



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian tugas akhir ini akan dilakukan studi literatur yang merupakan pencarian referensi-referensi dari teori yang bersangkutan dengan judul, masalah penelitian, tujuan penelitian, dan metode. Teori-teori yang dibahas didapatkan mulai dari buku, jurnal maupun dari sumber-sumber lain yang relevan.

Studi perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBG) dari limbah cair Pabrik Kelapa Sawit (PKS) telah banyak dilakukan. Ada beberapa peneliti yang telah melakukan perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dari limbah cair pabrik kelapa sawit. Berikut, akan dijelaskan beberapa penelitian tentang perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBG).

Partogi, Dkk (2013), dalam penelitiannya yang membahas tentang Analisis Biaya Produksi Listrik Per Kwh Menggunakan Bahan Bakar Biogas Limbah Cair Kelapa Sawit (Aplikasi pada PLTBGS PKS Tandun). Metode yang digunakan adalah menganalisis biaya untuk memproduksi listrik per kWh dengan pembangkit tenaga listrik yang menggunakan biogas limbah cair kelapa sawit sebagai bahan bakar, dengan memperhitungkan biaya modal, biaya bahan bakar serta biaya operasional dan perawatan. Hasil yang didapatkan adalah biaya produksi listrik per kWh berdasarkan suku bunga 6%, 9%, 12% adalah Rp 569,13/kWh, Rp 659,34/kWh, Rp 770,89/kWh dan biaya produksi listrik per kWh tanpa memperhitungkan biaya pengembalian modal adalah Rp 250/kWh.

Menurut Penelitian Wibowo (2015) yang membahas tentang Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Berbasis Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Studi Kasus PKS PT. Intan Sejati Andalan Riau. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah melakukan pengujian laboratorium untuk mendapatkan kadar organik yang terkandung dalam limbah cair di PKS ISA, kemudian melakukan perhitungan daya listrik yang dapat dibangkitkan di PKS ISA dengan melihat fluktuasi produksi dan proyeksi di masa depan. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa ISA POM memiliki kinerja yang sangat baik, dengan kapasitas terpasang 60 ton TBS / jam dan ketersediaan tanaman lebih dari 99%. Rata-rata POME aliran 22,55 m³ / jam dengan 33-45 °C suhu. dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa potensi dari pemanfaatan pome dapat menghasilkan daya yang cukup untuk memenuhi kebutuhan energi di PKS.



Menurut Syafrizal (2015) dalam penelitiannya tentang *Small Renewable Energy* Biogas Limbah Cair (Pome) Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Tipe Covered Lagoon Solusi Alternatif Defisit Listrik Provinsi Riau. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menghitung total kapasitas produksi pabrik kelapa sawit wilayah Provinsi Riau, limbah padat dan cair berupa biogas CH₄ (Metana) yang dihasilkan yang dapat diolah menjadi energi listrik alternatif. Hasil yang didapatkan berupa energi listrik yang mampu dibangkitkan 434.54 MW, dengan produksi energi listrik 2.476.849.990 kWh/tahun, potensi penjualan listrik Rp. 2,414,928,740,015.87/thn. Defisit listrik 134,4 MW, sedangkan potensi energi listrik dari POME 434,54 MW, masih surplus 300,14 MW, dan bila dijumlahkan antara kapasitas daya 316,3 MW + 434,54 MW = 750,84 MW, lebih dari cukup untuk kebutuhan listrik Provinsi Riau hingga tahun 2016 hanya 701 MW.

Mengacu pada penelitian sebelumnya yang hanya menghitung potensi dari POME untuk di ubah menjadi sumber energi (Syafrizal. 2015, dan Wibowo. 2015) dan menghitung harga listrik perKWH yang dihasilkan dari pembangkit PLTBG (Partogi, Dkk 2013). Maka, peneliti menentukan judul penelitian yang akan dilakukan adalah perancangan pembangkit listrik tenaga biogas berbasis limbah cair kelapa sawit (POME) di PT. Sumber Sawit Sejahera Kabupaten Pelalawan. Penelitian bertujuan untuk melihat hasil perancangan pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBG) yang di lengkapi analisa ekonomi yang di perkuat dengan menggunakan *Retscteen* sebagai software pendukung, dan perencanaan pembangunan PLTBG di lakukan pada tahun 2020.

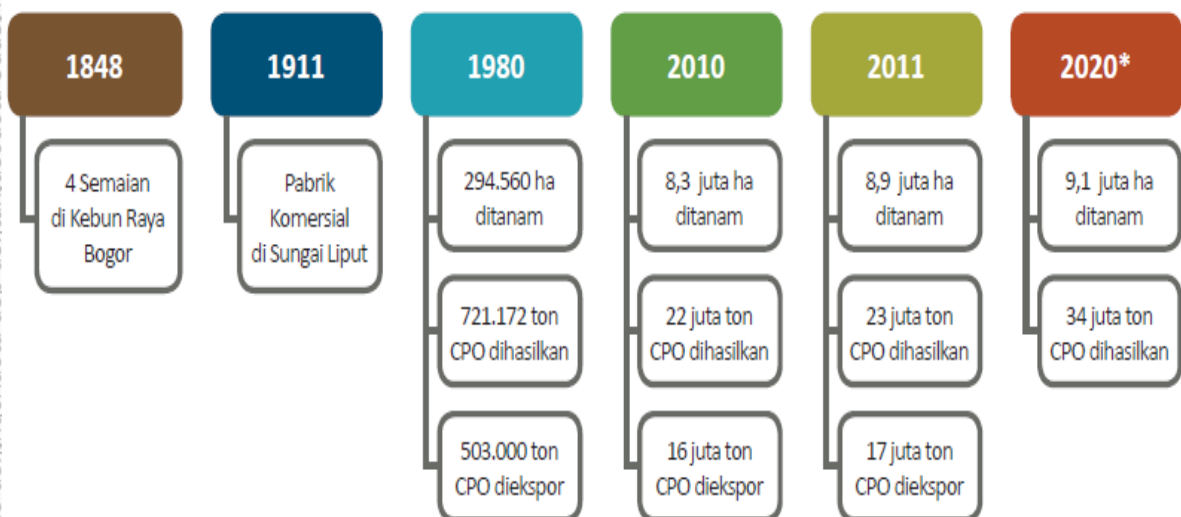
Keunggulan perancangan ini bila di dibandingkan dengan perancangan lain adalah perancangan ini menggunakan alat purifikasi biogas sebagai alat pemurnian biogas dari kandungan gas-gas lain yang mengganggu proses pembakaran, sehingga dapat meningkatkan efisiensi pembangkit listrik. Hal ini di buktikan oleh penelitian Surono, yang menghasilkan Daya listrik yang dihasilkan oleh genset dengan bahan bakar biogas yang dilewatkan kolom absorber lebih besar dari daya listrik yang dihasilkan oleh genset dengan bahan bakar biogas yang langsung dialirkan dari digester. Hal ini menunjukkan bahwa biogas yang dilewatkan kolom absorber memiliki nilai energi yang lebih besar. Kenaikan nilai energi ini seiring dengan meningkatnya kandungan metana dalam biogas.

2.2 Perkembangan dan Produksi Kelapa Sawit

Kelapa sawit adalah tanaman yang mengeluarkan bunga jantan dan betinadalam satu pohon. Setiap pohon dapat menghasilkan 12-20 tandan pertahundengan berat 10-20kg

dengan lebih dari 1000 buah untuk setiap tandannya. Secara umum buah berwarna ungu gelap hampir hitam dan warnanya akan berubah menjadi orange kemerahan setelah masak. Setiap buah terdiri atas inti yang keras (biji) di dalam tempurung (*endokarp*) yang dikelilingi oleh mesokarp yang berisi.

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas pertanian utama Indonesia yang telah berkembang dari 300.000 hektar perkebunan yang menghasilkan 720.000 ton kelapa sawit mentah di tahun 1980, menjadi 8,9 juta hektar yang menghasilkan 23 juta ton CPO (*Crude Palm Oil*) di tahun 2011. Pada gambar 2.1 di bawah merupakan perkembangan industri kelapa sawit di Indonesia. Terlihat pada gambar, terjadi peningkatan lahan dari tahun ke tahun. Sedangkan untuk CPO (*Crude Palm Oil*) dari tahun 1980 sampai dengan tahun 2010 ke depan akan mengalami kenaikan yang cukup tinggi. Terjadi 17 juta ton ekspor CPO (*Crude Palm Oil*) pada tahun 2011.



Gambar 2.1 Perkembangan Industri Kelapa Sawit di Indonesia
(Sumber : Rahayu, Dkk. 2015)

Pengolahan tandan buah segar (TBS) kelapa sawit untuk produksi minyak kelapa sawit menghasilkan beberapa jenis limbah. Proses ekstraksi minyak, pencucian dan pembersihan di pabrik menghasilkan limbah cair kelapa sawit atau *Palm oil mill effluent* (POME). dalam ekstraksi minyak sawit, terdapat 3 proses utama yang dihasilkan POME.

1. Proses sterilisasi tandan buah segar.
2. Proses penjernihan minyak sawit mentah atau *Crude Palm Oil* (CPO) yang terdiri dari pemerasan, pemisahan dan penjernihan.
3. Pemerasan tandan kosong.



2.3 Hasil Samping PKS (Pabrik Kelapa Sawit)

Selain menghasilkan produk utama yang berupa CPO dan PKO, dalam proses produksi di PKS juga terdapat beberapa hasil samping yang dihasilkan antara lain tandan kosong, cangkang, serabut, *decanted solid*, sluge limbah cair, abu janjang, dan limbah cair dalam jumlah yang sangat besar lebih dari 70% dari setiap pengolahan TBS per ton, seperti yang di jelaskan pada tabel 2.1 di bawah.

Tabel 2.1 Jenis & Estimasi Limbah Padat Dan Cair Yang Dihasilkan PKS/Ton/TBS

Jenis limbah	Produksi limbah (kg)
Tandan kosong	250
Serabut	130
Cangkang	70
Decanted solid	40
Sluge limbah cair	30
Abu janjang	5
Limbah cair	600

(sumber: Loekito. 2002)

2.3.1 Tandan kosong

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) adalah salah satu produk samping (*by-product*) berupa padatan dari industri pengolahan kelapa sawit. Ketersediaan tandan kosong kelapa sawit cukup signifikan bila ditinjau berdasarkan rerata nisbah produksi tandan kosong kelapa sawit terhadap total jumlah tandan buah segar TBS yang diproses. Rerata produksi tandan kosong kelapa sawit adalah berkisar 22% hingga 24% dari total berat tandan buah segar yang diproses di Pabrik Kelapa Sawit . hal ini mengakibatkan menumpuknya tandan kosong dari proses produksi dan menimbulkan lahan olahan untuk janjang kosong ini semakin luas.

2.3.2 Cangkang

Cangkang merupakan limbah yang dihasilkan dari pemrosesan kernel inti sawit dengan bentuk seperti tempurung kelapa, mempunyai kalor 3500 kkal/kg-4100 kkal/kg, oleh sebab itu cangkang kalapa sawit digunakan sebagai alternatif bahan bakar, Cangkang sawit merupakan bagian paling keras pada komponen yang terdapat pada kelapa sawit. Saat ini pemanfaatan cangkang sawit di berbagai industri pengolahan minyak CPO belum

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



begitu maksimal. Cangkang sawit memiliki banyak kegunaan serta manfaat bagi industri, usaha dan rumah tangga. Beberapa diantaranya adalah produk bernilai ekonomis tinggi, yaitu karbon aktif, asap cair, fenol, briket arang, dan tepung tempurung. Secara garis besar, cangkang sawit yang sering dibicarakan orang, memiliki kegunaan sebagai berikut:

1. Sebagai bahan baku arang (sawit) atau *charcoal*.
2. Sebagai bahan bakar untuk boiler.
3. Bahan campuran untuk makanan ternak.
4. Cangkang sawit dipakai sebagai pengeras jalan/pengganti aspal, khususnya di perkebunan sawit.

