



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian terkait

Pemanfaatan limbah cair kelapa sawit (POME) menjadi biogas sudah mulai dikembangkan di Indonesia. Beberapa penelitian sudah dilakukan mengenai pengembangan energi terbarukan tersebut diantaranya dapat dilihat dari penelitian-penelitian dibawah ini.

Widarti, N.B., dkk. (2015), dalam judul penelitian degradasi COD dari pabrik kelapa sawit dalam proses pembentukan biogas menjelaskan penurunan COD yang tinggi dapat dilakukan dengan melakukan pengolahan secara anaerob yang akan dihasilkan biogas. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar degradasi COD dari limbah cair pabrik kelapa sawit dalam proses anaerob untuk menghasilkan metana. Metode yang digunakan adalah analisis bahan baku menggunakan *digester* 19 liter dengan memasukkan limbah cair kelapa sawit untuk menganalisis COD, pH dan volume gas. Hasil dan kesimpulan di peroleh bahwa nilai pH 6 pada *digester* mampu menghasilkan metana.

Siahaan, Pryandi., dkk. (2013) pada penelitian yang berjudul pengujian performansi generator pembangkit listrik tenaga biogas dari limbah cair pabrik kelapa sawit menjelaskan bahwa biogas berpotensi dijadikan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui performansi generator pembangkit listrik tenaga biogas di LP3M USU. Terdapat beberapa pengujian performansi yang dilakukan antara lain pengujian karakteristik daya, pengujian karakteristik *Spesific Fuel Consumption* (SFC) dan pengujian karakteristik emisi gas buang. Hasil pengujian performansi diketahui bahwa tegangan dan frekuensi yang dihasilkan generator hanya mencapai 215 V dan 35 Hz dikarenakan putaran yang dihasilkan motor hanya sebesar 1000-1100 rpm dan kecil dari 1500 rpm sehingga belum sesuai dengan nilai standar.

Irvan, dkk. (2012), dengan penelitian yang diberi judul pembuatan biogas dari berbagai limbah cair pabrik kelapa sawit menjelaskan bahwa limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) dapat dimanfaatkan menjadi biogas. Penelitian ini bertujuan untuk memproduksi biogas dari limbah cair yang diperoleh dari berbagai pabrik kelapa sawit (PKS), diantaranya PKS Rambutan, PKS Pagar Merbau dan PKS Sisirau sehingga



diperoleh informasi limbah cair dari PKS mana yang memiliki potensi paling besar untuk digunakan sebagai bahan baku. Penelitian ini menggunakan metode analisis bahan baku yaitu dilakukan pada skala laboratorium menggunakan tangki fermentor tipe *continuous stirred tank reactor* (CSTR) dengan volume 2 liter untuk menghitung variable-variabel yang diamati. Hasil dan kesimpulan yang di peroleh antara lain PKS Sisirau menghasilkan biogas terbanyak dibandingkan PKS Rambutan dan PKS Pagar Merbau.

Febijanto, Irhan. (2010), dengan penelitian yang berjudul potensi penangkapan gas metana dan pemanfaatannya sebagai bahan bakar pembangkit listrik di PTPN VI Jambi. Penelitian ini menjelaskan halangan ekonomi menjadi masalah besar dalam pemanfaatan limbah cair PKS. Tujuan dari penelitian ini antara lain menghitung potensi pengurangan Gas Rumah Kaca dari gas metana di PKS PT. Perkebunan Nusantara VI. Metodologi yang digunakan “*recovery* metana di dalam pengolahan limbah menggunakan AMS-III.H versi 13 (*approved methodology*) dan AMS-1.D mengenai “pembangkitan energi listrik terbarukan yang terkoneksi dengan jaringan *grid*”. Kesimpulan dari studi ini antara lain pemanfaatan limbah cair menjadi gas metana di PKS PTPN VI yang merupakan salah satu upaya untuk mengurangi GRK dan merupakan usaha diversifikasi energi sebagai bahan bakar pengganti fosil sehingga dapat memberikan keuntungan dari penjualan karbon kredit ke para pembeli CER dan penjualan listrik ke PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara).

