapai 20  $m^3$  biogas. POME yang menghasilkan gas metana ( $CH_4$ ) sangat potensial untuk membangkitkan tenaga listrik. Nilai kalor (heating value) biogas rata-rata sekitar antara 4700-6000 kkal (20-24  $MJ/m^3$ ) (CTL, 2010). Nilai kalor limbah pabrik kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.2 Nilai kalor limbah pabrik kelapa sawit. Sumber :Winrock Internasional

2015

NO	LIMBAH	NILAI KALOR
1	CANGKANG	4010-4802 kkal/kg
2	SERAT	2637-4554 kkal/kg
3	TBK	4496 kkal/kg
4	BATANG	4176 kkal/kg
5	PELEPAH	3757 kkal/kg

Sebagai catatan, 1 kkal = 4187 joule = 1,163 Wh

Berdasarkan nilai kalor biogas, energi listrik yang dihasilkan dari setiap  $m^3$  POME dapat dihitung. Energi listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga biogas tersebut dapat digunakan untuk mengganti sebagian kebutuhan energi pabrik kelapa sawit yang selama ini dipenuhi oleh pembangkit listrik tenaga uap.

#### 2.1.2 Nilai kalor pembakaran gas

Panas pembakaran dari suatu bahan bakar adalah panas yang dihasilkan dari pembakaran sempurna bahan bakar pada volume konstan dalam kalori meter dan dinyatakan dalam kal/kg atau Btu/lb. Panas pembakaran dari bahan bakar bisa dinyatakan dalam *High Heating Value* (HHV) dan *Lower Heating Value* (LHV). *High Heating Value* merupakan panas pembakaran dari bahan bakar yang di dalamnya masih termasuk *latent heat* dari uap air hasil pembakaran. *Low Heating Value* merupakan panas pembakaran dari bahan bakar setelah dikurangi *latent heat* dari uap air hasil pembakaran. Nilai kalor pembakaran yang terdapat pada biogas berupa *High Heating Value* (HHV) dan *Lower Heating Value* (LHV).

Tabel 2.3 Nilai Kalor Pembakaran Biogas dan Natural Gas. Sumber Internasional

2015

NO	Komponen	Height Heating Value (HHV) Kkal/kg	Low Heating Value (LHV) Kkal/kg
1	Hidrogen ( $H^2$ )	2.842,21- 3.390,361	2.402,62- 28.661,13
2	Karbon Monoksida (CO)	2.8112,95- 2.414,31	2.811,95- 2.414,31
3	Gas Metana ( $CH^4$ )	8.851,43- 13.265,91	7.973,13- 11.395,76
4	Natural Gas	9.165,55- 12.943,70	8.321,18- 11.749,33

## 2.2 Produksi Biogas yang Optimal

Bagian utama dari suatu fasilitas komersial konversi POME menjadi biogas ditunjukkan pada Gambar 2.1 Setiap komponen dalam gambar akan dibahas pada bagian selanjutnya.



Gambar 2.1 Diagram Pembangkit Listrik Tenaga Biogas. Sumber : Winrock

Internasional 2015

Bagian berikut menjelaskan kondisi yang diperlukan seperti suhu, pH, dan sistem penyangga (*buffer*), kelarutan gas, pencampuran, nutrisi, dan toksisitas.

### 2.2.1 Suhu

Ada dua rentang suhu yang biasa digunakan dalam *digester* anaerobik, yaitu suhu mesofilik (25-40°C) dan suhu termofilik (50-60°C). Instalasi biogas biasanya digunakan menggunakan rentang suhu mesofilik karena pengoperasiannya lebih mudah, sementara rentang suhu termofilik memerlukan kendali sistem suhu yang lebih ketat. Metana dapat diproduksi pada suhu rendah, tetapi untuk produksi yang optimal, suhu di dalam *digester tank* harus dijaga di atas 20°C. Tingkat produksi metana akan naik sekitar dua kali lipat untuk setiap kenaikan suhu 10°C dalam rentang suhu mesofilik.

Parameter fisik seperti viskositas dan tegangan permukaan air dapat berubah seiring dengan perubahan suhu. Suhu termofilik menghasilkan perpindahan massa yang lebih baik dan tingkat penguraian yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi mesofilik. Suhu yang stabil memberikan hasil yang lebih baik daripada suhu yang berfluktuasi.

### 2.2.2 pH dan Sistem Penyangga

Setiap kelompok mikroba yang terlibat dalam degradasi anaerobik memiliki rentang pH tertentu untuk pertumbuhan yang optimal. Untuk bakteri asidogen, pH optimalnya sekitar 6, sedangkan untuk bakteri asetonogen dan metanogen, pH yang optimal sekitar 7. Banyak penelitian menunjukkan bahwa kisaran pH 6,5-7,5 menghasilkan kinerja dan stabilitas dalam sistem anaerobik yang baik, meskipun operasi yang stabil dapat juga terjadi diluar kisaran ini. Sebagian besar aplikasi

POME terutama teknologi kolam tertutup tidak memerlukan penambahan zat kimia untuk menetralkan pH. Hal ini terjadi karena air limbah anaerobik mengandung penyangga alkalinitas dari bikarbonat ( $HCO_3$ ) sehingga resirkulasi air limbah ke tangki pencampuran POME dapat menjaga pH tetap netral.

### 2.2.3 Kelarutan Gas

Dalam proses anaerobik, gas terbentuk dalam fase cair dan cenderung lepas ke udara. Perpindahan fase cair menjadi gas sangat penting dalam proses penguraian anaerobik. Perpindahan fase cair menjadi gas akan dibatasi oleh parameter desain proses seperti luas area antarmuka cairan dan gas (*liquid gas interface*), kecepatan pengadukan, dan suhu cairan yang mempengaruhi viskositas dan tegangan permukaan. Biasanya laju pembentukan gas jauh lebih tinggi dari laju perubahan cairan menjadi gas sehingga menghasilkan konsentrasi gas yang tinggi dalam cairan. Konsentrasi berlebih gas tertentu seperti  $CO_2$  dan  $H_2S$  dapat menyebabkan penurunan pH dan mempengaruhi proses biologis.

### 2.2.4 Pengadukan

Proses pengadukan berperan penting dalam mengontrol pH dan menjaga lingkungan yang seragam. Tanpa pengadukan yang memadai, lingkungan mikro yang tidak menguntungkan dapat terbentuk. Pengadukan berfungsi untuk mendistribusikan larutan penyangga ke seluruh area *digester* dan mencegah penumpukan produk metabolisme berkonsentrasi tinggi yang dapat menghambat pembentukan bakteri metanogen. Pengadukan umumnya dilakukan dengan menggunakan pengadukan mekanis, pengadukan cairan dengan memasukkan POME melalui pipa distribusi, atau pengadukan biogas yang diresirkulasi.

### 2.2.5 Nutrisi

Biodegradasi yang efisien membutuhkan nutrisi seperti nitrogen, fosfor dan unsur-unsur lainnya dalam jumlah yang cukup (mikronutrisi). Nutrisi membangun sel-sel yang membentuk mikroorganisme dan menghasilkan biogas. Proses pembentukan biogas membutuhkan rasio karbon terhadap nitrogen minimal 25:1. POME umumnya memiliki nitrogen dan fosfor dalam kadar yang cukup. Kebutuhan nutrisi bakteri anaerob lebih rendah dibandingkan dengan bakteri aerob, karena laju pertumbuhan bakteri anaerob lambat. Proses pembentukan biogas harus mempertahankan rasio COD :nitrogen:fosfor pada tingkat yang memadai, oleh karena itu operator harus memantau rasio dan melakukan penyesuaian yang diperlukan selama proses berlangsung. Pompa dosis dapat digunakan untuk menambahkan nutrisi secara berkala. Selama proses, kadar mikronutrien seperti nikel dan kobalt juga harus dijaga untuk mendukung proses metanogenesis.