2.3.3 Fiber (Serat)

Serat merupakan limbah sisa perasan buah sawit berupa serabut seperti benang yang diproduksi dari stasiun *Fiber Cyclone* setelah melewati proses ekstraksi melalui unit screw press. Bahan ini mengandung protein kasar sekitar 4% dan serat kasar 36% (lignin 26%) serta mempunyai kalor 2637kkal/kg-3998kkal/kg.

Di karenakan nilai kalor yang cukup tinggi ini maka serat banyak di manfaatkan sebagai sumber bahan bakar biler dan di gunakan sebagai sumber energi listrik. Dari hasil uji laboratorium nilai kalor sampel untuk sampel Serabut, Cangkang dan Tandan Kosong Kelapa Sawit yang diambil dari dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Nilai Kalor Produk Samping PKS

No	Sampel	Nilai kalor (kl/g)
1	Cangkang	3.400
2	Tandan Kosong	1800
3	Fiber	2.637-4.554

(sumber: Partogi. 2011)

2.3.4 Limbah Cair / POME (*Palm oil mill effluent*)

pengolahan tandan buah segar (TBS) kelapa sawit menghasilkan beberapa jenis limbah proses ekstraksi minyak, pencucian, dan pembersihan di pabrik menghasilkan limbah cair kelapa sawit atau POME (*Palm oil mill effluent*). Dalam ekstrasi minyak sawit terdapat 3 proses yang maenghasilkan POME:

1. proses sterilisasi TBS

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

© Al-Falaki Institute of Islamic Studies UIN Suska Riau

2. proses pemurnian CPO, yang meliputi proses pemerasan, pemisahan, dan penjernihan
3. pemerasan tandan kosong

POME merupakan hasil samping dari produksi di PKS yang paling besar bila dibandingkan dengan hasil produk yang lain, dan POME mempunyai kandungan senyawa kompleks yang tinggi seperti karbohidrat, protein, lemak dan mineral. POME merupakan cairan kental berwarna coklat yang mengandung total padatan yang tinggi (40,500 mg/L), minyak dan lemak (4000 mg/L), *Chemical oxygen demand* (COD) (50,000 mg/L) dan *Biological oxygen demand* (BOD) (25,000 mg/L). POME dapat mempunyai dampak buruk terhadap lingkungan seperti perairan sungai apabila dibuang tanpa diolah terlebih dahulu. Oleh karena itu mengurangi beban limbah POME sesuai standar mutu air bersih merupakan tantangan dan membutuhkan sistem pengolahan yang efisien dan efektif. pada tabel 2.3 dijelaskan berapa kadar senyawa yang terkandung pada limbah cair, baik kadar limbah cair sebelum melalui tritmen pengolahan, serta baku mutu kadar dari limbah cair yang bisa di alirkan ke sungai.

Tabel 2.3 Karakteristik POME Tanpa Diolah

Parameter	Unit	Pome Tanpa Diolah		Baku Mutu Sesuai Aturan	
		Rentang	Rata-Rata	Sungai	Aplikasi Lahan
BOD	Mg/l	8.200-35.000	21.280	100	5.000
COD	Mg/l	15.103-65.100	34.740	350	-
TSS	Mg/l	1.330-50.700	31.740	250	-
Amonia (NH ₃ N)	Mg/l	12-126	41	50	-
Ph		3.3-4.6	4	6-9	6-9
Mekanisme POME	M3/tom CPO			2.5	

(Sumber : Rahayu, Dkk. 2015)

2.4 Pengolahan dan Potensi Limbah Cair/POME (*Palm oil mill effluent*)

2.4.1 Pengolahan Limbah Cair(POME)

Berikut di bawah ini merupakan proses pengolahan limbah cair (POME) yang biasanya diaplikasikan oleh pabrik kelapa sawit (PKS) PT. Sumber Sawit Sejahtera.



Limbah cair yang berasal dari Unit *Sludge Separator* dan Unit Pencucian (klarifikasi) dialirkan ke bak *Fatpit*. Limbah dalam *Fatpit* dipanaskan dengan menggunakan *steam* pada temperatur 85-95 °C. Pada temperatur tersebut minyak yang masih terkandung dalam air limbah akan mudah lepas. Minyak yang dapat diambil kembali (*oil recovery*) dari unit ini sebesar 0,8-1,2 %. Waktu tinggal (*Detention Time*) $T_d = 16$ Jam. Dimensi unit ini adalah luas $6 \times 40 \text{ m}^2$ dan kedalaman 0,8 m (bila dihitung dari data waktu tinggal dan debit Q sebesar 18 ton/jam). BOD dari *Fatpit* ini adalah 30.000- 40.000 ppm dengan pH sekitar 4-5.

Proses kedua adalah anaerobik yang diakomodasikan dalam bak berjumlah 4 buah dan dioperasikan secara berurutan. Limbah cair yang masuk ke dalam bak anaerobik ini adalah limbah cair dari *fatpit* dan limbah cair Unit Kondensat Sterilisasi, Pencucian *Hydro Cyclone* dan dari Unit Demineralisasi. Waktu tinggal (total) $T_d = 40$ hari (bila dihitung dari pembagian volume dengan debit diperoleh $T_d = 38,4$ hari), dengan dimensi untuk setiap baknya adalah luas $20 \times 40 \text{ m}^2$ dan kedalaman sekitar 3 – 4 meter. Kualitas BOD dari air limbah yang keluar dari proses anaerobik ini sekitar 3000 ppm dengan pH antara 5-6. Bak anaerobik ini merupakan bak terbuka dan dikatakan berproses anaerobik karena kedalaman baknya yang sampai 4 meter.

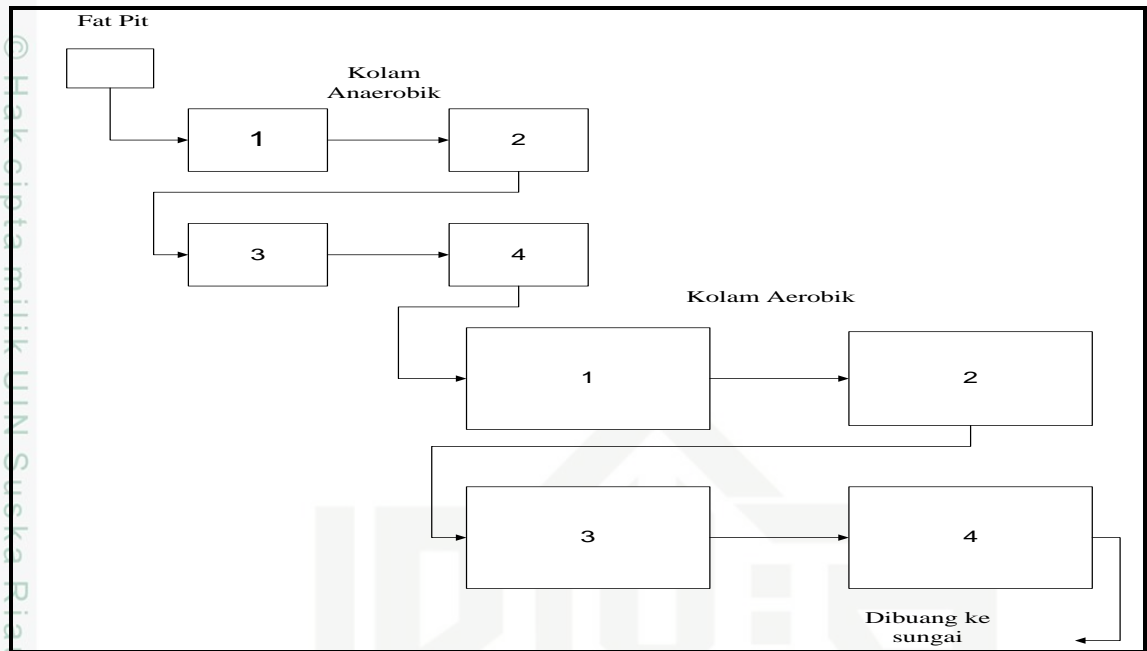
Proses terakhir adalah aerobik yang diakomodasikan dalam 4 buah bak (*pond*). Luas total unit aerobik ini adalah $75 \times 40 \text{ m}^2$ dengan kedalaman 1,5 meter. Waktu Tinggal $T_d = 60$ hari (bila dihitung dari pembagian volume dengan debit diperoleh $T_d = 62,5$ hari). Proses aerobik dianggap dapat terlaksana hanya dengan kontak udara di permukaan kolam, tanpa *aerator* mekanik atau *blower*. BOD limbah yang keluar dari unit ini sekitar 200 - 230 ppm dengan pH sekitar 7. Dalam pengoperasiannya direncanakan sebagian dari air limbah yang keluar dari unit anaerobik dipergunakan untuk menyiram tanaman.

1. Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

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

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

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



Gambar 2.2 Diagram Alir Proses Pengolahan Limbah PKS
(Sumber: Rahardjo 2009)

2.4.2 Potensi Limbah Cair Kelapa Sawit (POME)

Proses pengolahan tandan buah segar (TBS = *fresh fruit bunches*) menjadi crude palm oil (CPO) dan seluruh aktivitas produksi pabrik kelapa sawit (PKS) menghasilkan biomassa, berupa limbah padat maupun cair (POME), dalam volume sangat besar. 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 beberapa persen, nitrogen dan hidrogen sulfida.

Tabel 2.4 Komposisi Biogas

No	Komposisi Biogas	Jumlah
1	Metana (CH_4)	55 - 70%
2	Karbon dioksida (CO_2)	30 -45%
3	Nitroge (N_2)	0 – 0,3%
4	Hidrogen Sulfida (H_2S)	1 – 5%

(sumber: safrizal. 2015)