Harahap, M.F. (2009), menjelaskan salah satu sumber energi yang dapat digunakan untuk mencukupi kebutuhan listrik adalah biogas. Penelitian ini membahas mengenai prarancangan pabrik pembuatan biogas dari limbah cair kelapa sawit sebagai sumber energi listrik dengan kapasitas 237.600 MWh/tahun. Metode yang digunakan yaitu analisis bahan baku melalui reaksi fermentasi di dalam reaktor tangki berpengaduk untuk mengetahui uji kelayakan bahan baku. Kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisa aspek ekonomi bahwa pembuatan biogas dari limbah cair kelapa sawit sebagai sumber energi listrik layak untuk didirikan.

Berdasarkan penelitian-penelitian diatas, yang menjadi kelebihan dari penelitian ini terdapat pada perhitungan potensi energi listrik yaitu menggunakan beberapa parameter input dari limbah cair kelapa sawit (POME) seperti jam operasi, hari operasi, TBS tahunan, rasio POME terhadap TBS dan COD. Perbedaan dengan penelitian lain terdapat juga pada perhitungan pengurangan emisi GRK dari POME yang dihitung berdasarkan akibat pengganti/substitusi bahan bakar fosil dan akibat pembakaran gas metana.



## 2.2 Pengertian Biogas

Biogas adalah campuran beberapa gas yang merupakan hasil fermentasi dari bahan organik dalam kondisi anaerobik, yang terdiri dari campuran metana (50-75%), CO<sub>2</sub> (24-45%), dan sejumlah kecil H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>S (Hambali dkk, 2007). Biogas terbentuk ketika mikroorganisme, khususnya bakteri menurunkan kadar zat organik pada kondisi anaerob (tanpa oksigen). Kandungan utama dalam biogas adalah metana dan karbon dioksida. Berikut komposisi biogas yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Komposisi Biogas

Unsur	Rumus	Konsentrasi (%Volume)
Metana	CH <sub>4</sub>	50-75
Karbon dioksida	CO <sub>2</sub>	24-45
Uap air	H <sub>2</sub> O	2-7
Oksigen	O <sub>2</sub>	< 2
Nitrogen	N <sub>2</sub>	< 2
Hidrogen sulfida	H <sub>2</sub> S	< 2
Amonia	NH <sub>3</sub>	< 1
Hidrogen	H <sub>2</sub>	< 1

(Sumber : Rahayu, 2015)

Biogas adalah gas campuran yang mudah terbakar yang lebih ringan sekitar 20% dibandingkan udara dan memiliki temperatur nyala antara 650°C sampai 750°C. Biogas merupakan gas yang tidak berbau dan tidak berwarna yang terbakar dengan bara biru yang serupa dengan *liquefied petroleum gas* (LPG). Biogas terbakar dengan efisiensi 60% dalam tungku biogas konvensional dimana biogas sendiri memiliki nilai kalori 20 MJ/Nm<sup>3</sup>. Nilai kalori dari 1 m<sup>3</sup> biogas sekitar 6000 watt jam, setara dengan setengah liter minyak diesel. Oleh karena itu biogas sangat cocok untuk menggantikan minyak tanah, LPG, butana, batu bara dan bahan bakar fosil lainnya. Sementara itu, volume biogas dinyatakan dalam satuan normal meter kubik (Nm<sup>3</sup>) yaitu volume gas pada suhu 0°C dan tekanan atmosfer. Biogas

bisa digunakan untuk berbagai tujuan pemanasan, mulai dari memasak hingga sebagai bahan bakar untuk mesin di industri. Didalam biogas *engine*, biogas diubah kandungan energinya menjadi listrik dan panas. Biogas yang dikompresi dapat dijadikan bahan bakar untuk kendaraan bermotor melalui pembakaran di mesin, namun penggunaannya masih terbatas. Proses produksi biogas memanfaatkan kemampuan alami mikroorganisme untuk menguraikan limbah organik. Proses penguraian menghasilkan biogas dan residu kaya nutrisi yang cocok untuk digunakan sebagai pupuk. Limbah organik berfungsi sebagai substrat atau media tumbuh organisme. Gambar 2.1 berikut menunjukkan konversi biologis anaerobik dari berbagai substrat.