### 2.2.6 Toksisitas

Dari semua mikroorganisme dalam penguraian anaerobik, bakteri metanogen umumnya dianggap paling sensitif terhadap toksisitas. Toksisitas  $NH_3$ ,  $H_2S$ , dan VFA tergantung pada pH. Dalam kultur bakteri yang tidak dikondisikan, tingkat  $NH_3$  sekitar 150 mg/l dapat menghambat pertumbuhan mikroba. Bakteri metanogen dapat menoleransi konsentrasi yang lebih tinggi, jika kultur tersebut telah melalui masa adaptasi.  $NH_3$  menjadi racun pada tingkat pH lebih dari 7.  $H_2S$  dan VFA beracun pada tingkat pH kurang dari 7. Konsentrasi  $H_2S$  hingga 200 mg/l tidak menghambat pertumbuhan mikroba, tetapi dapat mengeluarkan bau menyegat yang berasal dari hidrogen sulfida. Bakteri metanogen juga sensitif

terhadap oksigen. Kultur campuran di dalam *digester* anaerobik, bakteri anaerob fakultatif membentuk beberapa bakteri hidrolisis dan asidogenik yang mengkomsumsi oksigen yang ada dalam *digester*.

### **2.3 Proses Pembakaran (*Combustion Process*)**

Pengertian pembakaran secara umum yaitu terjadinya oksidasi cepat dari bahan bakar disertai dengan produksi panas dan cahaya. Pembakaran sempurna bahan bakar terjadi jika ada pasokan oksigen yang cukup. Dalam setiap bahan bakar, unsur yang mudah terbakar adalah karbon, hidrogen, dan sulfur.

Tujuan dari pembakaran yang sempurna adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan “Tiga T” Mitzlaff (2000). yaitu :

a. T-Temperatur

Temperatur yang digunakan dalam pembakaran yang baik harus cukup tinggi sehingga dapat menyebabkan terjadinya reaksi kimia.

b. T-Turbulensi

Turbulensi yang tinggi menyebabkan terjadinya pencampuran yang baik antara bahan bakar dan pengoksidasi.

c. T-Time (Waktu)

Waktu yang cukup agar input panas dapat terserap oleh reaktan sehingga berlangsung proses termokimia.

Dalam proses pembakaran tidak terlepas dari tahap awal yaitu penyalan dimana keadaan transisi dan tidak reaktif menjadi reaktif karena dorongan eksternal yang memicu reaksi termokimia diikuti dengan transisi yang cepat sehingga pembakaran dapat berlangsung. Penyalan terjadi bila panas yang

dihasilkan oleh pembakaran lebih besar dari panas yang hilang ke lingkungan. Dalam proses penyalaan ini dapat dipicu oleh energi *thermal* yang merupakan transfer energi *thermal* ke reaktan oleh konduksi, konveksi, radiasi atau kombinasi dari ketiga macam proses tersebut.

Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan tingkat konsumsi bahan bakar ekonomis dan berkurangnya besar kepekatan asap hitam gas buang karena pada pembakaran sempurna campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar seluruhnya dalam waktu dan kondisi yang tepat. Kualitas bahan bakar perlu diperhatikan sesuai dengan karakteristiknya sehingga homogenitas campuran bahan bakar dengan udara terjadi secara sempurna agar terjadi pembakaran yang sempurna.

Energi panas yang dihasilkan dari suatu proses pembakaran senyawa hidrokarbon merupakan kebutuhan energi yang paling dominan dalam refinery. Pengolahan energi yang tepat dan efisien merupakan langkah penting dalam upaya penghematan biaya produksi secara menyeluruh. Pembakaran merupakan reaksi kimia yang bersifat eksotermis dari unsur-unsur yang ada di dalam bahan bakar dengan oksigen serta menghasilkan panas. Proses pembakaran memerlukan udara, namun jumlah udara yang dibutuhkan tidak diberikan dalam jumlah yang tepat secara stoikiometri, namun dlebihihkan. Hal ini bertujuan supaya pembakaran berlangsung sempurna. Kelebihan udara ini disebut *Excess air* (udara yang berlebih).

Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan jumlah panas yang maksimum. Pembakaran dinyatakan secara kualitatif atau kuantitatif dengan reaksi kimia. Jumlah panas yang dihasilkan bahan bakar dinyatakan sebagai nilai

kalori pembakaran (*Calorie Value*). Reaksi kimia terjadi melalui suatu proses oksidasi senyawa-senyawa karbon, hidrogen, dan sulfur yang ada dalam bahan bakar. Reaksi ini umumnya menghasilkan nyala api. Terdapat dua istilah pembakaran yang berhubungan dengan udara excess, yaitu :

1) Neutral combustion

Merupakan pembakaran tanpa excess atau defisit udara dan tanpa bahan bakar yang tidak terbakar

2) Oxidizing combustion

Merupakan pembakaran dengan excess udara, udara yang berlebih bukan merupakan jaminan pembakaran yang sempurna

### 2.3.1 Temperatur Nyala Api (*Flame Temperatures*)

Temperatur nyala api (*Flame Temperatures*) adalah suhu maksimum nyala bahan bakar yang terjadi apabila tidak ada kebocoran panas ke sekeliling. Suhu nyala adibatik diperlukan untuk mengetahui berapa besar panas yang terjadi ketikabahan bakar tersebut bakar. Hal ini merupakan salah satu parameter karakteristik termal dari bahan bakar, seperti halnya bahan bakar solar yang dipakai sebagai bahan bakar. Perhitungan suhu nyala adibatik di dasarkan atas persentase massa dari kandungan carbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen di dalam bahan bakar. Dalam pembakaran, semua kalor yang terkandung di dalam bahan bakar menjadi produk + kalor sensibel.

*Flame* temperatur adalah temperatur dimana suatu zat atau material melepaskan uap yang cukup untuk membentuk campuran dengan udara yang ada sehingga terbakar. Walaupun banyak orang yang mengatakan bahwa temperatur nyala tidak dapat ditentukan secara nyata. Karena hal itulah para ahli mencari

metode untuk menentukan nilainya secara teori. Temperatur nyala api ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu tergantung pada jenis bahan bakar dan oksida yang digunakan. Untuk api konvensional yang digunakan dalam fotometri nyala, temperatur nyala yang lebih tinggi diperoleh dengan oksigen digunakan sebagai oksida bukan udara, karena di dalam udara terdapat nitrogen yang dapat menurunkan suhu nyala api (Melisa 2015).

*Flame* temperatur juga bervariasi sesuai dengan rasio masing-masing komponen dalam campuran yang mudah terbakar, jika campuran tidak masuk pembakaran dalam komposisi optimal, bahan bakar kelebihan atau oksidan tidak berpartisipasi dalam reaksi dan gas *inert* seperti komponen berlebih menurunkan suhu nyala api.

Temperatur yang dapat secara adiabatik, dimana tidak ada panas yang masuk dan panas yang keluar pada saat terjadinya pembakaran. Sedangkan suhu pembakaran disebut dengan *flame* temperatur. Untuk menghitung *flame* temperatur digunakan rumus sebagai berikut :

$$\Delta HR_T = \Delta H^\circ_R + (\Delta H_p - H_R) \dots \dots \dots (1)$$

Rumus menghitung panas reaksi standar

$$\Delta H^\circ_R = n \sum \Delta H^\circ C + n \cdot H_2O \text{ sumber : Hougen 1943} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana

$\Delta HR_T$  = Panas reaksi pembakaran

$\Delta H^\circ_R$  = Panas reaksi

$\Delta H_p$  = Panas produk

$H_R$  = Panas reaktan

Faktor-faktor yang mempengaruhi *flame* temperatur :

1. Temperatur Adiabatik
2. Tekanan Atmosfir
3. Bahan bakar yang terbakar
4. Ada tidaknya pengoksidasi dalam bahan bakar
5. Bagaimana stokiometri pembakaran yang terjadi

### 2.3.2 Kebutuhan Udara Pembakaran

Dalam suatu proses pembakaran bahan bakar dengan oksigen, dibutuhkan oksigen murni untuk proses pembakaran didalam ruang bakar. Namun hal ini merupakan hal yang tidak efisien karena harga oksigen murni yang sangat mahal, selain itu dapat mengakibatkan suhu lokal yang sangat tinggi di dalam ruang bakar sehingga dapat merusak pipa-pipa dan logam pembungkus boiler. Namun hal ini dapat diatasi dengan menggunakan oksigen yang cukup banyak tersedia yaitu udara. Jika mengabaikan kandungan kecil dari gas-gas mulia yang ada di dalam udara seperti neon, xenon, dan sebagainya, maka dapat menganggap udara kering sebagai campuran dari gas nitrogen dan oksigen. Proporsi oksigen dan nitrogen dapat diatur dalam udara, dalam satuan volume maupun satuan berat.