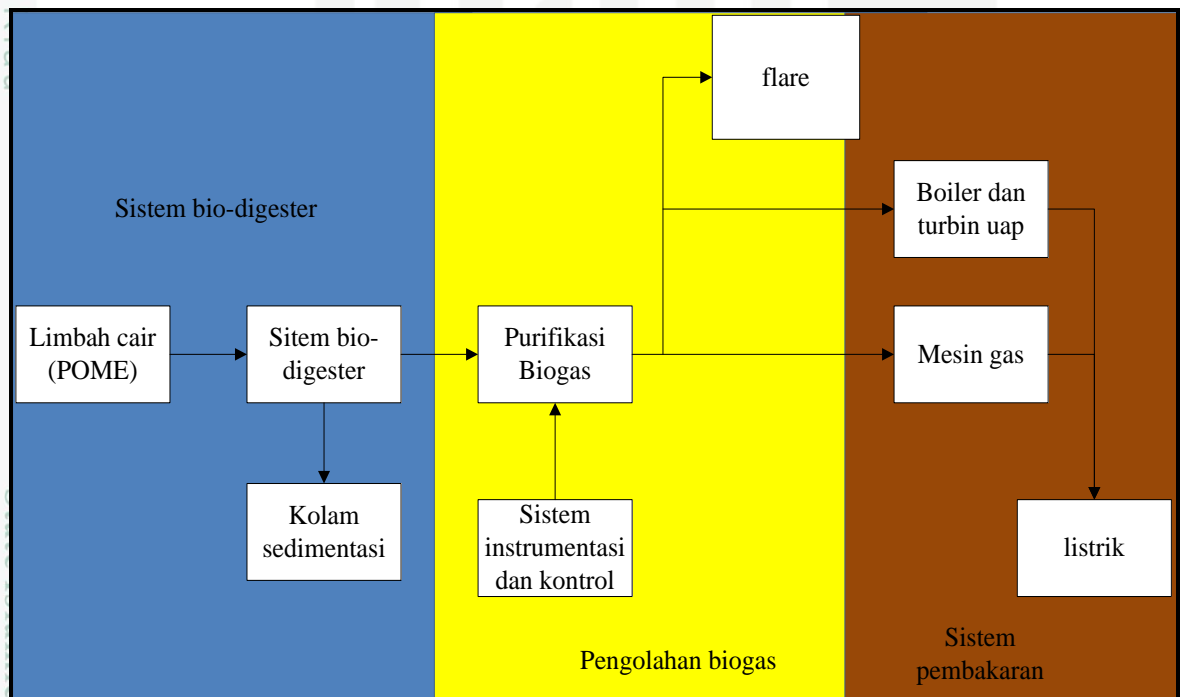
Komposisi gas metana daibiogas yang berasal dari POME berkisar 60-70%, dimana sisanya adalah merupakan gas CO_2 dan gas-gas lainnya. Dari literatur yang ada, setiap 1ton POME akan menghasilkan $28,8m^3$ biogas dengan nilai kalor biogas yang dihasilkan dari POME adalah berkisar 4740-6560 kcal/ m^3 , dan dengan konversi energi sekitar 35%, maka



nilai 1m³ biogas akan dapat menghasilkan listrik setara dengan 1,8 kWh/m³ biogas. (Safrizal 2015)

2.5 Pengertian PLTBG

Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBG) adalah suatu pembangkit listrik skala besar yang menggunakan biogas yang dihasilkan melalui proses pengolahan di digester sebagai bahan bakar utamanya, dimana untuk mengkonfresi potensi biogas yang dihasilkan digester dapat menggunakan mesin gas dan apa bila dalam skala yang lebih besar dapat menggunakan turbin gas. Dibawah ini merupakan gambar skema konversi energi pada PLTBG.



Gambar 2.3 Skema Konversi Energi
(Sumber : Rahayu, Dkk. 2015)

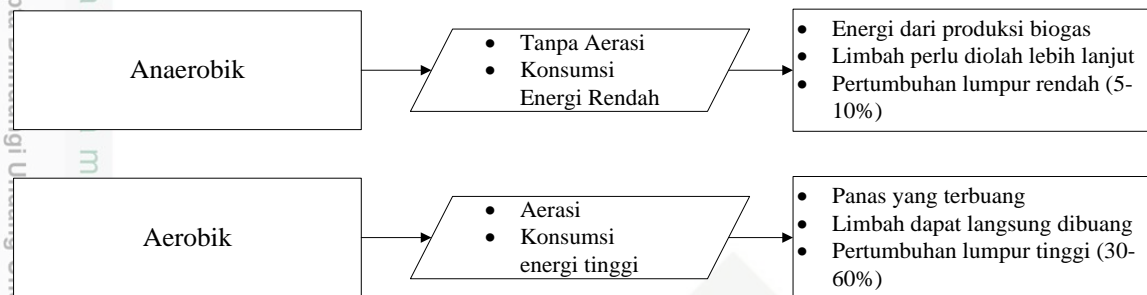
2.6 Komponen Utama PLTBG

2.6.1 Kolam Penampungan Limbah Cair Kelapa Sawit (POME)

Kolam penampungan ini di tempatkan sebelum POME masuk ke digester atau sering di sebut dengan kolam anaerobik, dimana di kolam ini ini di hasilkan gas metan yang cukup tinggi, dan kolam penampungan selanjutnya diletakkan sesudah limbah cair (POME) keluar dari digester, dimana kolam ini di sebut dengan kolam aerobik yang menghasilkan lumpur yang cukup banyak dan sudah aman bila di

2. Dilarang mengumumkan 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: 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.

buang ke perkebuna ataupun di alirkan ke sungai. berikut adalah perbandingan penguraian antara anaerobik dan aerobik.



Gambar 2.4 Perbandingan Penguraian *Anaerobik* Dan *Aerobik*

(Sumber : Rahayu, Dkk. 2015)

2.6.2 Digester

Potensi biogas di Indonesia sangat besar mulai dari proses pengomposan kotoran ternak dan limbah pertanian, pengolahan limbah cair dan residu proses produksi CPO. Untuk memperoleh biogas dari bahan organik tersebut diperlukan suatu peralatan yang disebut *digester anaerob* (tanpa udara).

Untuk menghasilkan biogas, dibutuhkan pembangkit biogas yang disebut digester. Pada digester terjadi proses penguraian material organik yang terjadi secara anaerob (tanpa oksigen). Pada umumnya, biogas dapat terbentuk pada hari ke 4–5 setelah digester diisi dan mencapai puncak pada hari ke 20–25. Ada tiga kelompok bakteri yang berperan dalam proses pembentukan biogas, yaitu:

1. Kelompok bakteri fermentatif, yaitu dari jenis *steptococci*, *bacteriodes*, dan beberapa jenis *enterobactericeae*.
2. Kelompok bakteri *asetogenik*, yaitu *desulfovibrio*.
3. Kelompok bakteri metana, yaitu dari jenis *mathanobacterium*, *mathanobacillus*, *methanosacaria*, dan *methanococcus*.

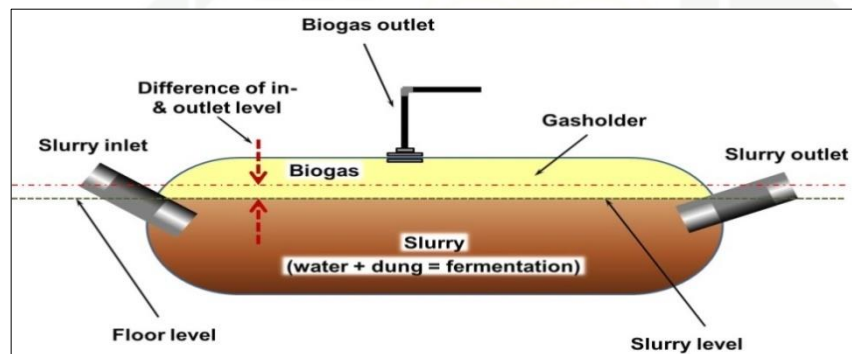
2.6.2.1 Jenis Digester

1. *Plug Flow Bag Digester*

Teknologi ini juga dikenal sebagai tubular plastik digester. Sangat mudah untuk menerapkannya, murah, dan teknologi secara luas terkenal di daerah pedesaan (Marti dalam Garcia, 2014). Digester Tubular juga telah diadaptasi untuk daerah pegunungan dengan suhu rendah dan kondisi ekstrim. Digester tubular mudah menyesuaikan dengan lingkungan dan ketersediaan sumber (Ferer dalam Garcia 2014). Bahan yang umum

digunakan untuk membangun digester tubular adalah *polyethylene*, tetapi juga (*geomembran*) HDPE (*High Density Polyethene*) mulai digunakan. Digester HDPE lebih mahal dibandingkan *polyethylene* biasa, tetapi mereka memiliki waktu hidup yang lebih lama 20 hingga 30 tahun. Digester terdiri dari tas tubular melalui mana lumpur mengalir dari *inlet* ke *outlet*. Biogas yang dikumpulkan di bagian atas digester dengan pipa gas terhubung ke *reservoir*. Biogas melewati dari *reservoir* ke tujuan akhir mereka, misalnya dapur (Marti dalam Garcia, 2014). Teknologi ini tidak dihitung dengan sistem pemanas atau pencampuran.

Tekanan gas dari digester dapat diatur dengan menempatkan beban pada tas digester ini. Namun, ini harus dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari kerusakan digester. Digester tubular yang rapuh dan karena itu perlu perlindungan dari radiasi matahari dan hewan. Rentang hidup dari digester ini bervariasi dari 2 sampai 5 tahun tergantung pada praktik pemeliharaan (Vogeli, 2014).



Gambar 2.5 Digester Tubular
(Sumber: Garcia, 2014)

Di lokasi ketinggian yang tinggi dan suhu rendah, perlu untuk melindungi digester untuk meminimalkan fluktuasi suhu pada malam hari. Untuk tujuan ini, digester plastik tubular dimakamkan di parit dan ditutup dengan rumah kaca. Umumnya, lama waktu digestifikasi dari 60 sampai 90 hari dibutuhkan untuk kondisi ini di daerah pegunungan yang dingin. Selanjutnya, volume bio-digester untuk kondisi dingin perlu lebih besar dibandingkan dari digester dilaksanakan di iklim yang hangat (Marti dalam Garcia, 2014).

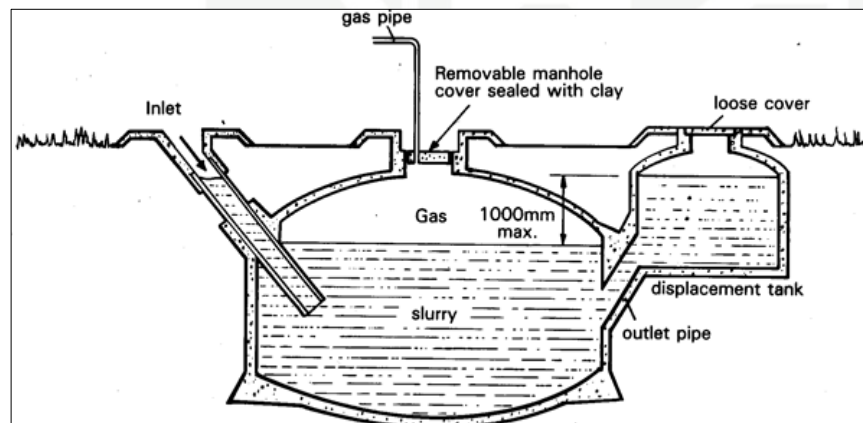
Tabel 2.5 Kelebihan dan Kekurangan dari Digester Tubular.

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

Sumber : Garcia (2014).

2. Chinese Fixed Dome Digester

Digester *fixed dome* atau kubah tetap memiliki struktur terletak di bawah tanah dan beroperasi dalam model setengah *continou*, misalnya Selain bahan baku sekali per- hari. Struktur mencakup bagian yang bergerak dan pembangunan bahan yang umum terdiri dari batu bata dan semen. Teknologi ini tidak memiliki sistem pencampuran dan untuk alasan ini itu perlu untuk menghilangkan padatan sedimen yang ditangguhkan dari 2 sampai 3 kali per tahun (Tefera, 2009). Gambar 2.4 menunjukkan diagram dari digester.



Gambar 2.6 Digester *Chinese fix dome*.
(Sumber : FAO, 2014)

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



ini membuatnya cocok untuk suhu dingin, karena struktur bawah tanah dan oleh karena itu memiliki sistem isolasi untuk menjaga suhu di dalam digester (Cheng dalam Garcia, 2014).

Tabel 2.6 Kelebihan dan Kekurangan dari Digester *Chinese Fix Dome*.