Gambar 2.1. Substrat dan Produk dalam Sebuah Proses Konversi Biologis Anaerobik

(Sumber : Rahayu, 2015)

Biogas yang dihasilkan oleh aktivitas anaerobik sangat populer digunakan untuk mengolah limbah *biodegradable* karena bahan bakar dapat dihasilkan sambil mengurai dan sekaligus mengurangi volume limbah buangan. Metana dalam biogas, bila terbakar akan relatif lebih bersih daripada batu bara, dan menghasilkan energi yang lebih besar dengan emisi karbon dioksida yang lebih sedikit. Pemanfaatan biogas memegang peranan penting dalam manajemen limbah karena metana merupakan gas rumah kaca (GRK) yang lebih berbahaya dalam pemanasan global bila dibandingkan dengan karbon dioksida. Karbon dalam biogas merupakan karbon yang diambil dari atmosfer oleh fotosintesis tanaman, sehingga bila dilepaskan lagi ke atmosfer tidak akan menambah jumlah karbon di atmosfer bila dibandingkan dengan pembakaran bahan bakar fosil.



## 2.3 Proses Pembentukan Biogas

Proses pembentukan biogas, terjadi dalam dua tahap yaitu penyiapan bahan baku dan proses penguraian anaerobik oleh mikroorganisme untuk menghasilkan gas metana.

### 2.3.1 Bahan Baku

Setiap zat organik yang bisa didegradasi secara biologis dapat berfungsi sebagai bahan untuk menghasilkan biogas. Meskipun begitu, ada beberapa bahan yang dapat menjadi sumber biogas yang lebih baik secara ekonomis maupun teknis. Bahan yang mahal mengurangi manfaat ekonomis. Salah satu daya tarik utama dari teknologi biogas adalah kemampuannya dalam menghasilkan biogas dari limbah organik yang jumlahnya melimpah dan relatif murah seperti POME. Limbah cair kelapa sawit atau POME dihasilkan dari pengolahan tandan buah segar (TBS) kelapa sawit untuk produksi minyak kelapa sawit. Pabrik kelapa sawit menghasilkan 0,7-1 m<sup>3</sup> POME untuk setiap ton tandan buah segar yang diolah. POME yang baru dihasilkan umumnya panas (suhu 60°-80°C), bersifat asam (pH 3,3-4,6), kental, berwarna kecoklatan dengan kandungan padatan, minyak dan lemak, *chemical oxygen demand* (COD) dan *biological oxygen demand* (BOD) yang tinggi. POME mengandung sejumlah besar nitrogen, fosfat, kalium, magnesium, dan kalsium, sehingga dapat digunakan sebagai pupuk yang baik untuk perkebunan kelapa sawit. Secara ekonomis, baik biogas maupun limbah akhir yang dihasilkan dari proses degradasi dapat diolah dan dimanfaatkan (Rahayu, 2015).

Sebagai pembangkit tenaga listrik, energi yang dihasilkan oleh biogas setara dengan 60 - 100 watt lampu selama 6 jam penerangan. Kesetaraan biogas dibandingkan dengan bahan bakar lain dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Nilai Kesetaraan Biogas dan Energi yang Dihasilkan

Aplikasi	1 m <sup>3</sup> biogas setara dengan
1 m <sup>3</sup> biogas	Elpiji 0,46 kg Minyak tanah 0,62 liter Minyak solar 0,52 liter Kayu bakar 3,50 kg

(Sumber : Waskito, 2011)



### 2.3.2 Proses Penguraian Anaerobik

Penguraian anaerobik berlangsung dalam beberapa tahapan antara lain sebagai berikut :

#### 1. Hidrolisis

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

#### 2. Asidogenesis

Selama fase asidogenesis, oksidasi anaerobik memanfaatkan gula, asam lemak rantai panjang, dan asam amino yang terbentuk dari proses hidrolisis sebagai substrat. Berbagai bakteri yang berbeda melakukan asidogenesis. Asidogenesis seringkali merupakan langkah tercepat untuk konversi zat organik kompleks selama penguraian dalam fase cair. Dalam *digester* anaerobik yang stabil, alur degradasi utama adalah melalui asetat, karbon dioksida dan hidrogen. Bakteri bereaksi terhadap peningkatan konsentrasi hidrogen pada cairan dengan memproduksi laktat, etanol, propionat, butirat, dan asam lemak volatil (VFA), yang digunakan oleh mikroorganisme metanogen sebagai substrat

#### 3. Asetogenesis

Pada tahapan asetogenesis, bakteri asetogenik yang memproduksi hidrogen mengkonversi asam lemak dan etanol atau alkohol menjadi asetat, karbon dioksida, dan hidrogen. Konversi lanjutan ini sangat penting bagi keberhasilan produksi biogas, karena metanogen tidak bisa menggunakan senyawa asam lemak dan etanol secara langsung. Asetogen tumbuh lambat dan bergantung pada tekanan parsial hidrogen yang rendah untuk degradasi asetonik yang menghasilkan energi. Asetogen sensitif terhadap perubahan lingkungan, mereka membutuhkan waktu yang lama untuk menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan baru.