Dalam bentuk persentase, proporsinya adalah :

Berdasarkan berat : Oksigen = 23,2 %

Nitrogen = 76,8 %

Berdasarkan volume : Oksigen = 21 %

Nitrogen = 79 %

### 2.3.3 Kebutuhan Udara Teoritis

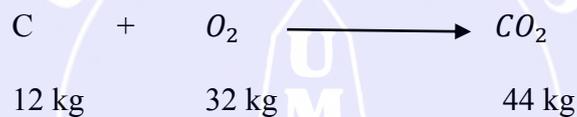
Analisis pembakaran untuk menghitung kebutuhan udara teoritis dapat dilakukan dengan dua cara :

- a. Berdasarkan pada satuan berat
- b. Berdasarkan pada satuan volume

Pada suatu analisis pembakaran selalu diperlukan data-data berat molekul dan berat atom dari unsur-unsur yang terkandung dalam bahan bakar.

#### a. Analisis Pembakaran Berdasarkan Berat

Analisis ini digunakan untuk menghitung kebutuhan teoritis pada pembakaran sempurna sejumlah bahan bakar tertentu. Sebagai contoh :



Ini berarti bahwa setiap kg karbon memerlukan 32 kg oksigen secara teoritis untuk membakar sempurna karbon menjadi karbondioksida. Apabila oksigen yang dibutuhkan untuk membakar masing-masing unsur pokok dalam bahan bakar dihitung lalu dijumlahkan, maka akan ditemukan kebutuhan oksigen teoritis yang dibutuhkan untuk membakar sempurna seluruh bahan bakar. Oleh karena itu untuk memperoleh harga kebutuhan oksigen teoritis yang sebenarnya maka dibutuhkan oksigen yang telah dihitung berdasarkan persamaan reaksi pembakaran kemudian dikurangi dengan oksigen yang terkandung dalam bahan bakar.

b. Analisis Pembakaran Berdasarkan Volume

Apabila dalam suatu analisis bahan bakar dinyatakan dalam persentase berdasar volume, maka suatu perhitungan yang serupa dengan perhitungan berdasarkan berat bisa digunakan untuk menentukan volume dari udara teoritis yang dibutuhkan. Untuk menentukan udara teoritis harus memahami hukum avogadro yaitu “gas-gas dengan volume yang sama pada suhu dan tekanan standar (0°C dan tekanan sebesar 1 bar) berisikan molekul dalam jumlah yang sama” (Diklat PLN 2006).

2.3.4 Kebocoran Udara

Mengevaluasi bahan bakar yang terbang yang disebabkan kebocoran udara. Kebocoran udara di bagian konveksi akan menurunkan efisiensi panas dari furnace akibat pencampuran udara luar yang bersuhu rendah dengan gas buang yang bersuhu tinggi. Persamaan beban energi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\Delta F = \frac{(T_s - T_a)(O_{2,s} - O_{2,c})}{500} \dots\dots\dots(3)$$

Sebagai contoh, katakanlah suhu stack sebesar 600° F dan suhu udara lingkungan sebesar 100°F, bagian konveksi memiliki 10% Oksigen, dan di firebox mengandung 6% oksigen yang diukur dibawah shock tube. Berapa persen bahan bakar yang terbang dengan adanya kebocoran udara pada bagian konveksi ?

$$\Delta F = \frac{(600 - 100)(10 - 6)}{500} = 4\% \dots\dots\dots(4)$$

Meminimalisir pemborosan bahan bakar yang disebabkan kebocoran udara jika mengacu pada contoh diatas, seandainya kita mengurangi udara pembakaran dengan sedikit menutup air register, sehingga kadar oksigen dalam firebox sekarang menjadi 3%. Kadar oksigen di bagian konveksi juga turun, katakanlah menjadi sekitar 9% oksigen. Perbedaan kadar oksigen di firebox dengan di bagian

konveksi sekarang meningkat menjadi 6%. Hal ini disebabkan karena draft yang melewati heater meningkat (berarti tekanan lebih negatif), dan lebih banyak udara yang diisap melewati lubang-lubang atau dari kebocoran udara pada bagian konveksi. Jika kita masih mempertahankan suhu stack 600°F dan suhu lingkungan 100°F, kita mendapatkan sekarang 6% bahan bakar yang terbuang. Sehingga akan lebih banyak lagi bahan bakar yang harus dibakar di dalam firebox untuk mengimbangi meningkatnya kebocoran udara.

Seandainya kita mengatur air register kembali seperti semula, dan sebagai gantinya kita menjepit stack damper, sehingga kita bisa menurunkan laju alir udara dengan stack damper hingga oksigen pada firebox turun dari 6% menjadi 3%. Oksigen pada bagian konveksi juga turun katakanlah 5%. Pada kasus ini kita melihat bahwa  $\Delta O_2$  juga berkurang menjadi hanya 2%. Hal ini dikarenakan berkurangnya draft yang melewati heater, yang berarti tekanan pada bagian konveksi meningkat sehingga menurunkan laju kebocoran udara. Hal ini menunjukkan bagaimana kebocoran udara bervariasi sesuai dengan kombinasi operasi antara stack damper dan air register. Steffan M (2013)

#### *Udara Berlebih (Excess Air)*

Konsentrasi oksigen pada gas buang merupakan parameter penting untuk menentukan status proses pembakaran karena dapat menunjukkan kelebihan  $O_2$  yang digunakan. Secara kuantitatif udara lebih dapat ditentukandari :

- a. Komposisi gas buang yang meliputi  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$  dan  $CO$
- b. Pengukuran secara langsung udara yang disuplai

Rumus untuk menghitung udara berlebih dari komposisi gas buang dengan persamaan berikut:

$$\% \text{ Udara berlebih} = \frac{\text{udara suplai} - \text{udara teoritis}}{\text{udara teoritis}} \times 100 \dots \dots \dots (5)$$

sumber: Himmelblau 1991

Efisiensi pembakaran akan meningkat seiring dengan peningkatan jumlah *excess air* hingga pada nilai tertentu, yaitu saat nilai kalor yang terbuang pada gas buang lebih besar daripada kalor yang dapat disuplai oleh pembakaran yang optimal.