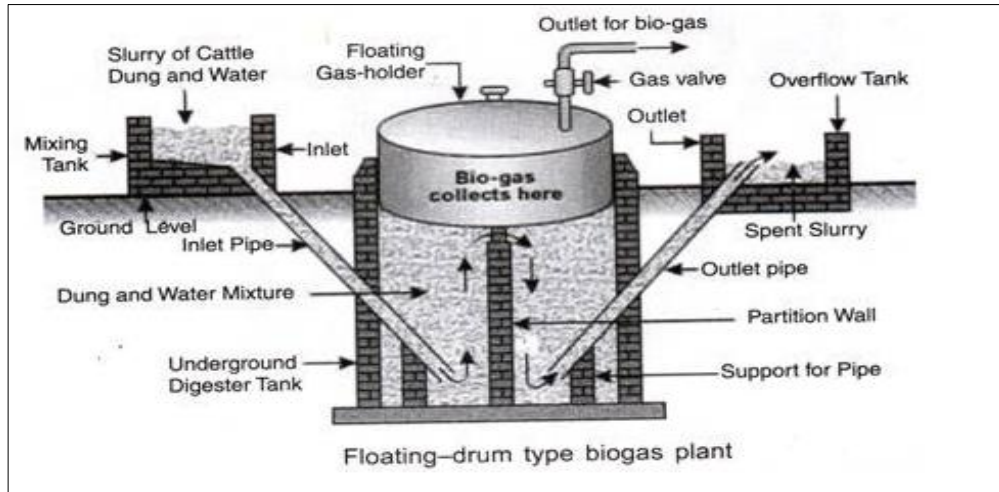
Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> •Biaya investasi yang rendah •Waktu Hidup sekitar 20 tahun •Tidak ada ruang dangkal diperlukan karena struktur bawah tanah •Tekanan gas Baik •Pencampuran substrat dalam digester menghindari akumulasi besar padatan di bawah digester ini 	<ul style="list-style-type: none"> •Sulit untuk membangun khususnya di daerah batuan dasar •Keterampilan teknis tinggi yang diperlukan untuk pembangunan untuk menghindari kegagalan struktural dan karena kebocoran gas •Tinggi biaya bahan transportasi dibandingkan digester tubular

Sumber : Garcia (2014)

3. *Indian Floating Drum Digester*

Desain *Indian floating drum digester* mirip dengan digester *Chinese fix dome* tetapi memiliki perbedaan memiliki fungsi wadah gas terapung untuk mengumpulkan biogas. Sistem ini telah diterapkan untuk mengolah limbah makanan di India dan China. Struktur digester terdiri atas tangki pencampuran (digester beton) dengan dua kamar. Ruang-ruang dibagi oleh dinding partisi tetapi terhubung satu sama lain di bagian atas digester. Digester ini juga memiliki drum *stainless* silinder atau pemegang gas, dan tangki stopkontak melalui mana bubur/*slurry* meninggalkan sistem (Vogeli, 2014).

Selama proses tersebut, *substrate*/bubur dicampur dalam tangki pencampuran dan diumpankan ke digester. Drum silinder mengapung di atas bubur mengumpulkan gas yang dihasilkan. Masalah ini diuraikan dalam ruang pertama dan setelah itu telah mencapai volume maksimum itu meluap ke ruang berikutnya. Setelah itu bubur meninggalkan sistem dengan pipa *outlet*.



Gambar 2.7 Digester *Indian floating drum* .
(Sumber : FAO, 2014)

Biaya teknologi ini lebih tinggi dibandingkan dengan digester kubah Cina karena drum terapung terbuat dari baja (FAO, 2014). Pemeliharaan rutin digester diperlukan pada lapisan penutup drum terapung harus dilakukan sekali pertahun untuk menghindari karat. Apabila dilakukan perawatan secara teratur digester dapat bertahan antara 3-5 tahun di daerah lembab atau 8-12 tahun di lokasi kering (Vogeli, 2014). Rata-rata umpan harian tergantung pada ukuran digester. Sebagai contoh, sebuah digester dari 25 m³ memiliki OLR (*Organic Loading Rate*) dari 12,47 Kg per hari ketika menggunakan limbah makanan (Lou dalam Garcia, 2012).

Tabel 2.7 Kelebihan dan Kekurangan dari digester *Indian floating drum*.

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

Sumber : Garcia (2014)

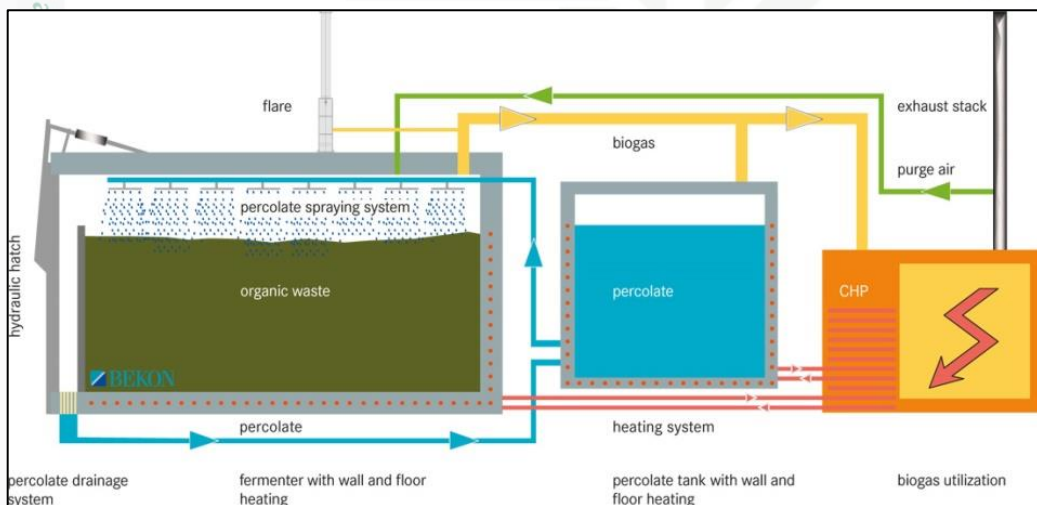
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan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



4. *Garage Digester*

Digester ini cocok untuk pengolahan bahan baku yang kering. Teknologi ini memiliki sistem yang lebih maju dan banyak digunakan di negara-negara Eropa (Bekon, 2016). Ini memiliki biaya investasi yang lebih tinggi pengolahan bahan baku. Hal ini dapat dirancang untuk pengolahan dari 5.000 ke 100.000 ton sampah organik per tahun (Garcia, 2014).

Digester garasi berbentuk memiliki proses fermentasi kering. *Garage digester* mampu mengolah fraksi organik MSW, limbah pertanian dan limbah makanan. Teknologi ini kompak dan memiliki bentuk garasi dirancang untuk menggunakan *wheel loader* untuk menghapus dan mengisi digester. Hal ini menghemat waktu dan membuat proses lebih efisien waktu (Bekon, 2016). Teknologi ini menghitug dengan sistem terintegrasi untuk memanaskan dinding dan lantai dari digester mana proses AD dilakukan di bawah suhu *mesophilic* (kira-kira 38° C). Digester yang dibangun dengan gas-bukti beton bertulang menghindari kebocoran dari biogas (Bekon, 2016). Proses fermentasi dalam digester terakhir antara 4-5 minggu. Setelah periode ini telah berlalu, digestate akan dihapus dan digester dibersihkan untuk beban berikutnya. Waktu untuk melakukan operasi ini adalah salah satu hari kerja. *digestate* dihapus diangkut ke daerah pencampuran, di mana sekitar 50% dipisahkan untuk pengomposan dan sisanya 50% dicampur dengan substrat segar. Proses pengisian bahan baru ini juga membutuhkan waktu satu hari. Semua operasi ini dilakukan dengan menggunakan *wheel loader* (Bekon, 2016). Gambar 2.6 menunjukkan diagram dari digester. dibandingkan dengan teknologi yang disajikan sebelumnya.



Gambar 2.8 Digester *Garage*
(Sumber : Garcia, 2014)

Tabel 2.8 Kelebihan dan Kekurangan dari *Garage Digester*

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> •Waktu Hidup sekitar 30 tahun. •Tekanan konstan gas •Suhu konstan di dalam digester •Perusahaan pemasok memberikan training dari personil •Kontrol yang lebih baik dari proses <i>anaerobic digestion</i> •Memiliki konstruksi yang kokoh •Mudah Berdaptasi dengan lingkungan •Kapasitas volume yang lebih besar 	<ul style="list-style-type: none"> •Biaya investasi tinggi. •Teknologi belum teruji di Indonesia. •Butuh Perawatan dan biaya operasional yang besar karena menggunakan sistem <i>batch</i>.

Sumber : Redman (2014).

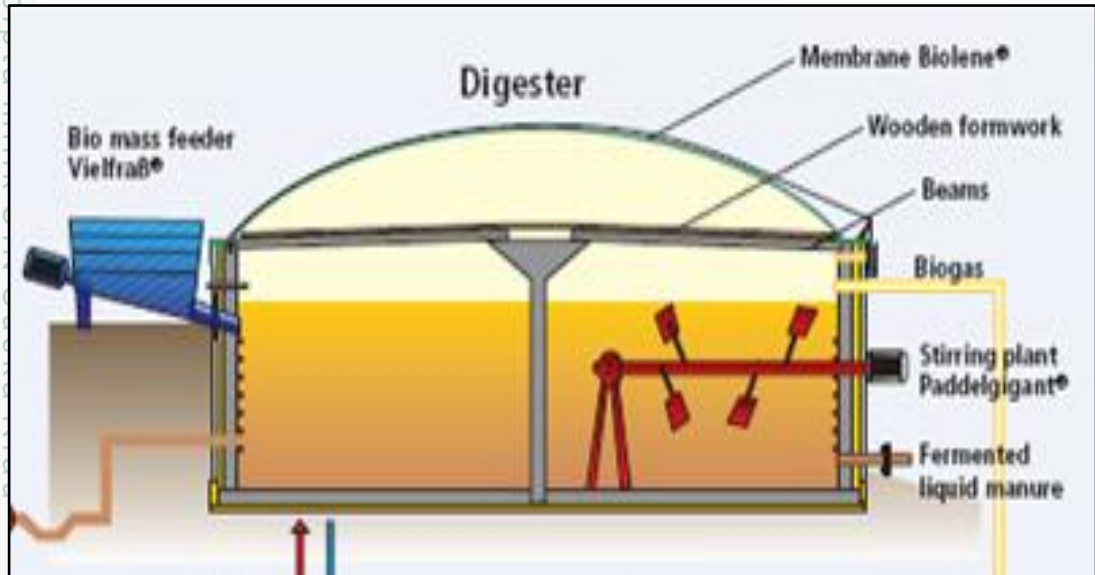
5. *Complete-Mix Digester*

Jenis digester ini merupakan sistem aliran bahan baku secara *continuous* (mengalir). Aliran bahan baku dan residu, keluar pada selang waktu tertentu lama bahan baku selama dalam digester disebut dengan waktu retensi hidrolis (*Hydraulic Retention Time*) (Purnomo, 2009). Secara umumnya digester ini berbentuk tangki/ tabung yang dindingnya terbuat dari beton bertulang yang memungkinkan tidak terjadi kebocoran pada dindingnya dan untuk penampungan gasnya terbuat dari plastik HDPE (*High Density Polyethylene*). Teknologi digester *Complete-mix* ini memiliki sistem yang lebih maju dan banyak digunakan di negara-negara Eropa (Bekon, 2016). Jenis ini memiliki biaya investasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan teknologi yang disajikan sebelumnya, tapi itu memungkinkan mengendalikan proses *anaerobic digestion* dalam cara yang lebih efisien dan juga memiliki kapasitas yang lebih besar untuk masukan bahan baku. Hal ini dapat dirancang untuk masukan bahan baku dari 5.000 hingga 100.000 ton sampah organik pertahun (Garcia, 2014).