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

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

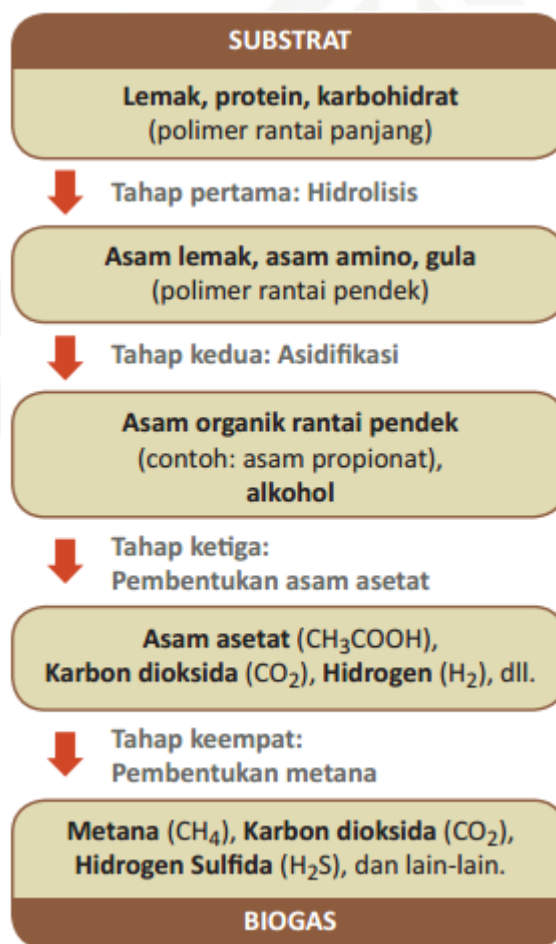
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

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

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

#### 4. Metanogenesis

Selama tahap metanogenesis, metana dibentuk melalui dua rute utama. Pada rute primer, fermentasi produk utama yang berasal dari tahap pembentukan asam yakni asam asetat diubah menjadi metana dan karbon dioksida. bakteri yang mengubah asam asetat adalah bakteri asetoklastik (atau asetofilik). Rute sekunder menggunakan hidrogen untuk mengurangi CO<sub>2</sub> untuk menghasilkan CH<sub>4</sub> dengan metanogen hidrogenofilik. Gambar 2.2 berikut menggambarkan proses penguraian ini lebih ringkasnya.



Gambar 2.2. Proses Penguraian Anaerobik

(Sumber : Rahayu, 2015)

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



### 2.3.3 Parameter pada Proses Penguraian Anaerobik

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

#### 1. Suhu

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

Sistem anaerobik harus memiliki kemampuan sistem penyangga yang memadai untuk mengimbangi produksi asam volatil dan karbon dioksida yang akan terlarut pada tekanan operasi. Untuk menghindari akumulasi asam volatil berlebih, harus terdapat basa (*alkalinity*) berlebih atau kemampuan untuk mengontrol pH. Zat kapur, natrium bikarbonat, dan natrium hidroksida, merupakan tiga sumber kimia utama alkalinitas, berperan sebagai sistem penyangga. Namun demikian, sebagian besar aplikasi POME terutama teknologi dalam kolam tertutup tidak memerlukan