Parameter yang diperlukan untuk kualifikasi bahan bakar dan udara didalam sebuah proses pembakaran adalah rasio udara atau bahan bakar, yaitu jumlah udara di dalam sebuah reaksi terhadap jumlah bahan bakar = mol udara / mol bahan bakar atau massa udara (kg) / massa bahan bakar (kg). Nugraha S.A (2011)

#### **2.4. Parameter Pembangkit Listrik Tenaga Biogas**

##### 2.4.1 Sistem Bio-Digester

Sistem *bio-digester* terdiri dari proses pengolahan awal, *bio-digester*, dan kolam sedimentasi. Dalam proses pengolahan awal, POME dikondisikan untuk mencapai nilai-nilai parameter yang dibutuhkan untuk masuk ke *digester*. Pada tahap ini, dilakukan proses penyaringan untuk menghilangkan paetikel besar seperti kotoran atau serat. Proses pengadukan dan netralisasi pH dilakukan untuk mencapai pH optimal pada 6,5-7,5. Sebuah sistem pendingin (*cooling tower* atau *heat changer*) berfungsi untuk menurunkan suhu POME menjadi sekitar 40°-50°C. Suhu *digester* harus dijaga dibawah 40°C agar kondisi mesofilik optimal. Penurunan suhu ini juga dibantu dengan proses resikulasi air limbah keluaran dari *digester*. Air limbah setelah pengolahan awal dipompa ke *bio-digester*, yang dapat berupa kolam tertutup atau CSTR (Gambar 2.2). Proses penguraian POME

menghasilkan biogas dan residu(*slurry*).*Digester* harus dirancang kedap udara dan air. *Digester* dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran, dan dari berbagai bahan. Ukuran *digester* ditentukan berdasarkan laju aliran POME, beban COD, dan waktu retensi hidrolik(HRT) yang diperlukan untuk penguraian yang optimal. Herringshaw (2009)



Gambar 2.2 *Continuously Stirred Tank Reactor* (kiri) dan Kolam tertutup (kanan). Sumber : Winrock Internasional 2015.

Air limbah hasil proses anaerobik dari *digester* mengalir ke kolam sedimentasi dimana POME yang telah terurai dipisahkan lebih lanjut dari lumpur dan padatan. Perkebunan dapat menggunakan limbah cair dari sedimentasi sebagai pupuk. Sistem pembuangan padatan berfungsi untuk memisahkan lumpur dan padatan yang terakumulasi baik di dalam *digester* maupun di dalam kolam sedimentasi. Biogas yang dihasilkan melalui proses anaerobik terkumpul di bawah *cover*/penutup *digester* pada kolam tertutup atau pada bagian atap tangki pada sistem tangki /CSTR. Sistem kolam tertutup mempertahankan tekanan rendah 0-2 mbarg (tergantung pada desain penyedia teknologi), sementara sistem tangki menyimpan biogas pada tekanan yang lebih tinggi yakni 8-30 mbarg. Pabrik pengolahan kelapa sawit umumnya tidak menggunakan tangki

penyimpanan biogas yang terpisah karena biayanya tinggi. Sistem tangki memiliki kapasitas penyimpanan biogas antara 30 menit hingga 3 jam, sedangkan kolam tertutup memiliki kapasitas penyimpanan 1 hingga 2 hari. Biogas yang terkumpul di dalam *digester* kemudian dialirkan dan diproses lebih lanjut ke dalam sistem pengolahan gas atau dibakar di dalam *flare*.

#### 2.4.2 Scrubber Hidrogen Sulfida ( $H_2S$ )

Sebelum biogas dapat menghasilkan daya listrik, *scrubber* hidrogen sulfida digunakan untuk menurunkan konsentrasi  $H_2S$  ke tingkat yang disyaratkan oleh *gas engine*, biasanya di bawah 200 ppm (Gambar 2.3). Hal ini untuk mencegah korosi, mengoptimalkan operasi, dan memperpanjang umur *gas engine*.  $H_2S$  dalam biogas berasal dari komponen sulfat ( $SO_4$ ) dan sulfur lainnya dalam air limbah. Dalam *digester* anaerobik pada kondisi tidak ada oksigen, sulfat berubah menjadi  $H_2S$ . Ada tiga jenis *scrubber* yang digunakan dalam proses desulfurisasi untuk menurunkan kandungan  $H_2S$  dalam biogas, yaitu *scrubber* biologis, kimia, atau air. *Scrubber* biologis menggunakan bakteri sulfur-oksidasi untuk mengubah  $H_2S$  dan  $SO_4$ , sementara *scrubber* kimia menggunakan bahan kimia seperti NaOH untuk mengubah  $H_2S$  menjadi  $SO_4$ . *Scrubber* air bekerja berdasarkan penyerapan fisik dari gas-gas terlarut dalam air dan menggunakan air bertekanan tinggi. *Scrubber* biologis biasa digunakan untuk aplikasi POME menjadi energi karena biaya operasionalnya rendah.



Gambar 2.3 Scubber H<sub>2</sub>S. Sumber: Winrock Internasional 2015.

#### 2.4.3 Dehumidifier Biogas

Dehumidifier gas (Gambar 2.4) dalam bentuk *dryer, chiler, atau cyclone*, berfungsi untuk mengurangi kadar air dalam biogas yang akan dialirkan ke dalam *gas engine*. Dehumidifier mengambil air yang terkandung dalam biogas. Hal ini membantu mengoptimalkan proses pembakaran pada mesin, mencegah pengembunan, dan melindungi mesin dari pembentukan asam. Asam terbentuk saat air bereaksi dengan H<sub>2</sub>S dan oksigen. Biogas yang berkualitas tinggi dengan kelembaban relatif di bawah 80% meningkatkan efisiensi mesin dan mengurangi konsumsi bahan bakar gas.



Gambar 2.4 Dehumidifier Biogas. Sumber : Winrock Internasional 2015.

#### 2.4.4 Gas Engine

*Gas engine* termasuk mesin pembakaran dalam yang bekerja dengan bahan bakar gas seperti gas alam atau biogas ( Gambar 2.5). Setelah kandungan pengotor pada biogas diturunkan hingga kadar tertentu, biogas kemudian dialirkan ke *gas engine* untuk menghasilkan listrik. Bergantung pada spesifikasi *gas engine* yang digunakan, *gas engine* yang berbahan bakar biogas umumnya memerlukan biogas dengan kadar air di bawah 80% dan konsentrasi  $H_2S$  kurang dari 200 ppm.

*Gas engine* mengubah energi yang terkandung dalam biogas menjadi energi mekanik untuk menggerakkan generator yang menghasilkan listrik. Biasanya *gas engine* memiliki efisiensi antara 36-42%.



Gambar 2.5 Gas Engine. Winrock Internasional 2015.

#### 2.4.5 *Burner dan Boiler*



Gambar 2.6 *Burner Biogas*. Sumber : Winrock Internasional 2015.

Biogas yang dihasilkan dari proses penguraian anaerobik dapat menjadi bahan bakar *boiler*. *Burner* gas biasanya dipasang pada dinding *boiler* (Gambar 2.6). Biogas merupakan bahan bakar alternatif bagi *boiler* untuk menghasilkan panas atau listrik menggantikan bahan bakar biomassa, seperti cangkang dan serat, yang biasa digunakan di pabrik kelapa sawit.

#### 2.4.6 *Flare Biogas*



Gambar 2.7 *Flare Biogas*. Sumber : Winrock Internasional 2015.

*Flare* digunakan di industri proses atau pabrik untuk membakar kelebihan gas. Dengan alasan keamanan, pembangkit listrik tenaga biogas harus memasang *flare* untuk membakar kelebihan gas (Gambar 2.7), terutama pada saat biogas tidak bisa diumpankan ke *gas engine* atau peralatan pembakaran lainnya. Umumnya hal ini terjadi saat puncak panen tandan buah segar, yang menyebabkan kelebihan produksi biogas. Kelebihan produksi meningkatkan laju alir biogas melebihi batas maksimum biogas yang dapat masuk ke *gas engine*. *Flare* juga digunakan saat *gas engine* sedang tidak beroperasi dalam masa pemeliharaan. Instalasi biogas tanpa *gas engine* atau *boiler* harus menggunakan *flare* secara terus-menerus untuk membakar biogas. Operator tidak boleh melepaskan kelebihan biogas secara 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 layaknya di penggunaan kolam limbah terbuka.