Digester *Complete-Mix* ini mampu mengolah fraksi organik MSW (*Municipal Solid Waste*), limbah pertanian dan limbah makanan. Teknologi ini menghitung dengan sistem terintegrasi untuk memanaskan dinding dan lantai dari digester mana proses AD

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

dilakukan di bawah suhu *mesofylic* (kira-kira 38°C). Digester yang dibangun dengan beton bertulang untuk menghindari kebocoran dari biogas (Bekon, 2016).



Gambar 2.9 Digester *Compleat-Mi*
(Sumber : Bekon, 2016)

Proses fermentasi dalam digester ini minimal 17 hari dan maksimal 35 hari. Tergantung dari jenis teknologi pengaturan suhu yang digunakan. (Bekon, 2016). Digester ini memerlukan alat pengadukan untuk membuat semua bahan tercampur secara merata (Saedi, 2008).

Tabel 2.9 Kelebihan dan Kekurangan dari *Complete-Mix Digester*

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> •Waktu Hidup sekitar 30-40 tahun. •Tekanan konstan gas •Suhu konstan di dalam digester •Kontrol yang lebih baik dari proses <i>anaerobic digestion</i> •Memiliki konstruksi yang kokoh •Mudah Berdaptasi dengan lingkungan •Kapasitas volume yang lebih besar •Teknologi yang diterapkan di beberapa bagian dunia 	<ul style="list-style-type: none"> •Biaya investasi tinggi. •Teknologi belum teruji di Indonesia.

Sumber : Redman (2014).



2.6.2.2 Komponen Utama Digester

Komponen pada biodigester sangat bervariasi, tergantung pada jenis digester yang digunakan. Tetapi, secara umum biodigester terdiri dari komponen-komponen utama sebagai berikut :

1. Saluran masuk *slurry* (kotoran segar). Saluran ini digunakan untuk memasukkan *slurry* (campuran kotoran ternak dan air) ke dalam reaktor utama. Pencampuran ini berfungsi untuk memaksimalkan potensi biogas, memudahkan pengaliran, serta menghindari terbentuknya endapan pada saluran masuk.
2. Saluran keluar residu. Saluran ini digunakan untuk mengeluarkan kotoran yang telah difermentasi oleh bakteri. Saluran ini bekerja berdasarkan prinsip kesetimbangan tekanan hidrostatik. Residu yang keluar pertamakali merupakan *slurry* masukan yang pertama setelah waktu retensi. *Slurry* yang keluar sangat baik untuk pupuk karena mengandung kadar nutrisi yang tinggi.
3. Katup pengaman tekanan (*control valve*). Katup pengaman ini digunakan sebagai pengatur tekanan gas dalam biodigester. Katup pengaman ini menggunakan prinsip pipa T. Bila tekanan gas dalam saluran gas lebih tinggi dari kolom air, maka gas akan keluar melalui pipa T, sehingga tekanan dalam biodigester akan turun.
4. Sistem pengaduk. Pengadukan dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya:
 - a. Pengadukan mekanis,
 - b. Sirkulasi substrat biodigester, atau
 - c. Sirkulasi ulang produksi biogas ke atas biodigester menggunakan pompa.
 Pengadukan ini bertujuan untuk mengurangi pengendapan dan meningkatkan produktifitas digester karena kondisi substrat yang seragam.
5. Saluran gas. Saluran gas ini disarankan terbuat dari bahan polimer untuk menghindari korosi. Untuk pembakaran gas pada tungku, pada ujung saluran pipa bisa disambung dengan pipa baja antikorosi.
6. Tangki penyimpan gas. Terdapat dua jenis tangki penyimpan gas, yaitu tangki bersatu dengan unit reaktor (*floating dome*) dan terpisah dengan reaktor (*fixed dome*). Untuk tangki terpisah, konstruksi dibuat khusus sehingga tidak bocor dan tekanan yang terdapat dalam tangki seragam, serta dilengkapi H₂S Removal untuk mencegah korosi.

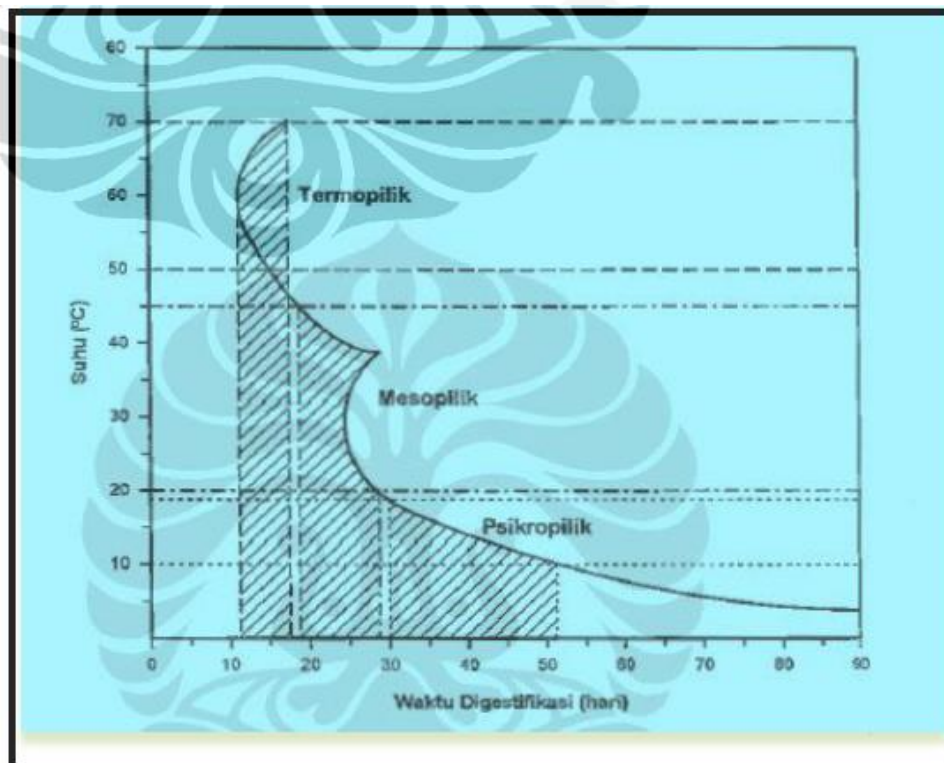
- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan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

pada gambar 2.5 dan 2.6 di jelaskan posisi dari komponen komponen pada sebuah digester di lihat dari jenis digesternya.

2.6.2.3 Waktu Digestifikasi

Waktu Digestifikasi anaerobik didalam digester dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu:
 1. Suhu

Hubungan waktu digestifikasi dan suhu dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.10 Waktu Digestifikasi Dan Suhu

(Sumber: Sulistyo. A 2010)

Ada tiga kondisi digestifikasi anaerobik berdasarkan suhu digesternya, antara lain:

- a. Kondisi Psikoprilik Pada kondisi ini suhu digester antara 10-18^o C, dan sampah cair terdigestifikasi selama 30-52 hari.
- b. Kondisi Mesopilik Pada kondisi ini suhu digester antara 20-45^o C, dan sampah cair terdigestifikasi selama 18-28 hari. Dibandingkan digester kondisi termopilik, digester kondisi mesopilik pengoperasiaanya lebih mudah, tapi biogas yang dihasilkan lebih sedikit dan volume digester lebih besar.



2. Rasio C/N

Untuk menentukan bahan organik digester adalah dengan melihat rasio/perbandingan antara Karbon (C) dan Nitrogen (N). Beberapa percobaan menunjukkan bahwa metabolisme bakteri anaerobik akan baik pada rasio C/N antara 20-30. Jika rasio C/N tinggi, Nitrogen akan cepat dikonsumsi bakteri anaerobik guna memenuhi kebutuhan proteinnya, sehingga bakteri tidak akan bereaksi kembali saat kandungan Karbon tersisa. Jika rasio C/N rendah, Nitrogen akan terlepas dan berkumpul membentuk amoniak sehingga akan meningkatkan nilai PH bahan. Nilai PH yang lebih tinggi dari 8,5 akan dapat meracuni bakteri anaerobik. Untuk menjaga rasio C/N, bahan organik rasio tinggi dapat dicampur bahan organik rasio C/N rendah.

Ada dua kali retensi yang signifikan dalam digester anaerobik, yaitu: padatan waktu retensi (SRT) dan waktu retensi hidrolis (HRT). SRT adalah rata-rata waktu bakteri (padatan) berada di digester anaerobik. HRT adalah waktu yang dibutuhkan air limbah atau lumpur dalam digester anaerobik.

Waktu generasi, yaitu: waktu yang dibutuhkan untuk populasi bakteri berkembang. Pembentuk bakteri metana relatif lebih panjang dibandingkan dengan bakteri aerob dan anaerob *fakultatif* bakteri lihat pada tabel 2.5. SRT khas untuk digester anaerobik adalah lebih dari 12 hari. sedangkan bila waktunya kurang dari 10 hari tidak dianjurkan, karena pada penahanan kurang dari 10 hari perkembangan bakteri didalam digester belum terbentuk secara sempurna. SRT tidak terlaui dipengaruhi oleh sifat air limbah atau lumpur di dalam digester, kecuali air limbah atau lumpur beracun bagi bakteri.

Nilai SRT yang tinggi menguntungkan untuk digester anaerobik. Nilai yang tinggi pada SRT dapat memaksimalkan kapasitas penghapusan, mengurangi volume digester, dan menyediakan penyangga kapasitas untuk perlindungan terhadap efek dari beban kejutan dan senyawa beracun di air limbah dan lumpur. nilai SRT tinggi juga membantu untuk mengizinkan biologis aklimatisasi untuk senyawa beracun. nilai yang tinggi pada SRT dapat dicapai melalui dua langkah yaitu: volume digester dapat ditingkatkan, dan konsentrasi bakteri (padatan) dapat ditingkatkan.

Tabel 2.10 Perkiraan Waktu Pada Bakteri Limbah Cair

Bakteri	Fungsi	Perkiraan waktu generasi
<i>Aerobic organotrophs</i>	pembentukan flok dan degradasi organik larut dalam lumpur aktif dan trickling proses penyaring	15-30 menit
<i>Facultative anaerobic organotrophs</i>	pembentukan flok dan degradasi organik larut dalam lumpur aktif dan trickling proses filter, hidrolisis dan degradasi organik di digester anaerobik	15-30 menit
<i>Nitrifying bacteria</i>	Oksidasi NH ₄ dan NO ₂ di lumpur aktif	2-3 hari
<i>Methane-forming bacteria</i>	Produksi metana di dalam digester	3-30 hari

(Sumber: Gerardi. 2003)

Konversi padatan volatil untuk produk gas dalam digester anaerobik dikendalikan oleh HRT. Nilai HRT mempengaruhi laju dan luasnya produksi metana. Dari semua operasional kondisi dalam sebuah digester anaerobik, misalnya, suhu, padatan konsentrasi, dan padatan volatil isi dari lumpur pakan, HRT merupakan operasional yang penting dalam mempengaruhi konversi padatan volatil untuk produk gas.