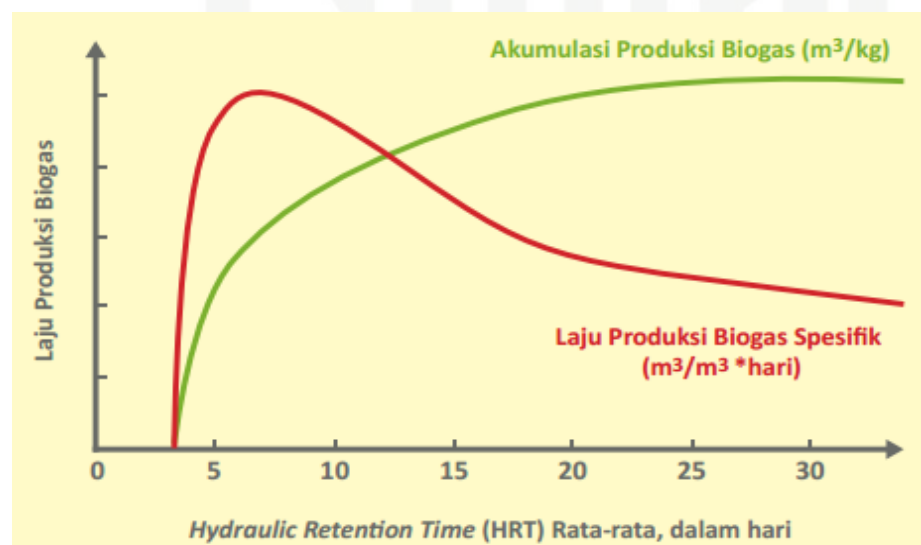
penambahan bahan kimia untuk menetralkan pH. Hal ini terjadi karena air limbah anaerobik mengandung penyangga alkalinitas dari bikarbonat ( $\text{HCO}_3$ ) sehingga resirkulasi air limbah ke tangki pencampuran POME dapat menjaga pH tetap netral.

### 3. Waktu yang dibutuhkan untuk Proses Pencernaan

Waktu yang dibutuhkan untuk proses pencernaan atau *Hydraulic Retention Time* (HRT) adalah lama waktu rata-rata suatu senyawa yang mudah larut untuk tetap berada di dalam *bio-digester*. HRT meliputi 70-80% dari total waktu pembentukan biogas secara keseluruhan. Umumnya, unit biogas komersil untuk POME memerlukan HRT yang terlalu singkat mengakibatkan proses degradasi tidak tuntas atau mendorong bakteri keluar dari *digester*.

$$HRT \text{ (hari)} = \frac{\text{volume Digester (m}^3\text{)}}{\text{Debit POME (m}^3\text{/hari)}}$$

Grafik di bawah ini menunjukkan proses anaerobik yang umum, dengan tahap metanogenesis terjadi pada hari ke 6-7 menghasilkan laju produksi gas yang tinggi.



Gambar 2.3. Hasil Biogas Terhadap HRT Rata-rata

(Sumber : Al saedi, 2008)

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

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

#### 5. Toksisitas

Dari semua jenis mikroorganisme dalam penguraian anaerobik, bakteri metanogen umumnya dianggap paling sensitif terhadap toksisitas. Toksisitas NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S dan VFA tergantung pada pH. Dalam kultur bakteri yang tidak dikondisikan, tingkat NH<sub>3</sub> sekitar 150 mg/l dapat menghambat pertumbuhan mikroba. Bakteri metanogen dapat menoleransi konsentrasi yang lebih tinggi, jika kultur tersebut telah melalui masa adaptasi. NH<sub>3</sub> menjadi racun pada tingkat pH lebih dari 7. H<sub>2</sub>S dan VFA beracun pada tingkat pH kurang dari 7. Konsentrasi H<sub>2</sub>S hingga 200 mg/l tidak menghambat pertumbuhan mikroba, tetapi dapat mengeluarkan bau menyengat yang berasal dari hidrogen sulfida. Bakteri metanogen juga sensitif terhadap oksigen. Pada kultur campuran di dalam *digester* anaerobik, bakteri anaerob fakultatif membentuk beberapa bakteri hidrolisis dan asidogenik yang mengkonsumsi oksigen yang ada dalam *digester*.

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

Bakteri menguraikan material organik pada limbah cair kelapa sawit (POME) secara alami, yang dalam prosesnya membutuhkan konsumsi sejumlah

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

## 7. Kelarutan Gas

Dalam proses anaerobik, gas terbentuk dalam fase cair dan cenderung lepas ke udara. Perpindahan fase cair menjadi gas sangat penting dalam proses penguraian anaerobik. Perpindahan fase cair menjadi gas ini akan dibatasi oleh parameter desain proses seperti luas area antarmuka cairan dan gas (*liquid gas interface*), kecepatan pengadukan, suhu cairan yang mempengaruhi viskositas dan tegangan permukaan. Biasanya laju pembentukan gas jauh lebih tinggi dari laju perubahan cairan menjadi gas sehingga menghasilkan konsentrasi gas yang tinggi dalam cairan. Konsentrasi berlebih gas tertentu seperti CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S dapat menyebabkan penurunan pH dan mempengaruhi proses biologis.