## **2.5 Perbedaan bahan bakar alam dengan biogas**

### **2.5.1 Bahan bakar alam**

(Santoso A.B, 2013). Bahan bakar dalam aplikasi mesin pembakaran memiliki 3 (tiga) jenis bentuk fisik. Tapi untuk mesin pembakaran dalam, khususnya mesin diesel bentuk fisik bahan bakar hanya ada dalam dua bentuk fisik, yaitu cair dan gas. Meskipun ada yang dikatakan berasal dari bahan bakar padat, tapi dengan melalui proses gasifikasi dapat dihasilkan bahan bakar dalam wujud gas [2]. Mesin diesel adalah mesin yang menggunakan bahan bakar *fossil diesel* yang diperoleh dari destilasi pendidihan minyak mentah (*crude oil*) pada suhu 250 °C sampai 370 °C. Hidrokarbon yang terdapat didalamnya terdiri dari

*parafin, naphtalene, olefin* dan *aromatik* dengan jumlah karbon yang bervariasi 12 sampai 18. Bahan bakar *fossil diesel* diklasifikasikan menjadi tiga macam, yaitu *fossil diesel-1D*, yaitu bahan bakar untuk daerah beriklim dingin, *fossil diesel-2D*, yaitu bahan bakar untuk mesindiesel otomotif dan stasioner putaran menengah keatas serta *fossil diesel-4D*, yaitu bahan bakar untuk mesin diesel stasioner putaran rendah.

### 2.5.2 Bahan bakar gas

(Santoso A.B, 2013). Bahan bakar gas yang digunakan adalah *compressed natural gas* (CNG), dimana sebagian besar unsur kimianya terdiri dari methane ( $CH_4$ ) dan sisanya berupa methane, propane, butane, pentana, dan carbon monoxide. Komposisi dan karakteristik dari gas akan sangat bervariasi dari satu sumber dengan sumber lainnya, dimana hal ini mempengaruhi kondisi stoikiometrinya. Compressed natural gas memiliki beberapa kekurangan, yakni fasenya dalam temperatur ruangan sehingga akan menyulitkan dalam hal penyimpanan dan mobilitas. Selain itu, natural gas memiliki energi persatuan volume (energy density) yang lebih kecil dibandingkan solar, methanol, gasoline, atau bahan bakar hidrokarbon cair lainnya.

Gas alam terkompresi (*compressed natural gas*) adalah alternatif bahan bakar selain bensin atau solar. Di Indonesia, kita mengenal gas CNG sebagai bahan bakar gas (BBG). Bahan bakar ini lebih bersih bila dibandingkan dengan bahan bakar minyak karena emisi gas buangnya yang ramah lingkungan. Gas CNG dibuat dengan melakukan kompresi methane ( $CH_4$ ) yang diekstrak dari gas alam.

### 2.5.3 Efek jangka panjang biogas pada mesin

Meskipun sebagian besar gas penyusun biogas itu tidak berbahaya, terpaparnya komponen-komponen mesin oleh hidrogen sulfida ( $H_2S$ ) akan merugikan elemen-elemen mekanik mesin. Jika kita mengharapkan mesin tahan lama, maka  $H_2S$  harus dihilangkan dari gas (dengan cara dibuang). Komponen utama biogas lainnya, seperti uap air ( $H_2O$ ) dan karbon dioksida ( $CO_2$ ), tidak menyebabkan kerusakan yang tidak dapat diperbaiki pada mesin. Namun,  $CO_2$  merupakan salah satu unsur utama dalam gas yang dapat membuat pemantik menjadi tidak efisien. Uap air juga tidak berbahaya, tetapi jika mengembun setelah digunakan dan dibiarkan begitu saja dalam jangka waktu yang lama, oksida besi (karat) akan terbentuk pada komponen silinder. (khudhori, 2012).

#### 2.5.4 Analisis Teoritis Pembakaran Biogas

Komponen utama biogas adalah  $CH_4$ . Jika 1 kg  $CH_4$  dibakar sempurna, maka memerlukan udara sebanyak 17,2 kg atau dengan kata lain AFR (*air fuel ratio*) stoikiometri dari campuran  $CH_4$  dan udara adalah 17,2. Sedangkan perbandingan volume udara dengan volume  $CH_4$  supaya terbakar sempurna adalah 9,0.

Karena biogas utamanya terdiri dari  $CH_4$  dan  $CO_2$ , maka supaya terjadi pembakaran sempurna, jumlah udara yang diperlukan sangat tergantung dengan konsentrasi metana ( $CH_4$ ) dalam biogas. Semakin besar konsentrasi  $CH_4$  maka AFR stoikiometri juga semakin besar. Artinya diperlukan semakin banyak udara untuk terjadinya pembakaran sempurna jika konsentrasi  $CH_4$  dalam biogas meningkat. Besarnya volume udara yang diperlukan juga meningkat untuk konsentrasi  $CH_4$  dalam biogas yang semakin tinggi. Pada konsentrasi

CH<sub>4</sub> sebanyak 50%, maka nilai AFR stoikiometri adalah 4,6 dan nilai perbandingan volume udara terhadap volume biogas adalah 5,8.

#### 2.5.5 Keuntungan dan Kerugian bahan bakar alam dengan biogas.

(Panjaitan, 2013). Perbandingan unjuk kerja generator dilakukan terhadap bahan bakar bensin dan gas berdasarkan parameter-parameter listrik terukur dan konsumsi bahan bakar yang digunakan. Dalam eksperimen, dua tipe bahan bakar diujikan yaitu resistif dan resistif-induktif. Dengan mengoperasikan generator menggunakan dua bahan bakar bensin dan gas, keduanya memiliki dua faktor daya ( $\cos \phi$ ) lebih besar dari 0,8 untuk beban resistif-induktif dan memiliki hanya sedikit perbedaan pada tegangan operasi. Kekurangan bahan bakar gas adalah frekuensi listrik yang nilainya di bawah standar yaitu 50 Hz. Pada skala eksperimen lab, konsumsi bensin meningkat proporsional dengan peningkatan beban, sementara itu konsumsi gas meningkat dengan rata-rata 100 gram per 15 menit operasi pada beban yang diuji. Keuntungan utama menggunakan bahan bakar gas. Jika dibandingkan dengan bensin adalah emisi gas yang bersih setelah pembakaran.

#### 2.5.6 Unjuk Kerja Motor Bakar

(Suyitno, 2009). Parameter penting yang berpengaruh pada unjuk kerja motor bakar adalah sebagai berikut :

- a. Torsi dan Daya Poros. Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja. Dalam prakteknya, torsi dari mesin berguna untuk mengatasi hambatan sewaktu kendaraan jalan menanjak, atau waktu mempercepat laju kendaraan (otomotif).

b. Tekanan Efektif Rata-Rata =  $P_e$  (*Brake Mean Effective Pressure* =  $b_{mep}$ ).

Tekanan efektif rata-rata didefinisikan sebagai tekanan teoritis (konstan), yang apabila mendorong torak sepanjang langkah kerja dari motor dapat menghasilkan tenaga (tenaga poros).

a. Data hasil pengujian generator listrik tenaga premium.

1. Bahan Bakar : Premium.

2. *Throttle* : 100 %

Tabel 2.4 Hasil Pengujian Generator Listrik Tenaga Premium. Sumber: Winrock Internasional 2015.

No	Putaran poros engkol (rpm)	Variasi pembebanan (Watt)
1	3811	0
2	3778	5
3	3750	10
4	3725	15
5	3695	20
6	3611	25
7	3609	30
8	3600	35
9	3590	40
10	3578	45
11	3550	50
12	3545	55
13	3495	60
14	3490	65
15	3475	70
16	3400	75

b. Data hasil pengujian generator listrik tenaga biogas.

1. Bahan Bakar : biogas.

2. *Throtle*: 100 %

Tabel 2.5. Hasil Pengujian Generator Listrik Tenaga Biogas. Sumber: Winrock Internasional 2015

No	Putaran Poros engkol (rpm)	Variasi pembebanan (Watt)
1	3500	0
2	3447	5
3	3250	10
4	3100	15
5	2910	20
6	2850	25
7	2700	30
8	2550	35
9	2447	40
10	2280	45
11	2100	50
12	1985	55
13	1889	60
14	1830	65
15	1810	70
16	1789	75

Tabel 2.6 Data hasil perhitungan Torsi dan Tekanan Efektif rata-rata Generator listrik tenaga *Premium*. Sumber: *Winrock Internasional 2015*.

No	Variasi pembebanan (Watt)	Putaran poros engkol (rpm)	Torsi ( $Nm \times 10^{-4}$ )	Tekanan efektif rata-rata ( $Pa \times 10^{-3}$ )
1	0	3811	0,00	0,00
2	5	3778	2,11	6,30
3	10	3750	4,35	12,70
4	15	3725	6,41	19,18
5	20	3695	8,62	25,77
6	25	3611	11,02	32,97
7	30	3609	13,24	39,58
8	35	3600	15,48	46,30
9	40	3590	17,74	53,06
10	45	3579	20,03	58,89
11	50	3550	22,43	67,07
12	55	3545	24,71	73,88
13	60	3495	27,34	81,75
14	65	3490	29,66	88,69
15	70	3475	32,08	95,92
16	75	3400	35,13	105,04

## 2.6. Menghitung Potensi Energi Terbarukan

Tabel 2.7. Menghitung Potensi Energi Terbarukan dari POME. Sumber: Winrock Internasional 2015.

Parametr	Unit	Keterangan
Jam Operasi	Jam/hari	Rata-rata jumlah oprasi pabrik dalam sehari
Hari Operasi	Hari/tahun	Rata-rata jumlah hari pabrik beroperasi dalam setahun
TBS Tahunan	Ton TBS/ tahunan	Jumlah TBS yang diproses dalam setahun
Rasio POME terhadap TBS	$m^3$ /ton TBS	Rasio volume POME yang dihasilkan per TBS yang diolah POME : TBS = $(m^3 \text{ POME}) / (\text{ton TBS})$
COD	Mg/l	COD limbah cair yang dianalisis dengan spektrofotometer

Perhitungan potensi pembangkitan energi dari biogas dapat dilakukan dengan menggunakan nilai dari beberapa parameter penting. **Tabel 2.7** menguraikan parameter *input* yang harus diidentifikasi oleh pabrik.

Perhitungan ini didasarkan pada beberapa asumsi parameter operasi. **Tabel 2.8** di bawah ini merinci asumsi tersebut.

Tabel 2.8 Asumsi dalam Menghitung Potensi Daya.Sumber: Winrock Internasional 2015.

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Keterangan
Rasio konversi $CH_4$ terhadap COD	$CH_4/ COD$	0,35	$Nm^3CH_4/kg$ $COD\ removed$	Volume metana yang dihasilkan per kg COD yang dihasilkan dari air limbah secara teoritis
Efisiensi COD $removal$	$COD_{eff}$	80-95	%	Persentase COD yang akan diubah menjadi metana
Nilai Energi Metana	$CH_{4ev}$	35,7	$Mj/m^3$	Kandungan energi metana
Rata-rata efesiensi kelistrikan	$Gen_{eff}$	38-42	5	Efisiensi $gas\ engine$ dalam mengkonversi nilai energi metana menjadi energi listrik

### 2.6.1. Rumus menghitung potensi pembangkit listrik

Berdasarkan karakteristik limbah cair PKS dan asumsi yang tercantum di atas, dapat dilakukan perhitungan potensi daya. Bagian berikut menunjukkan tahapan perhitungan dari persamaan berikut :

$$1. \text{ Bahan baku harian (ton TBS/hari)} = \frac{\text{TBS Olah Tahunan}}{\text{Hari operasi dalam setahun}}$$

$$2. \text{ Aliran limbah cair harian (m}^3\text{/ hari)} = \text{volume limbah cair harian} \times \text{rasio POME terhadap TBS}$$

$$\begin{aligned}
3. \text{ COD loading (kg COD/hari)} &= \text{COD} \times \text{Aliran limbah cair harian} \times \\
&\frac{\text{kg}}{1.000.000 \text{ mg}} \times \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} \\
4. \text{ Produksi CH}_4 \text{ (Nm}^3 \text{ CH}_4 \text{/hari)} &= \text{COD loading} \times \text{COD}_{eff} \times \text{CH}_4/\text{COD} \\
5. \text{ Kapasitas Pembangkit ( Mwe)} &= \frac{\text{Produksi CH}_4 \times \text{CH}_{4, ev} \times \text{Gen}_{eff}}{24 \times 60 \times 60}
\end{aligned}$$

Hasil perhitungan kapasitas pembangkitan daya berkaitan dengan potensi daya yang akan dihasilkan oleh *gas engine*. Untuk pabrik yang berencana menjual semua listrik ke jaringan, perhitungan rencana pendapatan dapat dilakukan dengan mengalikan kapasitas daya yang dihasilkan dengan 24 jam (mengubah Mwe ke MWh per hari) dan mengalikan hasilnya dengan tarif pembelian PLN (*feed-in-tariff*). Daya listrik yang dihasilkan pabrik akan berkurang dari jumlah yang dihitung karena ada potensi penghentian operasi untuk pemeliharaan dan gangguan mesin, maka dalam perhitungan digunakan faktor ketersediaan (*availability factor*). *Availability factor* umumnya berkisar antara 90% hingga 98% dikalikan dengan potensi jumlah listrik yang dihasilkan dari *gas engine*.

Hasil perhitungan kapasitas pembangkitan daya berkaitan dengan potensi daya yang akan dihasilkan oleh *gas engine*. Untuk pabrik yang berencana menjual semua listrik ke jaringan, perhitungan rencana pendapatan dapat dilakukan dengan mengalikan kapasitas daya yang dihasilkan dengan 24 jam (mengubah Mwe ke MWh per hari) dan mengalikan hasilnya dengan tarif pembelian PLN (*feed-in-tariff*). Daya listrik yang dihasilkan pabrik akan berkurang dari jumlah yang dihitung karena ada potensi penghentian operasi untuk pemeliharaan dan gangguan mesin, maka dalam perhitungan digunakan faktor ketersediaan

(*availability factor*). Availability factor umumnya berkisar antara 90% hingga 98% dikalikan dengan potensi jumlah listrik yang dihasilkan dari *gas engine*.

## 2.7 Persepsi Masyarakat terhadap Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Persepsi masyarakat terhadap pemanfaatan limbah cair pabrik minyak kelapa sawit sebagai produk yang lainnya mengungkapkan sebagian besar masyarakat yang berada di sekitar kawasan pabrik kelapa sawit PT Ukindo mengetahui dengan baik bahwa limbah cair yang merupakan hasil samping pengolahan kelapa sawit menjadi CPO sudah dimanfaatkan menjadi pupuk dan mengairisawah-sawah pada masyarakat di sekitar kawasan pabrik. Pada umumnya menyatakan bahwa limbah cair telah dimanfaatkan sebagai pupuk, terlebih lagi dengan menggunakan limbah cair pabrik minyak kelapa sawit sebagai bahan bakunya. Pada umumnya mereka hanya mengetahui biogas dengan bahan baku kotoran hewan, dikarenakan tingkat pendidikan penduduk yang masih sangat terbatas.

Tabel 2.6 Distribusi Responden (Anggota Masyarakat) tentang pendapatnya terhadap Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit jika Diaplikasikan menjadi sebagai Alternatif (Biogas) [Isna, 2009]

No.	Kriteria Pendapat Responden	Kategori (n=30)		
		Baik	Sedang	Kurang
	<b>Pengetahuan Responden</b>			
1	Memanfaatkan LC	28 (93,33%)	2 (6,67%)	0
2	Mengetahui Biogas	13 (43,33%)	0	17 (56,67%)
3	Manfaat Biogas	13 (43,33%)	10 (33,33%)	7 (23,33%)
	<b>Kemauan Responden</b>	<b>Setuju</b>		<b>Tidak Set</b>
4	Jika diaplikasikan	30 (100%)		0

Manfaat lain biogas yaitu untuk sebagai

bahanbakaralternatifbuatmemasakdanpembangkitenergilistrik,karenamerekaberpendapatd  
enganadanyabiogas ini  
akansangatmembantumerekauntukmencaribahanbakaralternatifbuat  
memasakdikarenakanmahalnyaminyaktanahmaupunlangkanyagas yang disediakanoleh  
pemerintah. Distribusi persepsi masyarakat tentang pemanfaatan limbah cairpabrik  
minyak kelapa sawit menjadi energi alternatif dapatdilihatpadaTabel2.9.

## 2.8 Data dan Rumus Potensi pembangkit listrik (daya).

Desain biogas tergantung perhitungan potensi biogas yang dihasilkan.  
Untuk perhitungan ini dapat didasarkan pada jumlah COD di limbah POME dari  
PT.UKINDO.

Untuk menghitung potensi tersebut adalah sebagai berikut:

Dimana:

POME per air = 1.000 kg/jam

COD POME (CP) = 62.000 mg/l = 0,062 kg/l

$CH_4 = 0,35m^3$

Nilai Kalor(NK) = 8900kkal/ $m^3$

Watt thermal = 1Kkal = 1,163 Watt/kkal

Efesiensi gas engine = 35%

Total produksi POME:

$$\text{POME} = 55\% \times \text{Kapasitas olahan} \left( \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \right) \dots \dots \dots (6)$$

$$\left( \frac{\text{ton pome}}{\text{jam}} \right)$$

Kandungan COD dalam POME:

$$\text{COD POME} = 0,062 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \times \text{POME} \frac{\text{l}}{\text{jam}} \dots \dots \dots (7)$$

$$\frac{\text{kgCOD}}{\text{jam}}$$

Perhitungan reaksi kimia:

$$\text{CH}_4 = 0,35 \frac{\text{m}^3}{\text{kgCOD}} \text{COD POME} \frac{\text{kgCOD}}{\text{jam}} \dots \dots \dots (8)$$

$$\frac{\text{m}^3 \text{CH}_4}{\text{jam}}$$

Nilai kalor  $\text{CH}_4$ :

$$\text{Total Kalori} = \text{Nilai Kalori} \frac{\text{kkal}}{\text{m}^3} \times \text{total} \frac{\text{CH}_4 \text{ m}^3}{\text{jam}} \dots \dots \dots (9)$$

$$\frac{\text{kkal}}{\text{jam}}$$

Konversi energi dalam Watt:

$$\text{Energi} = \text{Total Kalori} \frac{\text{kkal}}{\text{jam}} \times 1,163 \frac{\text{Watt}}{\text{kkal}} \dots \dots \dots (10)$$

Watt

Asumsi efisiensi engine gas:

Potensi listrik = energi kalor  $\times$  efisiensi (35%).....(11)

= (kWh)

Kw

Dengan demikian, potensi energi listrik dari konversi limbah biogas yang dapat dibangkitkan di PKS UKINDO.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Waktu penelitian dilakukan setelah di desetujui sejak tanggal pengesahan judul usulan tugas akhir dan berkas seminar proposal oleh pihak jurusan Fakultas teknik Mesin Universitas Medan Area sampai dinyatakan selesai (tabel 3.1) dan tempat penelitian adalah PT. UKINDO BLANKAHAN OIL MILL POMEKuala Langkat.

**Tabel 3.1** Jadwal pelaksanaan penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Minggu)							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	Penelusuran literatur, penulisan proposal dan pemeriksaan kesedian alat, bahan	■	■						
2	Pengajuan proposal			■					
3	Revisi proposal			■					
4	Persiapan dan set up penelitian				■				
5	Pengujian dan pengukuran				■				
6	Pengolahan dan analisis data					■			
7	Kesimpulan dan penyusunan Laporan						■		
8	Penyerahan laporan							■	

#### 3.2 Bahan dan Alat

1. Bahan adalah POME ( limbah cair kelapa sawit)
2. Alat adalah cooling tower, kolam penampung POME ( limbah cair kelapa sawit), Raw effluent feed tank ( tangki penampungan limbah mentah), Digester tank ( gas metana  $CH_4$ ), covered lagoon compartment 1,

covered lagoon compartment 2, covered lagoon compartment 3, solid removal tank (tangki zat padat limbah), scrubber (tangki gas clean / gas bersih  $H_2S$ ), PTU (ruangan untuk mengendalikan gas bersih masuk ke mesin chiller/ pendingin, mesin chiller, dan flare (flaring) jika terjadi gas yang berlebihan maka gas tersebut akan dibakar oleh alat flare.

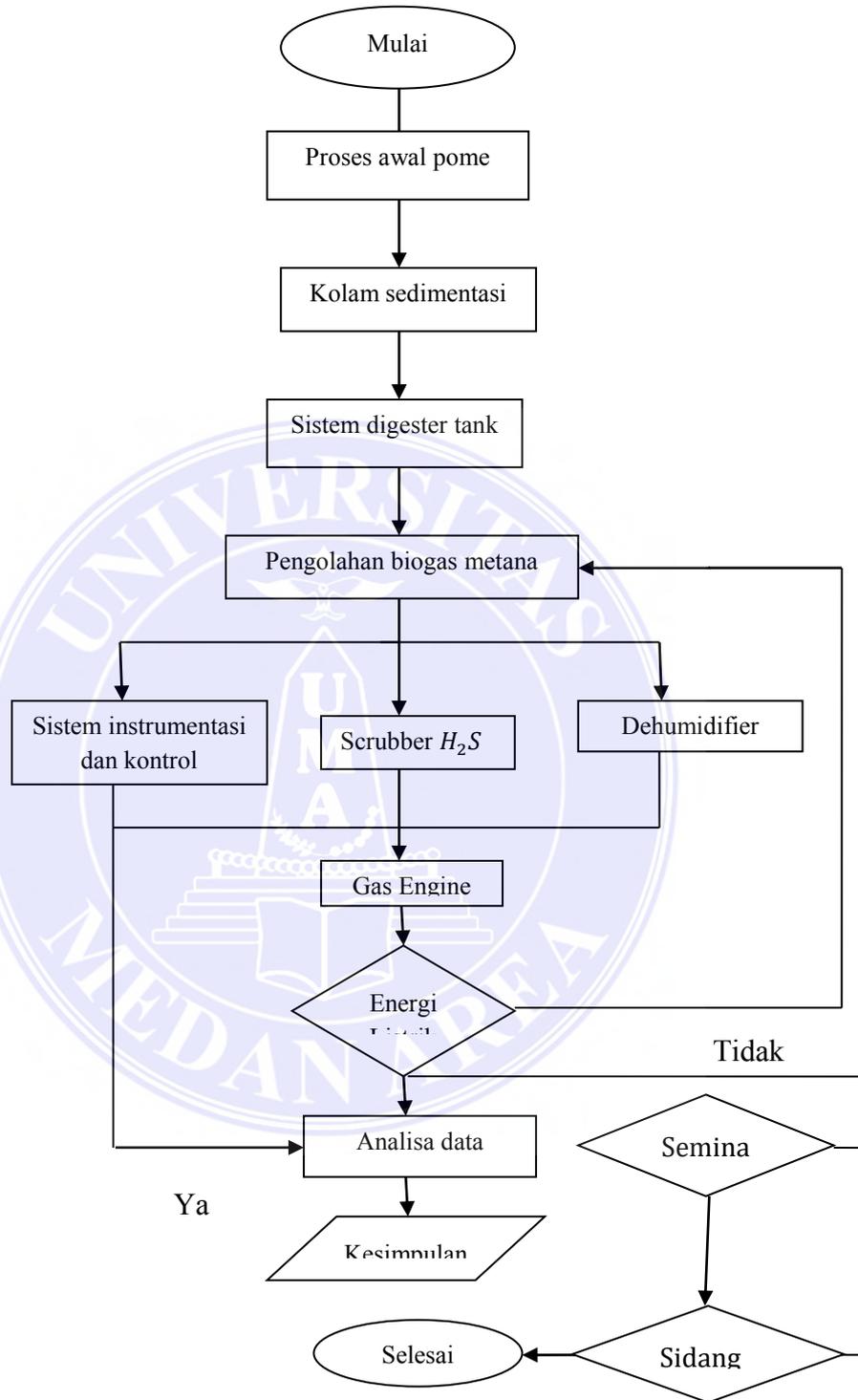
### **3.3 Metode Penelitian**

Limbah yang keluar dari pipa masuk ke bak penampungan limbah di tiup oleh coling tower agar udara panas pada limbah berkurang, setelah suhu limbah mendingin limbah akan dipompa oleh Raw effluent feed masuk ke Digester Tank. Limbah yang masuk ke Digester Tank akan menguap dan menghasilkan gas metana, Apabila gas metana berlebih akan di alirkan ke covered lagoon ment 1, 2 dan 3. lalu gas clean (bersih) akan ditampung di tangki scrubber, dengan temperatur gas 40-50°C, gas tersebut dinginkan oleh mesin chiller sebelum disuplay ke gas engine temperatur gas menjadi 8°C. Kebutuhan gas untuk pabrik berbeda-beda setiap harinya. Jika ada gas yang berlebih, gas tersebut akan dibakar oleh alat flaring (flare). Gas akan di alirkan ke engine gas di saat engine gas membutuhkan bahan bakar gas melalui tekanan mixer gas.

### **3.4 Prosedur Penelitian**

Dalam penelitian kali ini prosedur yang dilakukan hanya meneliti dengan cara pengolahan data saja. Dikarenakan penelitian ini berhubungan dengan IPAL (instalasi pengolahan air limbah). Di tempat penelitian hanya mencatat proses awal sampai akhir pembakaran terjadi yang menghasilkan data untuk dikelola dalam tulisan tugas akhir ini.

### 3.5 Diagram Alir



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

### 3.6 Penjelasan diagram alir.

Proses pengolahan awal yaitu POME yang di hasilkan dari pabrik kelapa sawit akan di alirkan ke kolam sidimentesi untuk mengondisikan POME mencapai nilai-nilai parameter yang di butuhkan ke digester.dilakukan penyaringan untuk menghilangkan kotoran agar mencapai pH yang optimal.dan selanjutnya POME akan di turunkan suhu nya menjadi 40<sup>0</sup>-50<sup>0</sup>C. Lalu POME akan dialirkan ke sistem digester, dan sistem ini akan mengubah POME menjadi biogas dengan cara anaerobik. Digester harus dirncacang edap udara dan air ,dan digester dapat di buat dalam bentuk dan ukuran dari berbagai bahan. ukuran digester di tentukan berdasarkan laju aliran POME ,beban COD dan HRT untuk penguraian yang optimal.

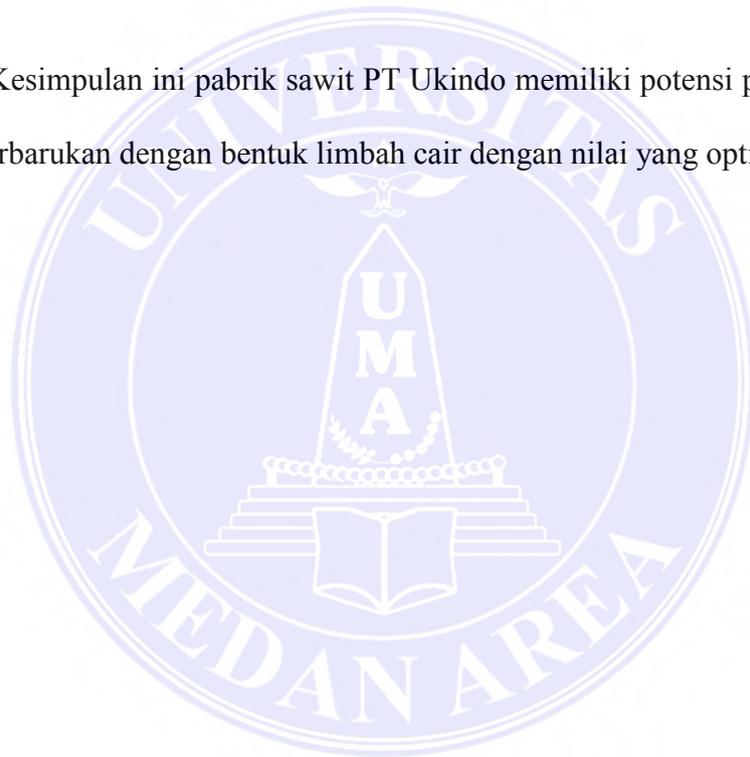
Scrubber  $H_2S$  ini suatu tempat penyimpanan biogas yang akan menghasilkan daya listrik ke gas engine.scrubber di gunakan untuk menurunkan konsentrasi  $H_2S$  ke tingkat yang di syaratkan oleh engine gas di babah 200 ppm untuk mencegah korosi,untuk mengoptimalkan oprasi dan memperpancan umur gas engine. Sebelum gas engine di alirkan ke engine gas akan ada pengurangan kadar air di DEHUMIDIFIER .

Dehumidifier ini berfungsi untuk mengurangi kadar air yang ada di dalam biogas agar memebantu mengoptimalkan proses pembakaran pada mesin,mecegah pengembunan,dan melindungi mesin dari pembentukan asam.biogas yang berkualitas tinggi dengan kelembapan relatif di bawah 80% meningkatkan efesiensi mesin dan mengurangi komsumsi bahan bakar. Sistem intrumenasi dan kontrol berfungsi untuk mengatur daya listrik yang di perlukan.

Gas engine iniberfungsi untuk menghasil kan energi listrik yang bahan bakar nya memerlukan biogas dengan kadar air di bawah 80% dan konsentrasi  $H_2S$  Skruag dari 200 ppm. Gas engine mengubah energi terkandung menjadi energi mekanik untuk penggerak generator yang menghasilkan listrik dan biasanya gas engine memiliki efesiensi antara 36-42%.

Dalam analisa data ini pome yang di hasilkan untuk mengubah menjadi biogas untuk mengasilkan listrik dapat di hitung melalui rumus biogas.

Kesimpulan ini pabrik sawit PT Ukindo memiliki potensi penghasil energi listrik terbarukan dengan bentuk limbah cair dengan nilai yang optimal.



## DAFTAR PUSTAKA

- Singuda ensikom(2016),Biogas; sumber energi listrik.
- Panji(2013), Ahamd A,L(2005), Biogas;limbah cair pabrik kelapa sawit oleh mikroorganisme dalam kondisi aneorobik.
- Ditjen dan pemanfaatan energi2001;ZREU,2002,
- Anonymous (2011), P embangkit tenaga listrik biogas.
- Deublein dan steinhauster ,(2008 ) Konversi POME menjadi biogas.
- Iqbal (2008) , Nilai kalor biogas.
- thani (1999) dalam jini A.G.M(2006), chemical oksigen demand(COD),biological oksigen demand(BOD).
- Febijanto (2010) Pengolahan kandungan BOD(biochemical oxygen demand)dan COD(Chemical oxygen demand).
- Iasrose(2010),Clean and efficent Biomassa Cogeneration Tecnologyin Asean.
- Winrock internasioanal (2015), Melisa,(2012), Flame temperatures.
- Khudhori (2012),nugraha S.A(2011), genset berhahan bakar hybrid(biogas-bensin).
- Mitzlaff (2000), Alseadi,teodorita,et.al. 2008, engine for biogas, GTZ Afrika.
- .Pulkrabek (2014),Engenering fundamental of the internal combustion.
- Santoso A.B, (2013) Proses gasifikas bahan bakar gas dan alam.
- Herringshaw (2009),Sistem biodigester dan kolam sidementasi.
- Hedratno (2005), compressed natural gas.
- diklat PLN (2006) , Panjaitan(2013),Unjuk kerja generator biogas.
- Sunytno(2009),Unjuk kerja motor bakar.
- PT.Ukindo estate kab langkat.