Pada hari ke 1 – 24 terdapat beda nyata atau memberikan pengaruh terhadap volume produksi biogas limbah cair kelapa sawit antara, kondisi *thermophilic* dan pada kondisi *mesophilic*, hal ini disebabkan karena pada hari tersebut telah berlangsung *lag phase* dan *log or exponential growth phase*, dimana pada fase-fase tersebut bakteri dalam merombak bahan-bahan organik untuk menghasilkan biogas membutuhkan makanan untuk pertumbuhan selnya. Sedangkan pada hari ke 25 – 70 telah berlangsung *stationary phase*, dimana pada hari tersebut makanan hampir habis dan kematian bakteri akan terus meningkat sehingga tercapai suatu keadaan dimana jumlah bakteri yang mati dan tumbuh mulai berimbang. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan tandan kosong kelapa sawit memberikan pengaruh sampai pada hari ke 24 sedangkan pada hari ke 25 – 70 tidak memberikan pengaruh terhadap volume produksi biogas limbah cair kelapa sawit. (Kahar, dkk. 2014)

Menurut (Widarti. 2015), dalam degradasi COD limbah cair dari pabrik kelapa sawit dalam proses pembentukan biogas Hasil penelitian menunjukkan penurunan COD



pada hari ke 6, 12, 18 dan 24 berturut-turut sebesar 5090, 4099, 8015, 762 dan 1086 mg/L yang diikuti dengan peningkatan akumulasi volume biogas sebesar 0.004, 0.009, 0.011 dan 0.012 L, proses anaerob berlangsung selama 24 hari dengan nilai pH 4 – 6 sehingga disimpulkan bahwa nilai pH 6 pada digester mampu menghasilkan metana.

HRT berhubungan dengan volume digester dan volume substrat yang masuk per satuan waktu, meningkatnya *organic loading rate* akan mengurangi HRT, waktu retensi harus cukup lama untuk memastikan bahwa jumlah mikroorganisme yang keluar bersama dengan efluen tidak lebih tinggi dari jumlah mikroorganisme yang direproduksi. HRT yang singkat memberikan laju aliran substrat yang baik, namun hasil gas yang diperoleh akan lebih rendah. Dengan mengetahui HRT yang ditargetkan, jumlah input substrat dan laju dekomposisi substrat maka dapat dibuat perhitungan untuk volume tangki digesternya.

2.6.2.4 Desain Digester

Desain digester tergantung perhitungan potensi biogas yang dihasilkan, Ukuran tangki digester biogas tergantung dari jumlah, kualitas dan jenis limbah organik yang tersedia dan temperatur saat proses fermentasi anaerobik. Jumlah bahan baku biogas yang dimasukkan dalam digester terdiri dari sampah organik dan air, sehingga pemasukan bahan baku sangat tergantung dengan seberapa banyak air yang dimasukkan kedalam digester untuk mencapai kadar bahan baku padatannya (TS) sekitar 8%. Pencampuran bahan organik untuk kotoran hewan dengan air dibuat perbandingan antara 1:3 dan 2:1. Sampah organik pasar relatif lebih banyak mengandung air sehingga perbandingan pencampuran antara sampah organik dengan air yaitu 1:2, untuk perhitungan ini dapat didasarkan pada jumlah COD di limbah POME. (Wibowo. 2015)

Dikarenakan perancangan PLTBG ini di lakukan di tahun 2020, maka di perlukan prediksi untuk mengetahui jumlah TBS (tandan buah segar) yang diolah dan kandungan COD di tahun 2020. Di sini penulis menggunakan model regresi linier sederhana. Perkiraan jumlah TBS dan kandungan COD dapat di hitung dengan persamaan.

$$Y = a + bX \quad (2.1)$$

Dimana:

X : Nilai variable tidak tetap (banyak tahun)

Y : Nilai variabel yang akan di prediksi (Total Jumlah TBS dalam Periode Tahun)

Variable penduga $\left[\frac{(Y.X_2)-(X.XY)}{n(X_2)-(X.X)} \right]$

Jumlah perubahan $\left[\frac{n(XY)-(X.Y)}{n(X_2)-(X.X)} \right]$

dimana:

n : jumlah variable penyebut

(Sumber: Farizal, dkk. 2014)

Dalam mendisain digester yang di perlukan adalah menghitung potensi energi yang ada pada limbah cair kelapa sawit. perhitungan pembangkit energi biogas dapat dilakukan dengan menggunakan nilai dari parameter input yang didapat dari pabrik. parameter itu meliputi jam operasi perhari, hari operasi dalam setahun,tandan buah segar (TBS) yang diolah dalam setahun, rasio POME yang dihasilkan TBS yang diolah, dan kadar COD limbah cair yang di analisa dengan *Spektrofot meter*. Dari pengertian diatas didapat persamaan:

$$\text{Bahan baku harian} = \frac{\text{total TBS yang diolah(ton/tahun)}}{\text{hari operasi dalam setahun}} \quad (2.2)$$

$$\text{Aliran limbah cair harian} = \text{volume limbah cair/hari} \times \text{rasio POME} \quad (2.3)$$

$$\text{COD loading} = \text{COD} \times \text{aliran limbah} \quad (2.4)$$

$$\text{Produksi CH}_4 = \text{COD loading} \times \text{COD}_{\text{eff}} \times \text{CH}_4/\text{COD} \quad (2.5)$$

$$\text{Kapasitas pembangkit} = \text{produksiCH}_4 \times \text{CH}_{4,\text{ev}} \times \text{Gen}_{\text{eff}} \quad (2.6)$$

Dimana:

Bahan baku harian : Produksi perhari (ton TBS/hari)

Aliran limbah cair harian : Limbah cair yang dihasilkan (m³/hari)

COD loading : Kandungan COD (kg COD/hari)

Produksi CH₄ : CH₄ yang dihasilkan dari COD (Nm³CH₄/hari)

Kapasitas pembangkit : (MWe)

Rasio POME : Rasio volume POME yang di hasilkan per TBS yang diolah
POME : TBS (m³ POME) : (ton TBS)

(Sumber: Rahayu. 2015)

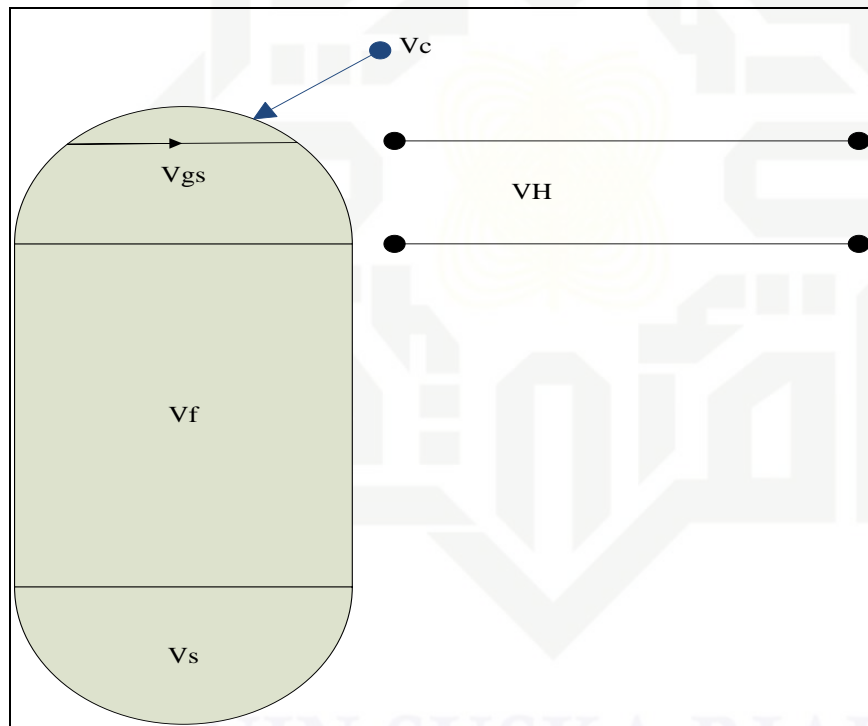
persamaan diatas dihitung berdasarkan asumsi parameter operasi tabel 2.6 dibawah.

Tabel 2.11 Asumsi Parameter Operasi

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Keterangan
Rasio konversi CH ₄ terhadap COD	CH ₄ /COD	0,35	Nm ³ CH ₄ /kg COD	Volume metana yang dihasilkan COD
Efisiensi COD	COD _{eff}	80-95	%	Persentase COD yang di rubah ke metana
Nilai energi metana	CH _{4,ev}	35,7	MJ/m ³	Kandungan enegi metana
Rata-rata efisiensi kelistrikan	Gen _{eff}	38-42	%	Efisiensi mesin konversi energi listrik

(Sumber: Rahayu. 2015)

Di bawah ini gambar bentuk penampang silinder digester anaerob (*Cylindrical Shaped Bio-Gas Digester Body*) yang di gunakan dalam mendisainan digester dengan penjelasan sebagai berikut:



Gambar 2.11 Penampang Digester Biogas Silinder
(Sumber: Sulistyono. 2010)

Total volume digester

$$V = V_c + V_{gs} + V_f + V_s \quad (2.7)$$

(Sumber: Trisakti, Dkk. 2013)

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.

Berdasarkan jumlah volume bahan baku (Q), maka dapat ditentukan volume kerja digester (*working volume digester*) yang merupakan penjumlahan volume ruangan penyimpanan (V_{gs}) dan volume ruangan fermentasi (V_f).

$$\text{Volume kerja digester} = V_{gs} + V_f \quad (2.8)$$

dari persamaan di atas dapat di simpulkan

$$V_{gs} + V_f = Q \times \text{HRT} \quad (2.9)$$

keterangan:

V_c : Volume Ruangan penampungan gas (*gas collecting chamber*)

V_{gs} : Volume Ruangan Penyimpanan Gas (*gas storage chamber*)

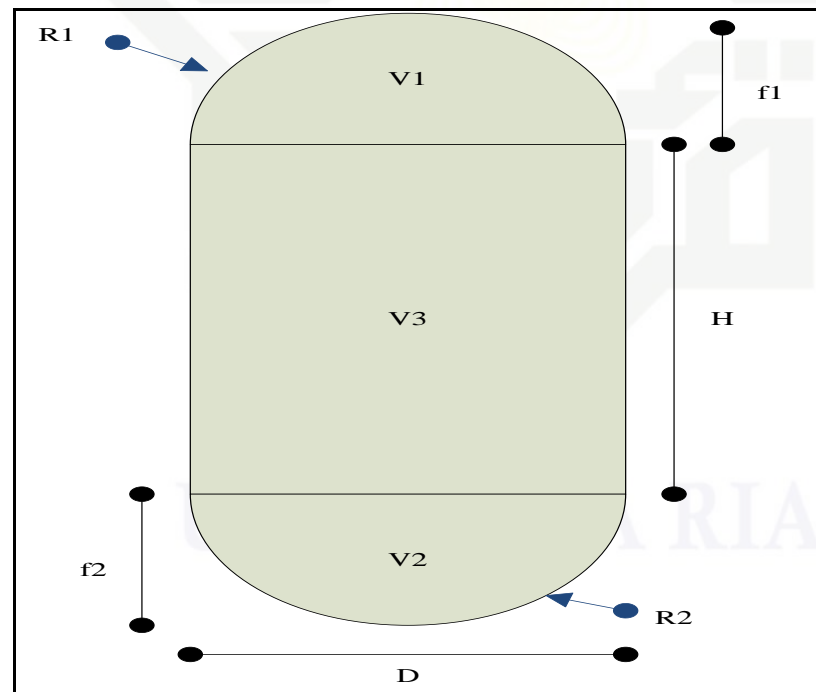
V_f : Volume Ruangan Fermentasi (*fermentation chamber*)

V_H : Volume Ruangan Hidrolik (*hydraulic chamber*)

V_s : Volume lapisan penampungan lumpur (*sludge layer*)

HRT : Waktu digestifikasi

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



Gambar 2.12. Dimensi Geometrikal Tanki Digester
(Sumber: Sulistyono, 2010)

Berdasarkan gambar dimensi geometrikal tangki digester diatas berlaku ketentuan bentuk geometrikal ruangan-ruangan digester sebagai berikut.