## 8. Pengadukan Bahan Organik

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 keseluruhan area *digester* dan mencegah penumpukan produk metabolisme berkonsentrasi tinggi yang dapat menghambat pembentukan bakteri metanogen. Pengadukan umumnya dilakukan dengan menggunakan pengaduk mekanis, yaitu pengadukan cairan dengan memasukkan POME melalui pipa distribusi, atau pengadukan dengan menggunakan biogas yang diresirkulasi.

### Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

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

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

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

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



### 2.3.4 Teknologi Penguraian Anaerobik

Terdapat beberapa teknologi yang digunakan untuk mengkonversi POME menjadi biogas, antara lain sebagai berikut :

#### 1. Kolam Tertutup (Anaerobik)

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

#### 2. *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR)

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

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

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

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

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

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

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau. Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Islam Sumatera Utara, Medan, Indonesia. Penulis: Prof. Dr. H. Harif Kasim Riau



### 3. Filter Anaerobik

Filter anaerobik menggunakan “*carrier*” yang terbuat dari plastik tempat mikroorganisme aktif melekat dan mencegah terdorong keluar dari sistem. Filter anaerobik dapat menghasilkan biogas yang berkualitas sangat tinggi dengan kandungan metana hingga 85%.

### 4. *Fluidized and Expanded Beds*

Pada *fluidized and expanded beds*, mikroorganisme menarik partikel-partikel kecil sehingga membentuk koloni. Sistem ini mempunyai aliran kuat ke atas yang menyebabkan partikel-partikel mengambang sehingga mikroorganisme melakukan kontak dengan substrat.

### 5. *Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)*

Reaktor *upflow anaerobic sludge blanket* memungkinkan mikroorganisme tumbuh secara berkelompok sehingga mikroorganisme tetap berada dalam reaktor meskipun arus substrat yang masuk cukup kuat. Sistem ini memompakan limbah masuk ke dalam reaktor dengan cukup kencang sehingga terjadi proses pengadukan dan terjadi kontak antara mikroorganisme dengan substrat.

### 6. *Expanded Granular Sludge Bed (EGSB)*

Reaktor *expanded granular sludge bed* mirip dengan reaktor UASB, tetapi dengan tingkat kecepatan aliran ke atas yang lebih tinggi untuk memungkinkan air limbah melewati tumpukan lumpur. Desain ini cocok untuk konsentrasi COD kurang dari 1 sampai 2 g COD/l atau untuk air limbah yang mengandung partikel tersuspensi yang tidak mudah terbiodegradasi.

Karena kandungan padatan dan minyak yang tinggi dalam limbah keluaran pabrik kelapa sawit, maka pengolahan menggunakan filter anaerobik, *fluidized bed*, UASB dan EGSB lebih sulit untuk dilakukan. Kandungan minyak dan padatan yang tinggi dalam POME harus dihilangkan terlebih dahulu sebelum masuk ke sistem tersebut, sehingga memerlukan fasilitas pengolahan awal yang lebih banyak. Konsekuensinya, sistem pengolahan limbah tersebut akan menghasilkan biogas yang lebih sedikit.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

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

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

Pabrik pengolahan kelapa sawit biasanya menggunakan CSTR atau kolam tertutup untuk mengkonversi POME menjadi biogas. Kedua teknologi penguraian anaerobik ini dapat menangani limbah dengan kandungan padatan dan minyak yang tinggi. Kedua teknologi juga relatif mudah dioperasikan dan dipelihara serta lebih ekonomis dibandingkan dengan sistem yang lain, sehingga cocok untuk agribisnis. Berdasarkan data operasional pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) dari POME di Indonesia dan Thailand menunjukkan bahwa hasil produksi energi dari teknologi kolam tertutup yang dirancang dengan baik juga tinggi dan sebanding dengan teknologi tangki dengan pengadukan lengkap. Oleh karena itu, teknologi kolam tertutup layak untuk diterapkan pada proyek biogas dari POME.

#### 2.4 Menghitung Potensi Energi Listrik

Perhitungan potensi pembangkitan energi dari biogas dapat dilakukan dengan menggunakan nilai dari beberapa parameter penting. Tabel 2.3 berikut menguraikan parameter input yang harus diidentifikasi.