Tabel 2.12 Dimensi Geometrika Ukuran Tangki Digester Silinder

Volume (isi)	Dimensi geometrikal
$V_c \leq 5\%V$	$D=1,3078 V^{1/3}$
$V_s \leq 15\%V$	$V1=0,0827 D^3$
$V_{gs} + V_f = 80\% V$	$V2=0,05011D^3$
$V_{gs}=0,5(V_{gs}+V_f+V_s)K$	$V3=0,3142 D^3$
Dimana K= rasio konversi CH ₄ terhadap COD	$R1=0,725 D$
	$R2= 1,0625 D$
	$F1=D/5$
	$F2=D/8$
	$H=V3/3,14.D$
Tinggi digester = H+F1+F2	

(Sumber: Sulistyono, 2010)

2.6.3 Pemurnian Biogas (Purifikasi Biogas)

Biogas merupakan salah satu produk dari teknologi hijau yang sekarang sedang dikembangkan. Hal ini dikarenakan gas yang dihasilkan dari proses biologis (*anaerobic digester*) mampu menghasilkan gas – gas seperti CH₄, CO₂, H₂S, H₂O dan gas – gas lain. Dalam hal ini tentu saja yang dimanfaatkan adalah gas metana (CH₄), karena CH₄ memiliki nilai kalor/panas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar.

Kemurnian CH₄ yang dihasilkan dari biogas tersebut menjadi pertimbangan yang sangat penting, hal ini dikarenakan berpengaruh terhadap nilai kalor / panas yang dihasilkan. Sehingga CH₄ yang dihasilkan perlu dilakukan pemurnian terhadap *impurities-impurities* yang lain. Dalam hal ini *impurities* yang berpengaruh terhadap nilai kalor (panas) adalah CO₂, keberadaan CO₂ dalam gas CH₄ sangat tidak diinginkan, hal ini dikarenakan semakin tinggi kadar CO₂ dalam CH₄ maka akan semakin menurunkan nilai kalor CH₄ dan sangat mengganggu dalam proses pembakaran. Hal ini menyebabkan kemurnian CH₄ menjadi rendah (Nadliriyah, Dan Triwikantoro. 2013).

Pemurnian biogas mempunyai berbagai metode yang digunakan di suatu industri, pemilihan teknologi ini berdasarkan tingkat kemurnian dan harga, berikut jenis-jenis teknologi pemurnian biogas (Wahyu, dkk. 2012):

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

Pemurnian biogas menggunakan water scrubbing berdasarkan proses absorpsi fisis. Pemurnian ini dilakukan dengan prinsip kontak gas-cair secara arus berlawanan pada

suhu lingkungan dan tekanan 8 bar. Gas CO₂ dan H₂S terlarut terikut di dalam cairan absorben melalui aliran bawah kolom. Hal ini disebabkan gas CO₂ dan H₂S lebih soluble dibanding gas CH₄ di dalam air. Air yang mengandung CO₂ dan H₂S kemudian diregenerasi ke dalam kolom stripper.

Tabel 2.13 Dimensi *Absorber* dan *Stripper* Pemurnian Biogas *Water Scrubber*

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

(Wahyu, dkk. 2012)

2. Pemurnian biogas menggunakan MEA atau DEA

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

Tabel 2.14 Dimensi *Absorber* dan Kolom Regenerasi Pemurnian Biogas MEA

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

(Wahyu, dkk. 2012)

Tabel 2.15 Dimensi *Absorber* dan Kolom Regenerasi Pemurnian Biogas DEA

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

(Wahyu, dkk. 2012)

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

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

Tabel 2.16 Dimensi Kolom Adsorpsi Pemurnian Biogas *pressure swing adsorption*

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

(Wahyu, dkk. 2012)

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

Metode *Cryogenic Separation* pada pemurnian biogas melibatkan pemisahan campuran gas dengan cara kondensasi dan distilasi pada suhu sangat rendah. Proses ini memiliki keuntungan yaitu menghasilkan komponen murni dalam bentuk cairan yang

mudah dipindahkan namun biaya proses ini cukup tinggi. Dalam pemisahan ini biogas ditekan hingga 40 bar suhu -80 OC. Kompresi ini dilakukan dari multi-stage dan inter-cooling.

Tabel 2.17 Dimensi Menara Destilasi Pemurnian Biogas *cryogenic Separation*

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

(Wahyu, dkk. 2012)

2.6.4 Mesin Gas

Motor bakar terdiri dari motor dengan kerja bolak balik (*reciprocating engine*) dan motor dengan kerja putar (*rotary engine*). Motor dengan kerja bolak-balik terdiri dari motor bensin (*Otto*) dan motor Diesel, dengan sistem 2 tak maupun 4 tak.

Perbedaan utama motor bensin (*Otto*) dengan motor diesel adalah pada sistem penyalanya. Motor bensin dengan bahan bakar bensin dicampur terlebih dahulu dalam karburator dengan udara pembakaran sebelum dimasukkan ke dalam silinder (ruang bakar), dan dinyalakan oleh loncatan api listrik antara kedua elektroda busi. Karena itu motor bensin dinamai juga *Spark Ignition Engines*.

Parameter penting yang berpengaruh pada unjuk kerja motor bakar adalah sebagai berikut :

- 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).
- Tekanan Efektif Rata-Rata (*Brake Mean Effective Pressure = bmep*) Tekanan efektif rata-rata didefinisikan sebagai tekanan teoritis(konstan), yang apabila mendorong torak sepanjang langkah kerja dari motor dapat menghasilkan tenaga (tenaga poros).



c. 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.

Pemakaian Bahan Bakar Spesifik. Pemakaian bahan bakar spesifik menyatakan banyaknya bahan bakar yang dikonsumsi mesin per jam untuk setiap daya kuda yang dihasilkan. Harga pemakaian bahan bakar spesifik yang lebih rendah menyatakan efisiensi yang lebih tinggi. Jika dalam suatu pengujian mesin diperoleh data mengenai penggunaan jumlah bahan bakar (kg bahan bakar/jam), dan dalam waktu 1 jam diperoleh tenaga yang dihasilkan N.

2.7 Biaya Investasi

Ketersediaan dana (investasi) dan pengembalian investasi sangat perlu untuk melakukan sebuah proyek pembangkit biogas. Hal ini ditujukan untuk menarik minat investor agar mau menanamkan investasi di bidang energi terbarukan, khususnya pembangkit biogas dari limbah cair kelapa sawit (POME). Untuk menunjang ketertarikan investor dibutuhkan analisa ekonomi yang menunjang, hal ini di perlukannya perkiraan suku bunga pada tahun pendirian pembangkit agar investor dapat langsung menilai pertumbuhan dari modal yang akan di tanamkannya. Untuk penelitian ini penulis menggunakan tabel *cast flow* untuk memprediksi suku bunga pada saat pembangunan pembangkit.

2.7.1 Biaya Proyek

Biaya proyek biogas terdiri dari biaya teknik, pengadaan, dan pembangunan atau *engineering, procurement, and contruction* (EPC) dan biaya lainnya (non-EPC). Biaya EPC adalah semua biaya yang berkaitan dengan kegiatan rekayasa, pengadaan, dan konstruksi. Digester biogas dan sistem konversi biogas pada umumnya adalah dua komponen dengan biaya investasi yang besar. Biaya sistem konversi ini tergantung dari skenario pemanfaatan yang digunakan. Sedangkan biaya non-EPC meliputi biaya pengembangan, modal kerja, dan pembiayaan.

Pada bagian ini menggambarkan metodologi untuk mengestimasi biaya-biaya yang mungkin timbul dari pemanfaatan PLTBG. Biaya-biaya ini meliputi 2 (dua) komponen biaya utama yaitu biaya investasi modal dan biaya O&M. Perhitungan biaya produksi energi listrik PLTBG dibagi menjadi 2 (dua) tahap, yaitu tahap perhitungan biaya produksi biogas dan tahap perhitungan biaya produksi energi listrik PLTBG.

a. Biaya investasi dan O&M produksi biogas adalah sebagai berikut:

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.

1. Biaya Investasi Sistem Digester

Biaya investasi ini meliputi biaya investasi digester *anaerob* beserta komponen pelengkapannya seperti sistem kontrol emisi, pekerjaan sipil, pompa set, instalasi pipa, dan pekerjaan elektrikal. Jenis digester *anaerob* yang digunakan adalah beton bertulang dilapisi dengan pelindung berbahan busa dan *steroform*. Perhitungan biaya investasi digester dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (Rahayu,2015) dimana harga digester *complete mix* 3021,368 US\$/kW.

2. Biaya Investasi Penyimpanan Biogas

Biaya investasi ini mencakup biaya *pressurized storage vessels* (tangki baja *stainless steel*), *scrubbers* (peralatan pemurnian biogas), kompresor, *piping* dan *housing*. Perhitungan biaya investasi biogas *storage system* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Yeoh dalam Sulisty, 2010):

Biaya investasi penyimpanan biogas = $0,05407 \times v_{\text{biogas/tahun}}$ (US \$) (2.10)

3. Biaya Investasi Pemurnian Biogas

Biaya Investasi pemurnian biogas ini terdiri dari sistem kontrol, pemasangan dan tenaga kerja, sedangkan biogas yang diproduksi yaitu sebanyak 5.273,43 m³/hari. Jenis pemurnian biogas yang digunakan yaitu jenis *water scrubber* dengan kapasitas 7.500 m³, berdasarkan penelitian Wahyu dkk pada tahun 2012 biaya investasi pada pemurnian biogas dengan kapasitas 7.500 m³ sebesar US\$ 139.207,25.

4. Biaya Pengolahan *sludge*

Biaya ini merupakan biaya investasi bak penampungan *sludge*, bak ini digunakan untuk menampung *sludge* yang dihasilkan dari digester sebelum jual. *Sludge* yang dihasilkan digester ini sebesar 30% dari jumlah bahan baku (Wahyuni dalam Sulisty, 2010).

b. Biaya Investasi Produksi Listrik

Merupakan jumlah dari semua biaya investasi yang telah di keluarkan oleh investor. Di mulai dari biaya investasi di bidang produksi biogas sampai dengan biaya investasi di sektor produksi listrik.



2.7.2 Biaya Operasional dan Pemeliharaan

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

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

1. Biaya Operasional dan Pemeliharaan Sistem Digester

Biaya operasional dan pemeliharaan sistem digester ini terdiri dari penggunaan tenaga kerja berupa operator untuk mengoperasikan peralatan, biaya keperluan operasional dan biaya *spare part*. Berdasarkan penelitian Sulistyono pada tahun 2010, menjelaskan biaya operasional dan perawatan pada sistem digester pertahun sebesar 6,7% dari biaya investasi digester

2. Biaya O&M Tenaga Kerja

Biaya O&M *biogas handling* terdiri dari biaya tenaga kerja untuk mengoperasikan kompresor, biaya pemeliharaan dan penggantian *sparepart*. Dalam penelitian ini ditentukan biaya O&M pertahun sebesar 10,2% dari biaya investasi *biogas storage system* (Yeoh dalam Sulistyono, 2010).

3. Biaya Operasional dan Pemeliharaan Sistem Pembangkit Listrik

Biaya operasional dan pemeliharaan sistem pembangkit listrik terdiri dari biaya tenaga kerja dan pemeliharaan, biaya pemeliharaan ini meliputi minyak pelumas, filter, baterai, busi dan komponen lainnya pada proses konversi listrik. Biaya perawatan sistem pembangkit listrik atau *gas engine* ini sebesar Rp.110,4/kWh (Sulistyono, 2010).