Tabel 2.3. Menghitung Potensi Energi Listrik dari POME

Parameter	Unit	Keterangan
Jam operasi	Jam/hari	Rata-rata jumlah jam operasi pabrik dalam sehari
Hari operasi	Hari/tahun	Rata-rata jumlah hari pabrik beroperasi dalam setahun
TBS tahunan	ton TBS/tahun	Jumlah TBS yang diproses dalam setahun
Rasio POME terhadap TBS	m <sup>3</sup> /ton TBS	Rasio volume POME yang dihasilkan per TBS yang diolah $\text{POME} : \text{TBS} = (\text{m}^3 \text{ POME}) / (\text{ton TBS})$
COD	mg/l	COD limbah cair hasil analisis laboratorium

(Sumber : Rahayu, 2015)

Perhitungan ini didasarkan pada beberapa asumsi parameter operasi. Tabel 2.4 dibawah ini merinci asumsi tersebut.

Tabel 2.4. Asumsi dalam Menghitung Potensi Daya

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

(Sumber : Rahayu, 2015)

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

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

$$\text{Aliran limbah cair harian} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) = \text{Kapasitas olah} \times \frac{\text{jam operasi dalam setahun}}{\text{hari operasi dalam setahun}} \times \text{rasio POME terhadap TBS} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$COD\ loading \left( kg \frac{COD}{hari} \right)$$

$$= COD \times Aliran\ limbah\ cair\ harian \times \frac{kg}{1.000.000\ mg} \times \frac{1000l}{m^3} \dots \dots (2.3)$$

$$Produksi\ CH_4 \left( \frac{m^3\ CH_4}{hari} \right) = COD\ loading \times COD_{eff} \times \frac{CH_4}{COD} \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana :

$COD_{eff}$  : Nilai efisiensi penyisihan COD yang akan diubah menjadi metana adalah sebesar 90%, dimana nilai  $COD_{eff}$  90% merupakan nilai dengan produksi biogas tertinggi (Firdha, 2010).

$$Kapabilitas\ Pembangkitan\ (MW) = \frac{Produksi\ CH_4 \times CH_{4, ev} \times Gen_{eff}}{24 \times 60 \times 60} \dots \dots \dots (2.5)$$

dimana :

$Gen_{eff}$  : Nilai efisiensi dari gas engine diperoleh berdasarkan kapasitas gas engine dan ketersediaan barang dipasaran. Kapasitas pembangkit yang tersedia adalah gas engine 2 MW dengan efisiensi 41,2%. Pada penelitian ini diasumsikan kapasitas pembangkit sebesar 2 MW mengacu pada tabel 1.1 yaitu proyeksi potensi daya dari POME berdasarkan kapasitas PKS.

(Sumber : Rahayu, 2015)

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





## 2.5 Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)

Gas rumah kaca (GRK) merupakan gas-gas yang dapat memerangkap panas di atmosfer. Gas-gas ini dapat terbentuk secara alami, namun dapat juga terbentuk dari hasil aktivitas manusia seperti proses-proses industri. Yang termasuk gas rumah kaca utama dalam atmosfer bumi adalah uap air, karbon dioksida, metana, nitrogen oksida, dan ozon (Rahayu, 2015). Setiap gas rumah kaca memiliki efek pemanasan global yang berbeda. Potensi pemanasan global atau *global warming potensial* (GWP) adalah indeks yang memperkirakan efek pemanasan global masing-masing gas berdasarkan sifat perangkap panasnya. GWP membandingkan panas yang terperangkap oleh gas rumah kaca tertentu dengan jumlah panas yang terperangkap oleh massa yang sama dari karbon dioksida. Oleh karena itu GWP dari karbon dioksida adalah 1. Tabel 2.5 berikut menyajikan indeks GWP.

Tabel 2.5. Indeks *Global Warming Potential* (GWP) untuk Gas Rumah Kaca Umum

Senyawa	Rumus Kimia	<i>Global Warming Potential</i> (GWP) dalam rentang waktu			
		20 tahun	100 tahun	100 tahun	500 tahun
Karbon dioksida	CO <sub>2</sub>	1	1	1	1
Metana	CH <sub>4</sub>	72	21	25	7.6
Dinitrogen oksida	N <sub>2</sub> O	289	310	298	153

(Sumber : IPCC 2001 & IPCC 2007)

Tabel 2.5 di atas berdasarkan laporan tahun 2007 dari *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), sebuah organisasi di bawah Perserikatan Bangsa-Bangsa yang menarik konsensus dari para ahli di seluruh dunia tentang isu-isu perubahan iklim. Namun, sebagian besar perhitungan GRK menggunakan data dari laporan sebelumnya yang diterbitkan pada tahun 2001 dengan menggunakan rentang waktu 100 tahun. Berdasarkan data tahun 2001, 100 tahun GWP untuk metana adalah 21, yang berarti bahwa jumlah CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> yang sama masuk ke atmosfer, maka metana akan menjebak panas 21 kali lipat dibandingkan karbon dioksida dalam rentang waktu 100 tahun ke depan (Rahayu, 2015).

$$1 \text{ ton CH}_4 = 21 \text{ ton CO}_{2\text{-equivalent}} (\text{CO}_{2\text{eq}})$$

## 2.6 Perhitungan Potensi Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca

Pemanfaatan biogas sebagai pembangkit listrik merupakan salah satu alternatif dalam rangka mengganti/substitusi pembangkit listrik tenaga fosil. Selain sumber-sumber energi fosil yang semakin terbatas, pembangkit listrik tenaga fosil melepaskan CO<sub>2</sub> akibat dari pemanfaatan pembakaran energi fosil. CO<sub>2</sub> merupakan salah satu emisi penghasil gas rumah kaca. Penguraian bahan organik (kolam anaerobik) dalam waktu tertentu melepaskan CH<sub>4</sub> ke udara akibat dari proses fermentasi alami. CH<sub>4</sub> termasuk salah satu emisi penghasil gas rumah kaca selain CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> memiliki sifat polutan 21 kali jika dibandingkan dengan CO<sub>2</sub>. Berdasarkan hal tersebut pemanfaatan limbah cair kelapa sawit (POME) sebagai bahan baku biogas mempunyai kontribusi dua kali dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, yaitu :

1. Pengurangan emisi akibat mengganti/substitusi bahan bakar fosil
2. Pengurangan emisi akibat pembakaran gas metana

Keterangan :

1. Perhitungan pengurangan emisi akibat mengganti/substitusi bahan bakar fosil adalah sebagai berikut :

- a. Menghitung besarnya energi listrik pertahun yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga biogas. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} & \text{energi listrik per tahun (MWh)} \\ & = \text{kapasitas terpasang pembangkit (MW)} \\ & \quad \times \text{jam operasi pembangkit per tahun} \dots \dots \dots (2.6) \end{aligned}$$

- b. Menghitung emisi CO<sub>2</sub>, persamaan yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned} & \text{emisi CO}_2 \text{ (tCO}_2\text{)} \\ & = \text{energi listrik pertahun (MWh)} \times \text{emission factor} \left( \frac{\text{tCO}_2}{\text{MWh}} \right) \dots \dots \dots (2.7) \end{aligned}$$

dimana :

*Emission factor* : Nilai faktor emisi dari bahan bakar adalah 0,0002786 (tCO<sub>2</sub>/MWh-MFO).

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

© Hak Cipta dilindungi Undang-undang. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:



2. Perhitungan pengurangan emisi akibat pembakaran gas metana adalah sebagai berikut :
1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

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

- a. Menghitung besarnya gas metana (CH<sub>4</sub>) yang dihasilkan dari instalasi biogas.
 
$$\text{jumlah gas metana (m}^3\text{)} = \text{produksi gas metana yang dihasilkan} \dots \dots \dots (2.8)$$

- b. Menghitung besarnya gas metana (CH<sub>4</sub>) dalam satuan Kg gas.
 
$$\text{jumlah gas metana (Kg)} = \text{jumlah gas metana (m}^3\text{)} \times \text{massa jenis gas} \dots \dots \dots (2.9)$$

dimana :

massa jenis gas : Nilai massa jenis untuk gas metana (CH<sub>4</sub>) adalah 0,656 (kg/m<sup>3</sup>) (Sorensen, 2007)

- c. Menghitung gas metana (CH<sub>4</sub>) yang dikonversi menjadi CO<sub>2</sub>.

$$\text{emisi CO}_2\text{(tCO}_2\text{)} = (\text{jumlah gas metana (Kg)} \times \text{GWP CH}_4) \times 10^{-3} \dots \dots \dots (2.10)$$

dimana :

GWP CH<sub>4</sub> : (Global Warming Potential) CH<sub>4</sub> adalah 21

(Sumber : Waskito, 2011)

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