2.7.3 Biaya Produksi Biogas dan Listrik

Menentukan biaya produksi pada pembangkit listrik tenaga biogas terbagi atas dua komponen yaitu biaya produksi biogas, biaya produksi listrik dan biaya PLTBG.

1. Perhitungan Biaya Produksi Biogas

Biaya produksi biogas pertahun ditentukan dari biaya operasional dan pemeliharaan tahunan serta biaya penyusutan dari modal selama masa usia proyek (20 tahun). Dengan menggunakan persamaan.

$$\text{biaya penyusutan modal} = \frac{\text{total biaya investasi produksi biogas}}{\text{usia proyek}} \quad (2.11)$$

Dan untuk jumlah produksi biogas pertahunnya dapat di hitung dengan persamaan.

$$\text{Biaya Produksi Biogas} = \frac{\text{Biaya produksi pertahun}}{\text{jumlah produksi}} \quad (2.12)$$



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

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

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

2. Biaya Produksi Listrik

Menentukan biaya produksi listrik berdasarkan penyusutan biaya investasi produksi listrik selama umur proyek (20 tahun) dan biaya operasional dan perawatan peralatan produksi listrik. Besarnya biaya penyusutan modal selama 20 tahun dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan.

$$\text{biaya penyusutan modal} = \frac{\text{total biaya investasi produksi listrik}}{\text{usia proyek}} \quad (2.13)$$

3. Biaya Produksi PLTBG

Biaya produksi biogas pertahun ditentukan dari biaya operasional dan pemeliharaan tahunan serta biaya penyusutan dari modal selama masa usia proyek (20 tahun). Besarnya biaya penyusutan modal selama 20 tahun.

2.7.4 Biaya investasi dan O&M produksi energi listrik PLTBG

Komponen biaya investasi antara lain adalah *gas engine*, *transformator* dan jaringan. Penggunaan *transformator* merupakan alat untuk menaikkan tegangan yang dihasilkan oleh PLTBG sehingga energi listrik dapat di *on-grid* kan dengan jaringan PLN, dalam hal ini istilah *on-grid* merupakan menyalurkan energi listrik yang dihasilkan ke jaringan utama PLN, dengan tujuan mendapatkan keuntungan dari penjualan energi listrik tersebut. Perhitungan biaya investasi dan O&M produksi energi listrik PLT biogas dilakukan pada jenis teknologi konversi pembangkit yang tersedia di pasaran. Biaya tetap operasi dan pemeliharaan biasanya terdiri dari biaya tenaga kerja dan biaya pemeliharaan. Biaya pemeliharaan terutama meliputi minyak pelumas, filter, baterai, busi dan sebagainya. Biaya operasi dan pemeliharaan untuk *gas engine* ialah Rp. 110,4/kWh (Sulistyo, 2010). *Gas engine* biasanya memerlukan perbaikan (*major overhaul*) setiap 48.000–60.000 jam operasi, tergantung pada merk *gas engine* yang digunakan.

Untuk biaya pemasangan jaringan skenario biogas menjadi listrik, maka jaringan yang akan dibangun antara lain adalah jaringan di area pabrik dan jaringan sambungan ke jaringan PLN yaitu USD 28.000- 42.000/km (Rahayu, 2015).

2.7.5 Perhitungan Biaya Pendapatan

Perhitungan biaya pendapatan dilakukan terhadap jenis teknologi yang akan digunakan, dalam hal ini tegangan yang dihasilkan PLTBG di alirkan (*on grid*) ke jaringan PLN. Pendapatan dari PLTBG dari limbah cair kelapa sawit ini berasal dari penjualan listrik. Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM terbaru Nomor 27/2014 mengatur *feed-in-*



tarif untuk energi terbarukan dari biomassa dan biogas. *Feed-in-tarif* ini sebesar Rp.1.050,00/kWh untuk sambungan pada tegangan menengah dan Rp. 1.400,00/kWh untuk sambungan pada tegangan rendah. Faktor pengali (F) tarif berlaku berdasarkan lokasi proyek, Tabel 2.14 menggambarkan *feed-in-tarif* dan faktor perkalian untuk daerah yang berbeda.

Tabel 2.18 *Feed-in-tarif* untuk Energi Terbarukan dari *Biomassa* dan Biogas

Wilayah	Faktor Perkalian (F)	<i>Feed-in-tarif</i> (Rp/kWh)	
		Tegangan Menengah	Tegangan Rendah
Jawa	1,00	1.050,00	1.400,00
Sumatera	1,15	1.207,50	1.620,00
Sulawesi	1,25	1.312,50	1.750,00
Kalimantan	1,30	1.365,00	1.820,00
Pulau Bali, Pulau Bangka Belitung, Pulau Lombok	1,50	1.575,00	2.100,00
Kepulauan Riau, Papua dan Pulau lainnya.	1,60	1.680,00	2.240,00

Sumber: Permen ESDM (2014).

2.7.6 Evaluasi Kelayakan Finansial

Analisa *cost-benefit* merupakan analisa yang digunakan untuk mengetahui besaran keuntungan atau kerugian serta kelayakan suatu proyek. Dalam perhitungannya, analisa ini memperhitungkan biaya serta manfaat yang akan di peroleh dari pelaksanaan suatu proyek. Dalam analisa *cost-benefit* perhitungan manfaat serta biaya merupakan sebuah kesatuan yang tidak dapat dipisahkan. analisa ini mempunyai banyak penerapan. Salah satu bidang penerapan yang umum menggunakan rasio ini adalah dalam bidang investasi.

Analisa *cost-benefit* mempunyai penekanan dalam perhitungan tingkat keuntungan atau kerugian suatu proyek dengan mempertimbangkan biaya yang akan di keluarkan serta manfaat yang akan dicapai. Penerapan analisa ini banyak digunakan para investor dalam upaya pengembangan bisnisnya. Terkait dengan hal ini maka analisis manfaat dan biaya dalam pengembangan investasi hanya berdasarkan pada rasio tingkat keuntungan dan biaya yang akan dikeluarkan. (Hafidh. 2010)

Secara umum, metode *Cost Benefit Analysis* (CBA) adalah: “Cara untuk menentukan apakah hasil yang menguntungkan dari sebuah alternatif, akan cukup untuk



dijadikan alasan dalam menentukan biaya pengambilan alternatif. Analisa ini telah dipakai secara luas dalam hubungannya dengan proyek pengeluaran modal”. CBA adalah suatu teknik yang paling umum untuk menghitung biaya (*cost*) dan keuntungan/manfaat (*benefit*) dalam suatu proyek.

Dalam analisa *cost-benefit* di perlukan perhitungan-perhitungan untuk mengetahui nilai dari jumlah investasi yang akan ditentukan. dalam hal ini penulis menggunakan metode-metode penilaian investasi untuk menganalisa kelayakan ekonomi ini antara lain:

2.7.4.1 Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) didasarkan pada metode *discounted cash flow* (DCF).

Metode ini adalah nilai sekarang dari setiap arus kas termasuk arus kas masuk dan arus kas keluar, yang didiskontokan pada biaya modal (*discount rate*) proyek, dengan formulasi sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{At}{(1+k)^t} \quad (2.14)$$

dengan:

k : Suku bunga

At : Aliran kas pada periode t

n : Periode yang terakhir di mana aliran kas diharapkan

(Sumber: Dewi. 2010)

Penilaian kriteria suatu proyek investasi dapat diterima jika NPV lebih dari 0 (NPV > 0) dan suatu proyek akan ditolak jika NPV lebih kecil dari 0 (NPV < 0).

Ada 3 (tiga) sifat mendasar dari *Net Present Value* adalah:

1. Menggunakan arus kas, arus kas ini dapat digunakan untuk keperluan lain seperti pembayaran *dividen*, *capital budgeting* proyek yang lain atau untuk membayar bunga pinjaman.
2. Menggunakan semua arus kas dari proyek, pendekatan yang lain mengabaikan arus kas diantara waktu tertentu.
3. Mendiskontokan arus kas dengan pantas, pendekatan yang lain mengabaikan nilai waktu uang (*time value of money*) dari uang.



2.7.4.2 Internal Rate of Return (IRR)

Internal Rate Of Return (IRR) digunakan untuk menghitung tingkat bunga yang dapat menyamakan antara nilai sekarang dari semua aliran kas masuk dengan aliran kas keluar dari suatu investasi proyek menurut Suliyanto (2010:211). Rumus yang digunakan untuk menghitung Rumus IRR untuk interpolasi adalah:

$$IRR = P_1 - C_1 \frac{P_2 - P_1}{C_2 - C_1} \quad (2.15)$$

Keterangan:

P1 : tingkat bunga pertama

P2 : tingkat bunga kedua

C1 : NPV ke-1

C2 : NPV ke-2

Kriteria penilaiannya adalah jika IRR yang didapat ternyata lebih besar *Rate of return* yang ditentukan maka investasi dapat diterima.

(Sumber: Dewi. 2010)

2.7.4.3 Payback Period (PBP)

Payback Period pada dasarnya bertujuan untuk mengetahui seberapa lama (periode) atau waktu yang diperlukan agar investasi mencapai kondisi pulang pokok atau BEP (*break even point*). Lamanya periode pengembalian (k) pada saat kondisi BEP adalah:

$$K_{(PBP)} = \frac{\text{investasi}}{\text{pemasukan}} \times \text{periode waktu} \quad (2.16)$$

Dari hasil analisis dengan metode *payback period*, nantinya akan dipilih alternatif investasi yang mempunyai periode tersingkat. Penggunaan analisis ini hanya digunakan untuk mendapatkan informasi tambahan guna mengukur seberapa cepat pengembalian modal yang diinvestasikan. Untuk menyatakan bahwa suatu rencana investasi dapat dikatakan layak (*feasible*) dengan metode PBP, maka digunakan kriteria sebagai berikut :

Jika $k \leq n$, maka dikatakan layak (*feasible*)

Jika $k \geq n$, maka dikatakan tidak layak (*unfeasible*)

dengan:

k : jumlah periode pengembalian

n : umur investasi

(Sumber: Dewi. 2010)



2.7.4.4 Analisa Ekonomi Menggunakan *Software RETScreen*

RETScreen International Project Clean Energy Analysis Software adalah alat terkemuka khusus ditujukan untuk memfasilitasi pra-kelayakan dan analisa kelayakan teknologi energi bersih. Inti dari alat ini terdiri dari analisa proyek standar dan terintegrasi software yang dapat digunakan di seluruh dunia untuk mengevaluasi biaya produksi energi, siklus hidup dan pengurangan emisi gas rumah kaca untuk berbagai jenis energi yang diusulkan efisien dan teknologi energi terbarukan. Semua model teknologi energi bersih di *RETScreen* yang *Software* memiliki tampilan umum dan mengikuti pendekatan standar untuk memfasilitasi pengambilan keputusan Setiap model juga mencakup terintegrasi produk, biaya dan database cuaca dan user manual yang rinci secara online, semua yang membantu untuk secara dramatis mengurangi waktu dan biaya yang terkait dengan mempersiapkan studi pra-kelayakan. *Software RETScreen* mungkin yang tercepat dan termudah alat untuk estimasi kelangsungan hidup potensial proyek energi bersih.

RETScreen menyediakan akses ke database iklim global berdasarkan pengukuran tanah dan data satelit NASA, analisa proyek di seluruh dunia yang memungkinkan. Perangkat lunak ini tersedia dalam 35 bahasa dan termasuk database peralatan untuk komponen yang diproduksi dan tersedia di seluruh dunia. sumber pelatihan untuk belajar sendiri, digunakan dalam program pelatihan atau program universitas termasuk webcast, slide presentasi, dan catatan instruktur, studi kasus, pengguna dan bahan lainnya.

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.

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau