



2.1 Penelitian Terkait

Penelitian tugas akhir ini dilakukan studi literatur yang merupakan pencarian teori serta referensi yang relevan dengan kasus dan permasalahan yang akan diselesaikan, teori dan referensi didapat dari jurnal, paper, buku dan sumber lainnya yang berhubungan dengan pembuatan, pemanfaatan, analisa kelayakan serta perencanaan produksi biogas dan yang mendukung dalam penelitian tersebut.

Riki dkk, (2015) dalam penelitiannya yaitu Studi Analisis Daya Pembangkit Listrik Biogas Dari Kotoran Sapi dan Manusia Di Pondok Pesantren Baiturrahman Jawa Barat. Indonesia kaya dalam berbagai jenis energi baik berbasis fosil atau non fosil. Dengan demikian studi analisis daya yang dibangkitkan dari pembangkit biogas diperlukan untuk keperluan pengembangan energi nasional. Proses studi analisis daya yang dilakukan adalah dengan memasang *flow meter* untuk melihat konsumsi biogas sebagai bahan bakar ketika tanpa beban dan ketika berbeban menggunakan *dummy load*, melihat tegangan keluaran dengan osiloskop, serta melakukan analisis perhitungan daya dari kotoran organik sebagai bahan baku pembangkit biogas dikapasitas 1 kW. Hasil studi didapatkan daya keluaran yang dihasilkan pada beban 0,5kW adalah 399,9 watt dengan menggunakan genset biogas berkapasitas 1 kW. Banyak kotoran organik total dari manusia dan sapi 1,3 m³/hari dengan kadar metana sebesar 52,5% dapat menghasilkan daya input 5.251,4 watt.

Selly dkk, (2012) yang meneliti tentang Kajian Pemakaian Sampah Organik Rumah Tangga Untuk Masyarakat Berpenghasilan Rendah Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biogas. Dilakukan 2 variasi, variasi pertama yaitu perbandingan komposisi antara sampah sisa makanan dan kotoran sapi 70:30, 50:50, 30:70. Variasi kedua yaitu penambahan EM 4 sebesar 0,1% pada reaktor yang menghasilkan gas paling optimum pada variasi 1. Penelitian dilakukan secara batch untuk mengetahui kondisi optimum dari perbandingan komposisi sampah rumah tangga dengan kotoran sapi. Dalam penelitian ini menggunakan 8 reaktor dengan 2 reaktor sebagai kontrol. Reaktor terbuat dari jerigen plastik bervolume 7 L yang dilengkapi selang untuk mengalirkan gas dari reaktor dan juga ruangan dengan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA



sekat untuk menampung gas hasil proses fermentasi. Gelas ukur diisi penuh dengan air untuk mengetahui berapa volume gas yang dihasilkan. Parameter dalam penelitian ini adalah COD, pH, temperatur, TS, dan VS. Parameter diukur di awal dan akhir penelitian. Volume gas diukur selama penelitian. Penelitian dilakukan selama 21 hari. Dari hasil penelitian, Diantara ketiga perbandingan komposisi yang menghasilkan volume biogas paling optimal adalah pada Reaktor A3 yaitu perbandingan komposisi sampah makanan dan kotoran sapi 30 : 70 dengan rata-rata 1074,28 L/hari. Setelah didapatkan volume gas yang optimal, dilakukan variasi kedua yaitu penambahan EM 4 sebanyak 7 ml. Namun pada variasi kedua yaitu penambahan EM 4 pada Reaktor A3 yaitu sebanyak 7 ml kurang berpotensi dalam menghasilkan biogas. Hal ini disebabkan cairan EM4 mengandung berbagai bakteri yang dapat menguraikan selulosa menjadi senyawa sederhana dan kemudian difermentasi menjadi asam, sehingga gas tidak bisa diproduksi lagi.

Sudaryono, (2012) dalam penelitiannya yaitu Pemanfaatan Biogas dari Limbah Kotoran Ternak Sebagai Sumber Energi Listrik, Studi kasus di Desa Sutenjaya, Lembang, Jawa Barat. Dalam penelitian ini dipaparkan bahwa Pertumbuhan industri susu olahan di Indonesia diharapkan akan mampu menjadi daya tarik bagi peternak lokal. Dari hasil pengukuran kandungan CH₄ berkisar antara (56,67 – 62,8%), sedang kandungan CO₂ berkisar antara (36,36 – 42,64%). Nilai tersebut berada diantara kandungan metan dan karbon dioksida pada batas secara teori. Volume biogas yang dihasilkan selama 24 jam berkisar antara (4,218 - 6,198) M³, atau rata-rata gas yang dihasilkan sebanyak : 5,096 M³ perhari. Listrik yang dihasilkan = 3,822 kWh. Genset dengan daya 500 Watt maka listrik bisa menyala selama 7 jam. Dari hasil analisis laboratorium terhadap padatan sludge dapat diketahui bahwa C/N ratio tergolong masih tinggi yaitu 42,6, padahal C/N ratio yang diizinkan berkisar antara 15 – 25. Hal ini disebabkan karena C organiknya sangat tinggi akibat proses komposing masih terlalu singkat, unsur N sangat rendah karena nitrogen masih dalam rantai yang kompleks sehingga diperlukan pemberian bakteri penambat N, diantaranya adalah: bakteri *Azotobacter*, *Azotomonas*, *Pseudomonas*.

Waskito, (2011) dalam penelitiannya yaitu Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dengan Pemanfaatan Kotoran Sapi di Kawasan Usaha Peternakan Sapi. Penelitian ini memaparkan hasil penelitian melalui proses *digestifikasi anaerobic*, kotoran ternak sapi



di peternakan kawasan usaha peternakan sapi dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku produksi biogas, selanjutnya biogas tersebut dapat dimanfaatkan menjadi energi primer untuk pembangkit listrik tenaga biogas. Dengan rata-rata produksi kotoran sapi perah sebesar 55 ton/hari menghasilkan produksi biogas sebesar 2.200 m³/hari. Potensi energi listrik yang dihasilkan 16.390,86 kWh per hari. Potensi tersebut menghasilkan 217.45 kW.

Maulana dkk, (2011) dalam penelitiannya yaitu kajian biogas sebagai sumber pembangkit tenaga listrik di Pesantren Saung Balong Al-Barokah, Majalengka, Jawa Barat. Pemanfaatan biogas dari kotoran sapi sebagai alternatif bahan bakar pembangkit listrik dilakukan melalui proses *anaerobic. Pilot Plant* dengan produksi biogas sebesar 7 m³/hari telah terpasang di Pesantren Saung Balong. Biogas ini dimanfaatkan untuk keperluan sehari-hari seperti memasak dan penerangan, dan digunakan sebagai bahan bakar pure biogas dengan genset skala 2.500 Watt. Produksi biogas rata-rata sebesar 0,040 m³ per 30 menit atau 0,080 m³/jam. Biogas yang dihasilkan selama pengukuran (450 menit) adalah 0,604 m³. Dengan data tersebut maka diperkirakan dalam sehari (24 jam) biogas yang dapat dihasilkan adalah sebesar 1,92 m³. Sementara, konsumsi biogas untuk genset pada beban 1.047 W adalah 0,019 m³/menit, genset akan beroperasi selama 101,05 menit atau sekitar 1,68 jam. Dengan demikian listrik yang dapat dihemat adalah 1,759 kWh per-hari atau 52,77 kWh per-bulan dan biaya listrik yang dapat dihemat yaitu sebesar Rp. 40.896/bulan.

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu yang melakukan penelitian hanya terfokus kepada menganalisa potensi serta melakukan kajian terhadap energi biogas dari berbagai bahan baku. Maka dari itu dalam penelitian ini memiliki beberapa kelebihan dan perbedaan dari penelitian terdahulu yaitu penelitian ini terfokus kepada analisa perancangan pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBG) skala rumah tangga, perancangan PLTBG ini mencakup aspek teknis berupa kapasitas produksi, teknologi yang digunakan dan desain rancangan pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBG) skala rumah tangga. Pada aspek ekonomi terdiri dari biaya *financial* yaitu meliputi biaya yang dikeluarkan dalam proses pembuatan digester skala rumah tangga. Aspek *financial* seperti *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Pay Back Period* (PBP).

Dalam penelitian ini peneliti menganalisa perancangan pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBG) dari sampah organik rumah tangga sebagai sumber energi alternatif.



Energi listrik yang dihasilkan kemudian dimanfaatkan sebagai pengganti energi listrik pada sebuah masjid yang terdapat pada Perumahan Diamond Residence Kota Pekanbaru. Sampah organik yang menjadi bahan baku berasal dari sampah sehari-hari yang dihasilkan oleh kompleks perumahan tersebut yang kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas, lalu dikonversi menjadi energi listrik yang kemudian dijadikan sebagai pengganti energi listrik pada masjid.

2.2 Teori

2.2.1 Biogas

Menurut Wahyuni (2013), biogas adalah gas mudah terbakar yang dihasilkan dari proses penguraian bahan organik oleh bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara (bakteri *anaerob*) terhadap limbah-limbah organik baik di digester maupun di tempat pembuangan akhir sampah. Gas ini sering dimanfaatkan untuk pemanas, memasak, pembangkit listrik dan transportasi. Biogas dihasilkan dari fermentasi *anaerob* oleh bakteri *metanogenesis* pada bahan-bahan organik seperti kayu/tumbuhan, buah-buahan, kotoran hewan dan manusia merupakan campuran gas metan (55-75%), CO₂ dan gas lainnya. Komposisi biogas bervariasi tergantung pada limbah organik dan proses fermentasi *anaerob*, dengan komposisi lengkap sebagai berikut:

Tabel 2.1. Komposisi Kandungan Biogas

Komponen	%
Metana (CH ₄)	55-75
Karbondioksida (CO ₂)	25-45
Nitrogen (N ₂)	0-0,3
Hidrogen (H ₂)	1-5
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	0-3
Oksigen (O ₂)	0,1-0,5

(Sumber : Sulisty, 2010)

Dalam tulisan ini potensi limbah organik adalah dari sampah organik yang berasal dari sisa rumah tangga seperti sampah sayuran, buah-buahan, nasi daging/ikan.



Biogas kira-kira memiliki berat 20 persen lebih ringan dibandingkan udara dan memiliki suhu pembakaran antara 650 sampai 750^o C. Biogas tidak berbau dan berwarna yang apabila dibakar akan menghasilkan nyala api biru cerah seperti gas LPG. Nilai kalor gas metana adalah 20 MJ/m³ dengan efisiensi pembakaran 60 persen pada konvensional kompor biogas. Selain dimanfaatkan untuk bahan bakar memasak, biogas sangat potensial sebagai sumber energi terbarukan karena nilai kalor pada gas metananya tersebut. Sehingga biogas dapat dimanfaatkan untuk penerangan, proses pengeringan, untuk proses penghasil panas, untuk kendaraan bermotor dan pembangkit tenaga listrik (Wahyuni, 2013).

Pemanfaatan biogas mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan BBM (bahan bakar minyak) yang berasal dari fosil diantaranya biogas mempunyai sifat yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Bahan bakar fosil yang pembakarannya kurang sempurna menghasilkan CO₂ yang merupakan salah satu gas penyebab pemanasan global. Sampah organik yang dibiarkan menumpuk dalam alam terbuka dapat menghasilkan gas metana (NH₄) sebagai akibat proses pembusukan sampah yang bereaksi dengan oksigen (O₂), gas metana mempunyai sifat polutan 21 kali dari sifat polutan CO₂, sehingga dengan dimanfaatkannya sampah sebagai bahan baku biogas dapat menekan jumlah gas metana yang langsung dilepaskan ke udara karena gas metana sebagai salah satu komponen utama biogas digunakan dalam proses pembangkitan tenaga listrik.

2.2.2 Perkembangan Biogas di Indonesia

Menurut (Wahyuni, 2013). biogas dikembangkan oleh orang-orang dari negeri Cina berupa campuran gas yang berupa campuran gas yang berasal dari rawa atau biasa disebut dengan gas rawa metana. Proses fermentasi untuk membentuk gas metana ini baru ditemukan oleh Alessandro Volta pada tahun 1778, sedangkan digester *anaerobic* untuk mengolah biogas dibangun pada tahun 1896 di Inggris. Sejak saat itu biogas mulai banyak dimanfaatkan terutama oleh kalangan petani untuk menggerakkan alat-alat mekanik seperti traktor. Namun, sering dengan dikembangkannya energi dari bahan bakar minyak membuat penggunaan biogas mulai ditinggalkan.

Di Indonesia, biogas sebagai energi alternatif sebetulnya mulai dikembangkan pada tahun 1970-an. Hampir sama seperti di luar negeri, pengembangannya juga terhambat



karena tingginya penggunaan bahan bakar minyak. Teknologi biogas baru berkembang kembali sejak tahun 2006, pada saat itu didalam negeri mulai ramai dengan kasus kelangkaan bahan bakar minyak dan permasalahan terkait energi lainnya.

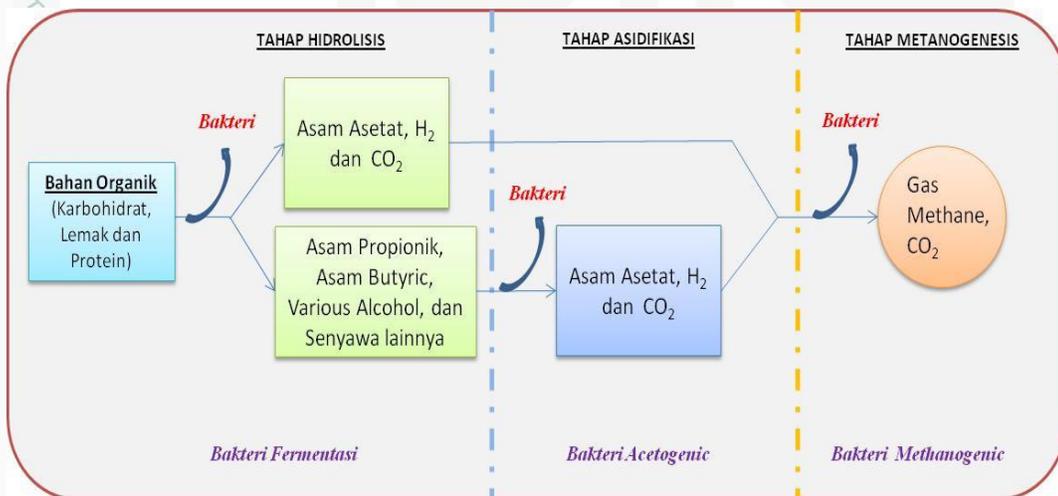
Saat ini, biogas memang dikembangkan untuk dijadikan energi alternatif pengganti bahan bakar minyak di tingkat nasional. Kesadaran masyarakat untuk pemenuhan kebutuhan energi yang berbiaya murah dan ramah lingkungan menjadikan biogas sebagai pilihan yang tepat terutama bagi masyarakat di daerah pedesaan atau pelosok. Peralnya di daerah pedesaan yang sulit terjangkau, sering sekali mengalami kesulitan bahan bakar tidak hanya dalam hal penyediaan, tetapi juga akses untuk mendapatkannya.

Menurut Wahyuni (2013), dilihat dari segi aspek ekologis, social, maupun budaya, Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan biogas terutama untuk pemenuhan kebutuhan energi dikalangan rumah tangga. Hal ini turut didorong oleh beberapa kondisi seperti dibawah ini.

1. Ketersediaan bahan baku biogas, terutama yang berasal dari limbah peternakan sangat mendukung produksi biogas dalam skala industri, limbah organik rumah tangga untuk biogas skala rumah tangga. Dengan potensi yang ada, tetapi belum dimanfaatkan secara maksimal.
2. Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki problematika penyediaan energi yang merata di semua wilayah. Hal ini disebabkan oleh sulitnya penyaluran bahan bakar hingga ke daerah-daerah pelosok yang belum mempunyai sarana dan prasarana penghubung memadai. Hal ini kemudian berakibat banyak wilayah pedesaan di pelosok negeri yang kesulitan memenuhi kebutuhan energinya. Contoh kasus dapat dilihat di wilayah-wilayah transmigrasi yang belum memiliki alat penerangan memadai akibat ketiadaan bahan bakar untuk penggerak mesin generator listrik.
3. Adanya regulasi nasional yang baru dibidang energi seperti kenaikan tarif dasar listrik, kenaikan harga gas elpiji, minyak tanah, dan harga sumber energi lainnya sehingga hal ini mendorong adanya upaya untuk pengadaan energi alternatif. Harapannya, energi alternatif tersebut selain lebih terjangkau juga berkelanjutan dan ramah lingkungan. Salah satunya adalah melalui pengembangan biogas yang lebih terjangkau oleh masyarakat menengah kebawah.

2.2.3 Proses Penguraian Limbah Organik Menjadi Biogas

Secara umum, alur proses pencernaan/digesting limbah organik sampai menjadi biogas dimulai dengan pencernaan limbah organik yang disebut juga dengan *fermentation/digestion anaerob*. Pencernaan tergantung kepada kondisi reaksi dan interaksi antara bakteri methanogens, non-methanogens dan limbah organik yang dimasukkan sebagai bahan input/feedstock kedalam digester. Proses pencernaan ini (*methanization*) disimpulkan secara sederhana melalui tiga tahap, yaitu: *hidrolisis (liquefaction)*, *asidifikasi (acyd production)* dan *metanogenesis (biogas production)* seperti gambar berikut (Saragih, 2010) :



Gambar 2.1. Tiga Tahapan Proses Fermentasi Anaerob Limbah Organik (Sumber : Saragih, 2010)

Sesuai dengan gambar 2.1 diatas proses pembentukan biogas adalah sebagai berikut:

2.2.3.1 Hidrolisis

Hidrolisis merupakan penguraian senyawa kompleks atau senyawa rantai panjang menjadi senyawa yang sederhana. Pada tahap ini bahan-bahan organik seperti karbohidrat, lipid dan protein didegradasi menjaadi senyawa rantai pendek seperti asam amino dan gula sederhana. Kelompok bakteri *hidroisa* seperti *steptococci*, *bakteriodes* dan beberapa jenis *enterobaktericeae* yang melakukan proses ini. Pada tahap ini bahan yang tidak larut seperti selulossa, polisakarida dan lemak diubah menjadi bahan larut dalam air seperti



karbohidrat dan asam lemak. Tahap pelarutan berlangsung pada suhu 25°C didalam *digester*.

2.2.3.2 Asidogenesis

Asidogenesis adalah pembentukan asam dari senyawa sederhana. Pada tahap ini memproses senyawa terlarut pada hidrolisis menjadi asam-asam lemak rantai pendek yang umumnya asam asetat dan asam format. Pada tahap ini bakteri asam menghasilkan asam asetat dalam suasana *anaerob*. Tahap ini juga berlangsung pada suhu 25°C pada *digester*.

2.2.3.3 Metanogenesis

Metanogenesis adalah proses pembentukan gas metan dengan bantuan bakteri pembentuk metan seperti *methanobacterium*, *methanosakaria* dan *methanococcus*. Tahap ini mengubah asam-asam lemak rantai pendek menjadi H₂, CO₂ dan asetat. Asetat akan mengalami dekarboksilasi dan reduksi CO₂, kemudian bersama-sama dengan H₂ dan CO₂ menghasilkan produk akhir, yaitu metan (CH₄), dan karbondioksida (CO₂). Pada tahap ini, bakteri metana membentuk gas metana secara perlahan secara *anaerob*. Proses ini berlangsung selama 14 hari pada suhu 25°C didalam *digester*. Pada proses ini akan dihasilkan 70% CH₄, 30% CO₂ sedikit H₂ dan H₂S. Biogas merupakan suatu gas metan yang terbentuk karena proses fermentasi secara *anaerobik* oleh metan dan *methanobacterium* atau disebut juga bakteri *anaerobic*.

2.2.4 Parameter-parameter Proses Penguraian Limbah Organik Menjadi Biogas

Terdapat beberapa parameter-parameter yang mempengaruhi proses penguraian limbah organik untuk menjadi biogas, diantaranya (Saragih, 2010) :

2.2.4.1 Suhu

Suhu sangat menentukan lamanya proses pencernaan di *digester*. Bila suhu meningkat, umumnya produksi biogas juga meningkat sesuai dengan batas-batas kemampuan bakteri mencerna sampah organik.

Ada tiga kondisi digestifikasi *anaerobic* berdasarkan suhu digesternya, antara lain:

1. Kondisi *Psikofilik*

Pada kondisi ini suhu *digester* antara 10-18°C, dan sampah cair terdigestifikasi selama 30-52 hari.



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. Kondisi *Mesopilik*

Pada kondisi ini suhu digester antara 20-45°C, dan sampah cair terdigestifikasi selama 18-28 hari. Dibandingkan digester kondisi *termopilik*, digester kondisi *mesopilik* pengoperasiannya lebih mudah, tapi biogas yang dihasilkan lebih sedikit dan volume digester lebih besar.

3. Kondisi *Termopilik*

Pada kondisi ini suhu digester antara 50-70°C, dan sampah cair terdigestifikasi selama 11-17 hari. Digester pada kondisi *termopilik* menghasilkan banyak biogas, tapi biaya investasinya tinggi dan pengoperasiannya rumit.

2.2.4.2 Nutrisi dan Penghambat bagi Bakteri *Anaerob*

Bakteri *Anaerobik* membutuhkan nutrisi sebagai sumber energi untuk proses reaksi *anaerob* seperti mineral-mineral yang mengandung Nitrogen, Fosfor, Magnesium, Sodium, Mangan, Kalsium, Kobalt. Nutrisi ini dapat bersifat *toxic* (racun) apabila konsentrasi di dalam bahan terlalu banyak. Di bawah ini tabel konsentrasi kandungan kimia mineral-mineral yang diijinkan terdapat dalam proses pencernaan/*digestion* limbah organik, yakni:

Tabel. 2.2. Kandungan Mineral-Mineral yang Diiijinkan

METAL	MG/LITER
Sulphate (SO ₄ -)	5000
Sodium chloride	40000
Copper	100
Chromium	200
Nickel	200-500
Cyanide Below	25
Alkyl Benzene Sulfonate	40 ppm
Ammonia	3000
Sodium	5500
Potassium	4500
Calcium	4500
Magnesium	1500

(Sumber : Saragih, 2010)



Selain karena konsentrasi mineral-mineral melebihi ambang batas di atas, polutan-polutan yang juga menyebabkan produksi biogas menjadi terhambat atau berhenti sama sekali adalah ammonia, antibiotik, pestisida, detergen, dan logam-logam berat seperti *chromium*, *nickel*, dan *zinc*.

2.2.4.3 Lama Proses Penguraian

Lama proses (*Hydraulic Retention Time-HRT*) adalah jumlah hari proses pencernaan/*digesting* pada tangki *anaerob* terhitung mulai pemasukan bahan organik sampai proses awal pembentukan biogas dalam *digester anaerob*. HRT meliputi 70-80% dari total waktu pembentukan biogas secara keseluruhan. Lamanya waktu HRT sangat tergantung dari jenis bahan organik dan perlakuan terhadap bahan organik (*feedstock substrate*) sebelum dilakukan proses pencernaan/*digesting* diproses.

Rata-rata lama proses penguraian berkisar 33 hari. (Wahyuni, 2010)

2.2.4.4 Derajat Keasaman (pH)

Mempunyai efek terhadap aktivasi mikroorganisme. Konsentrasi derajat keasaman (pH) yang ideal antara 6,6 dan 7,6. Bila pH lebih kecil atau lebih besar maka akan mempunyai sifat toksit terhadap bakteri metanogenik. Bila proses *anaerob* sudah berjalan menuju pembentukan biogas, pH berkisar 7-7,8.

2.2.4.5 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 *anaerobic* 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. Rasio C/N beberapa bahan organik dapat dilihat pada tabel 2.3. Bahan organik yang bernilai C/N tinggi dapat dicampur dengan yang lebih rendah sehingga diperoleh nilai rasio C/N yang ideal. Rasio C/N beberapa bahan organik dapat dilihat pada tabel 2.3.



Tabel 2.3 Rasio C/N beberapa bahan organik

Bahan Organik	Rasio C/N
Kotoran Ayam	10
Kotoran Kambing	12
Kotoran Babi	18
Kotoran Sapi	24
Sampah Buah-buahan dan Sayuran (organik)	25

(Sumber : Saragih, 2010)

2.2.4.6 Total Solid (TS) dan Volatile Solid (VS)

Pengertian *total solid content* (TS) adalah jumlah materi padatan yang terdapat dalam limbah pada bahan organik selama proses digester terjadi dan ini mengindikasikan laju penghancuran/pembusukan material padatan limbah organik. *Total Solid* merupakan salah satu faktor yang dapat menunjukkan telah terjadinya proses pendegradasian karena padatan ini akan dirombak pada saat terjadinya pendekomposisian bahan. Jumlah TS biasanya direpresentasikan dalam % bahan baku.

Pengertian *volatile solid* (VS) Merupakan bagian padatan (*total solid*-TS) yang berubah menjadi fase gas pada tahapan asidifikasi dan metanogenesis sebagaimana dalam proses fermentasi limbah organik. *Volatile Solid* merupakan jumlah indikasi awal pembentukan gas metan, jumlah VS biasanya direpresentasikan dalam % *total solid* (TS).

2.2.4.7 Pengadukan bahan Organik

Pengadukan sangat bermanfaat bagi bahan yang berada di dalam digester *anaerob* karena memberikan peluang material tetap tercampur dengan bakteri dan temperatur terjaga merata diseluruh bagian. Dengan pengadukan potensi material mengendap di dasar digester semakin kecil, konsentrasi merata dan memberikan kemungkinan seluruh material mengalami proses fermentasi *anaerob* secara merata.

2.2.4.8 Pengaturan Tekanan

Semakin tinggi tekanan di dalam digester, semakin rendah produksi biogas di dalam digester terutama pada proses *hidrolisis* dan *acydifikasi*. Selalu pertahankan tekanan diantara 1,15-1,2 bar di dalam *digester*.



2.2.4.9 Penjernihan Biogas

Kandungan gas atau zat lain dalam biogas seperti air, karbon dioksida, asam sulfat H_2S , merupakan polutan yang mengurangi kadar panas pembakaran biogas bahkan dapat menyebabkan karat yang merusak mesin. Banyak cara pemurnian biogas diantaranya *Physical Absorption* (pemasangan *water trap* di pipa biogas), *chemical absorption*, pemisah membrane permiabel, hingga penyemprotan air atau oksigen untuk mengikat senyawa sulfur atau karbon dioksida. Bila biogas digunakan untuk bahan bakar kendaraan atau bahan bakar pembangkit listrik, gas H_2S yang berpotensi menyebabkan karat pada komponen mesin harus dibuang melalui peralatan penyaring/ filter sulfur.

2.2.5 Persamaan-Persamaan Proses Penguraian Biogas

Berikut beberapa persamaan yang menentukan proses pembentukan biogas dari fermentasi limbah organik pada digester, diantaranya (Saragih, 2010) :

2.2.5.1 Konversi Biogas Dan Pemanfaatannya

Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar dan sebagai sumber energi alternatif untuk penggerak generator listrik serta menghasilkan energi panas. Pembakaran 1 kaki kubik (0,028 meter kubik) biogas dapat menghasilkan energi panas sebesar 10 Btu (2,25 kcal) yang setara dengan 6 kWh/m^3 energi listrik atau 0,61 L bensin, 0,58 L minyak tanah, 0,55 L *diesel*, 0,45 L LPG (*Natural Gas*), 1,50 Kg kayu bakar dan 0,79 L *bioethanol* (Waskito, 2011).

Konversi energi biogas untuk pembangkit tenaga listrik dapat dilakukan dengan menggunakan *gas turbine*, *microturbines* dan *otto Cycle Engine*. Pemilihan teknologi ini sangat dipengaruhi potensi biogas yang ada seperti konsentrasi gas metana maupun tekanan biogas, kebutuhan beban ketersediaan dana yang ada (Saragih, 2010).

Dalam buku *Renewable Energy Conversion, Transmission and Storage* karya Bent Sorensen, bahwa 1 Kg gas metana setara dengan $6,13 \times 10^7$ Joule, sedangkan 1 kWh setara dengan $3,6 \times 10^7$ Joule. Untuk massa jenis gas metan $0,656 \text{ kg/m}^3$ sehingga 1 m^3 gas metan menghasilkan energi listrik sebesar 11,17 kWh.

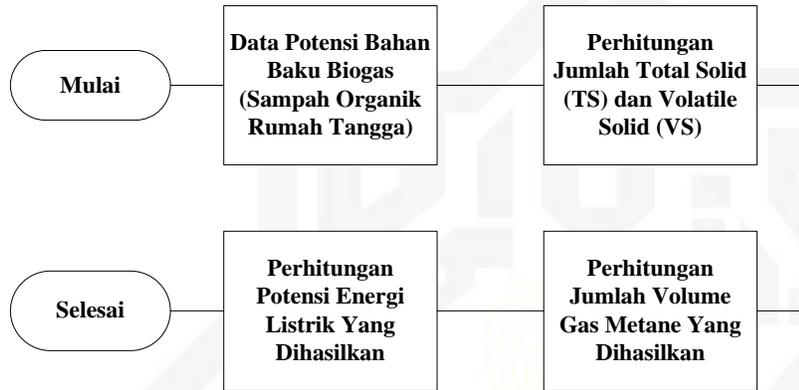


Tabel. 2.4 Konversi Gas Metana Menjadi Energi Listrik

Jenis Energi	Setara Energi	Referensi
1 Kg Gas Metana	$6,13 \times 10^7$ Joule	<i>Renewable Energy Conversion, Transmission and Storage, Bent Sorensen, Juni 2007.</i>
1 kWh	$3,6 \times 10^6$ Joule	
1 m ³ Gas Metana massa jenis Gas Metana adalah 0,656 Kg/m ³	$4,0213 \times 10^7$ Joule	
1 m ³ Gas Metana	11,17 kWh	

(Sumber : Sorensen dalam Waskito, 2011)

Berikut adalah diagram alur penentuan kapasitas biogas skala rumah tangga :



Gambar 2.2. Diagram Alur Penentuan Kapasitas PLTBG Skala Rumah Tangga

Langkah-langkah penentuan kapasitas PLTBG skala rumah tangga, yaitu (Prasetyo, 2010) :

1. Penentuan data potensi bahan baku biogas (sampah organik rumah tangga), dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data pemanfaatan potensi sampah organik rumah tangga di suatu kawasan komplek perumahan yang ada di Kota Pekanbaru (Ton/hari atau Kg/hari).
2. Perhitungan jumlah dari *total solid* (TS), *volatile solid* (VS) dalam proses.

$$TS = 27,7 \% \times Ps \quad \text{Kg} \tag{2.1}$$

$$VS = 74,1 \% \times TS \quad \text{Kg} \tag{2.2}$$

Dimana :

Ps = data potensi bahan baku biogas (Kg/hari)

TS = *total solid* (Kg/hari)

VS = *volatile solid* (Kg/hari)



3. Perhitungan produksi biogas

$$Vb = 0,676 \times VS \quad m^3 \quad (2.3)$$

Dimana :

Vb = Volume biogas (m^3)

VS = *volatile solid* (Kg/hari)

4. Perhitungan jumlah volume gas metana

$$Vgm = 60\% \times Vb \quad m^3 \quad (2.4)$$

Dimana :

Vgm = jumlah volume gas metana (m^3)

VS = *volatile solid* (Kg/hari)

5. Perhitungan potensi energi listrik

$$E = Vgm \times FK \quad kWh \quad (2.5)$$

Dimana :

E = produksi energi listrik (kWh)

Vgm = jumlah volume gas metana (m^3)

FK = faktor konversi (kWh/m^3)

2.2.6 Komponen Utama PLTBG

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBG) secara lengkap terdiri dari *digester*, *biogas conditioning* (untuk memurnikan biogas) dan *generator set* (Waskito, 2011).

2.2.6.1 Sumber Pasokan Limbah Organik (*feedstock*)

Sumber pasokan limbah organik adalah tempat asal bahan organik seperti peternakan, tempat sampah atau tempat proses akhir dari proses pengolahan bahan hasil pertanian dan rumah tangga. Di dalam *feedstock* terdapat juga tangki pemasukan bahan organik (*inlet feed substrate/feedstock*) merupakan wadah penampungan yang terhubung ke *digester* melalui saluran dengan kemiringan tertentu.

Di dalam *feedstock* juga bisa terdapat proses pengecilan dimensi limbah organik dengan peralatan *crusher* (pencacah), proses pencampuran (*mixing*) dan pengenceran untuk mempermudah penyaluran ke tangki *digester*.



2.2.6.2 Digester

Digester merupakan komponen utama dalam produksi biogas. Digester merupakan tempat dimana bahan organik diurai oleh bakteri secara *anaerob* (tanpa udara) menjadi gas CH_4 (55-80 %) dan CO_2 (20-45 %). Digester harus dirancang sedemikian rupa sehingga proses fermentasi *anaerob* dapat berjalan dengan baik. Pada umumnya produksi biogas terbentuk pada 20-35 hari. Biogas yang dihasilkan dari proses tersebut dapat digunakan pada CHP (*Combined Heat and Power*) untuk menghasilkan listrik yang sebelumnya harus melalui proses pemurnian terlebih dahulu.

2.2.6.3 Teknik Pemurnian Biogas

Biogas mengandung unsur-unsur yang tidak bermanfaat untuk pembakaran khususnya H_2O dan H_2S . Pada saat biogas dimanfaatkan untuk bahan bakar kompor gas rumah tangga maka unsur tersebut secara praktis tidak perlu dibersihkan. Hal ini disebabkan karena kompor hanya kontak dengan biogas pada saat dipakai saja. Alasan lain adalah proses pembersihan biogas adalah kegiatan yang memakan biaya.

Tetapi jika biogas untuk bahan bakar pembangkit listrik, maka proses pencucian menjadi sangat penting. Pencucian terhadap H_2O dan H_2S dapat memperpanjang umur dari komponen mesin pembangkit. Metode pencucian H_2O dan H_2S adalah sebagai berikut:

1. Pemurnian biogas dari unsur H_2O

Tujuan pencucian H_2O adalah karena kondensat yang terbentuk dapat terakumulasi dalam saluran gas dan dapat juga membentuk larutan asam yang korosif ketika H_2S larut dalam air (Waskito, 2011). Pengurangan kadar H_2O yang sederhana dilakukan dengan cara melewatkan biogas pada kolom yang terdiri dari silika gel atau karbon aktif. H_2O selanjutnya dapat diserap oleh silika gel atau karbon aktif.

2. Pemurnian biogas dari unsur H_2S

Secara umum, pencucian (pengurangan) H_2S dari biogas dapat dilakukan secara fisika, kimia, dan biologi (Waskito, 2011). Pemurnian secara fisika misalnya penyerapan dengan air, pemisahan dengan menggunakan membran atau absorpsi dengan absorben misalnya dengan menggunakan karbon aktif. Metode fisika ini relatif mahal karena absorben sulit diregenerasi dan efektifitas pengurangan H_2S yang rendah.



- a. Mencegah korosi.
- b. Menghindari keracunan H₂S (maksimum yang diperbolehkan ditempat adalah 5 ppm).
- c. Mencegah kandungan sulfur dalam biogas, yang jika terbakar menjadi SO₂ atau SO₃ yang lebih beracun dari H₂S.
- d. Meminimalisasi terbentuk nya H₂SO₃ yang bersifat korosif.

2.2.6.4 Generator Set

Genset (*generator set*) adalah sebuah perangkat yang berfungsi menghasilkan daya listrik. Disebut sebagai generator set dengan pengertian adalah satu set peralatan gabungan dari dua perangkat berbeda yaitu *engine* dan *generator* atau *alternator*. *Gas engine* termasuk mesin pembakaran dalam yang berkerja dengan bahan bakar gas seperti gas alam atau biogas. setelah kandungan pengotor pada biogas diturunkan hingga kadar tertentu, biogas kemudian dialirkan ke *gas engine* untuk menghasilkan listrik. Bergantung pada spesifikasi *gas engine* yang digunakan, *gas engine* berbahan bakar biogas umumnya memerlukan biogas dengan kadar air dibawah 80% dan konsentrasi H₂S kurang dari 200 ppm. *Gas engine* mengubah energi yang terkandung dalam biogas menjadi energi mekanik untuk menggerakkan generator yang akan menghasilkan listrik.

2.2.7 Digester Biogas

Digester merupakan komponen utama dalam produksi biogas. Digester merupakan tempat dimana bahan organik diurai oleh bakteri secara anaerob (tanpa udara) menjadi gas CH₄ dan CO₂. Digester harus dirancang sedemikian rupa sehingga proses fermentasi anaerob dapat berjalan dengan baik. Pada umumnya produksi biogas terbentuk pada 4-5 hari setelah digester diisi. Produksi biogas menjadi banyak pada 20-35 hari (Sulistyo, 2010).

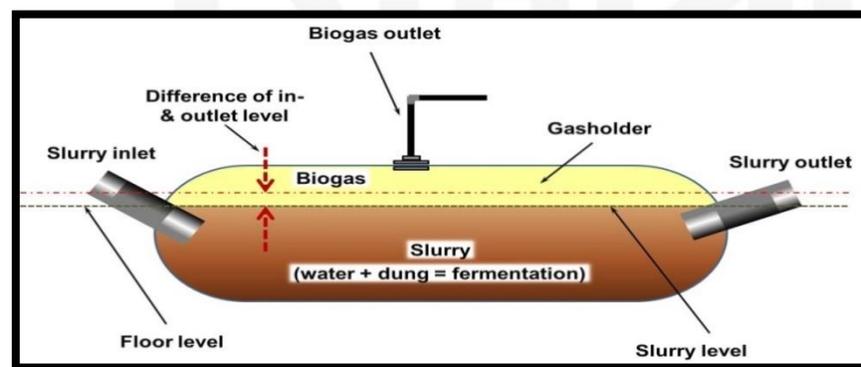
2.2.7.1 Jenis-Jenis Digester Biogas

Terdapat beberapa jenis digester yang dapat dilihat berdasarkan konstruksi, jenis aliran dan posisinya terhadap permukaan tanah. Hal yang penting adalah apapun yang dipilih jenisnya, beberapa kelebihan dan kekurangan dari jenis-jenis digester akan dijelaskan dibawah ini :

a. 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 Polyetheine*) 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 lumpur yang 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 2.3 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 ditimbun 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 untuk •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).

b. *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.

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

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.

© 2011 UIN Suska Riau

Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



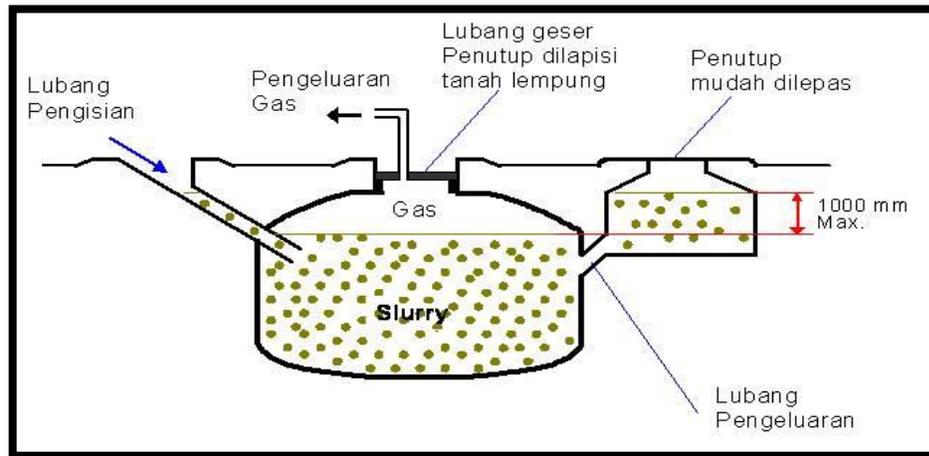
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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.



Gambar 2.4 Chinese fix dome digester.
(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.

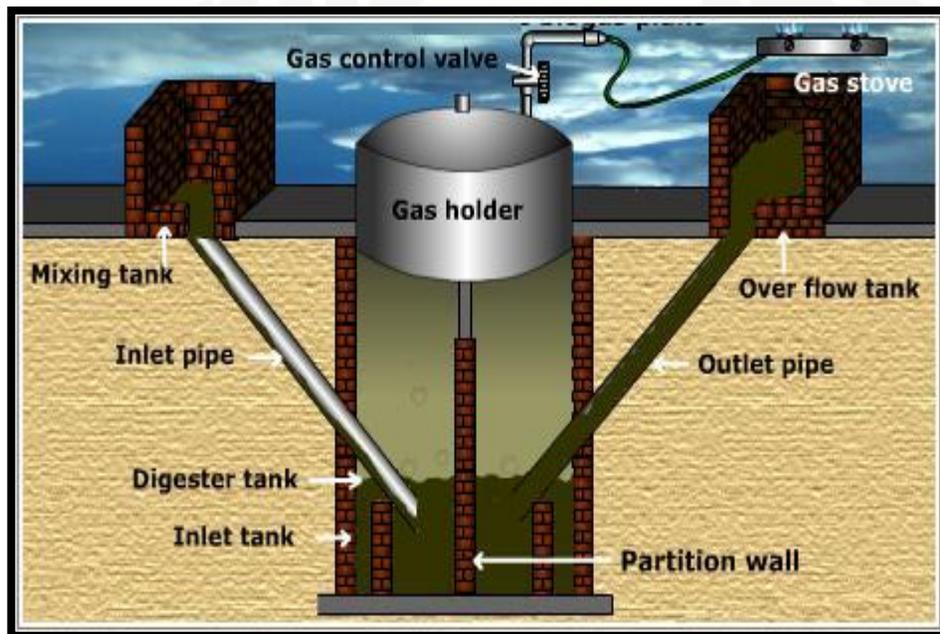
Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> •Biaya investasi yang rendah •Waktu Hidup sekitar 20 tahun •Tidak ada ruang dangkal diperlukan karena struktur bawah tanah •Tekanan gas Baik •Pencampuran substrat dalam digester menghindari akumulasi besar padatan di bawah digester ini 	<ul style="list-style-type: 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)

c. *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 diumpangkan 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 2.5 *Indian folating drum* digester.
(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)

d. *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).



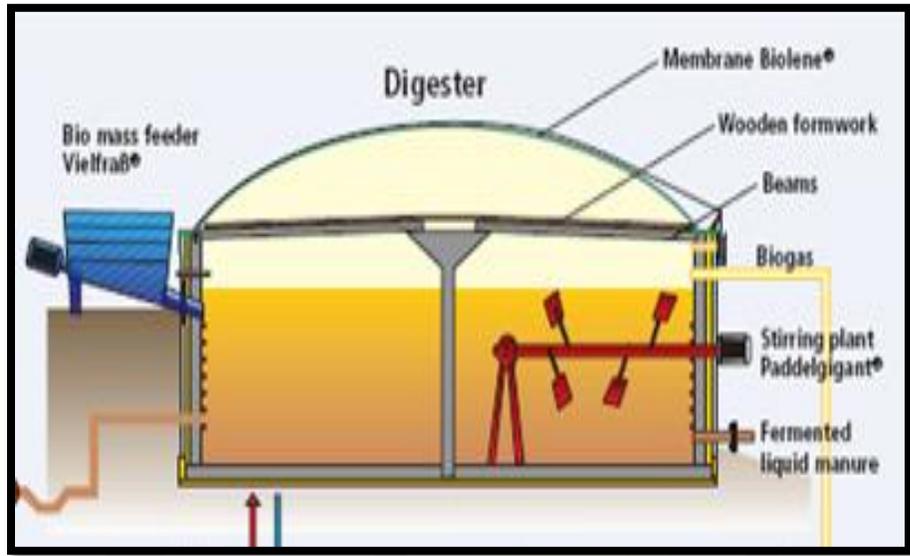
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

Digester *Complete-Mix* ini mampu mengolah fraksi organik MSW (*Municipal Solid Waste*), limbah pertanian dan limbah makanan. Teknologi ini menghitungkan dengan sistem terintegrasi untuk memanaskan dinding dan lantai dari digester mana proses AD dilakukan di bawah suhu mesofilik (kira-kira 38°C). Digester yang dibangun dengan beton bertulang untuk menghindari kebocoran dari biogas (Bekon, 2016).



Gambar 2.6 *Compleat-Mix Digester*
(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 2.8 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 •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 •Teknologi yang diterapkan di beberapa bagian dunia 	<ul style="list-style-type: none"> •Biaya investasi tinggi. •Teknologi belum teruji di Indonesia.

(Sumber : Redman, 2014).

2.2.7.2 Komponen Utama Digester

Komponen-komponen digester cukup banyak dan bervariasi. Komponen yang digunakan untuk membuat digester tergantung dari jenis digester yang digunakan dan tujuan pembangunan digester. Secara umum komponen digester terdiri dari empat komponen utama sebagai berikut (Waskito, 2011) :

1. Saluran masuk *slurry* (bahan organik).

Saluran ini digunakan untuk memasukkan *slurry* (campuran sampah organik dan air) kedalam reaktor utama biogas. Tujuan pencampuran adalah untuk memaksimalkan produksi biogas, memudahkan mengallirkan bahan baku dan menghiindari endapan pada saluran masuk.

2. Ruang *digestion* (ruang fermentasi)

Ruangan *digestion* berfungsi sebagai tempat terjadinya fermentasi *anaerobic* dan dibuat kedap udara. Ruangan ini dapat juga dilengkapi dengan penampung biogas.

3. Saluran keluar residu (*sludge*)

Fungsi saluran ini adalah untuk mengeluarkan kotoran (*sludge*) yang telah mengalami fermentasi *anaerobic* oleh bakteri. Saluran ini bekerja berdasarkan prinsip



kesetimbangan hidrostatis. Residu yang keluar pertama kali merupakan *slurry* masukan yang pertama setelah waktu retensi. *Slurry* yang keluar sangat baik untuk pupuk karena mengandung kadar nutrisi yang tinggi.

4. Tangki penyimpan biogas

Tujuan dari tangki penyimpan biogas adalah untuk menyimpan biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi *anaerobic*. Jenis tangki penyimpan biogas ada dua, yaitu tangki bersatu dengan unit reaktor (*fixed dome*) dan terpisah dengan reaktor (*floatated dome*). Untuk tangki terpisah, konstruksi dibuat khusus sehingga tidak bocor dan tekanan yang dihasilkan dalam tangki seragam.

2.2.7.3 Komponen Pendukung Digester

Selain empat komponen utama tersebut diatas, pada sebuah digester perlu ditambahkan beberapa komponen pendukung untuk menghasilkan biogas dalam jumlah banyak dan aman. Beberapa komponen pendukung adalah (Waskito, 2011) :

1. Katup pengaman tekanan (*control valve*)

Fungsi dari katup pengaman adalah sebagai pengaman digester dari lonjakan tekanan biogas yang berlebihan. Bila tekanan dalam tabung penampung biogas lebih tinggi dari tekanan yang diijinkan, maka biogas akan dibuang keluar. Selanjutnya tekanan dalam digester akan turun kembali. Katup pengaman tekanan cukup penting dalam reaktor biogas yang besar dan sistem kontinu, karena umumnya digester dibuat dari material yang tidak tahan tekanan yang tinggi supaya biaya konstruksi digester tidak mahal. Semakin tinggi tekanan di dalam digester, semakin rendah produksi biogas di dalam digester terutama pada proses hidrolisis dan acydifikasi. Selalu pertahankan tekanan diantara 1,15-1,2 bar di dalam digester.

2. Sistem pengaduk

Pada digester yang besar sistem pengaduk menjadi sangat penting. Tujuan dari pengadukan adalah untuk menjaga material padat tidak mengendap pada dasar digester. Pengadukan sangat bermanfaat bagi bahan yang berada di dalam digester *anaerobic* karena memberikan peluang material tetap tercampur dengan bakteri dan temperatur terjaga merata diseluruh bagian. Dengan pengadukan potensi material mengendap di dasar digester semakin kecil, konsentrasi merata dan memberikan kemungkinan seluruh material mengalami proses fermentasi anaerob secara merata. Selain itu dengan pengadukan dapat



mempermudah pelepasan gas yang dihasilkan oleh bakteri menuju ke bagian penampung biogas. Pengadukan dapat dilakukan dengan:

- a. Pengadukan mekanis, yaitu dengan menggunakan poros yang dibawahnya terdapat semacam baling-baling dan digerakkan dengan motor listrik secara berkala.
- b. Mensirkulasi bahan dalam digester dengan menggunakan pompa dan dialirkan kembali melalui bagian atas digester.

Pada saat melakukan proses pengadukan hendaknya dilakukan dengan pelan. Sebagaimana diketahui bahwa tumbuhnya bakteri membutuhkan media yang cocok. Media yang cocok sendiri terbentuk dari bahan organik secara alami dan membutuhkan waktu tertentu sehingga pengadukan yang terlalu cepat dapat membuat proses fermentasi *anaerobic* justru terhambat.

3. Saluran biogas

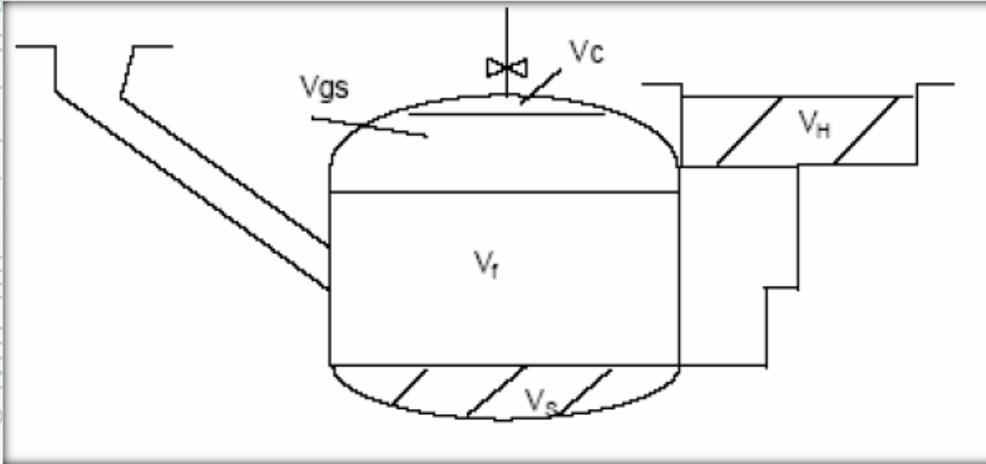
Tujuan dari saluran biogas adalah untuk mengalirkan biogas yang dihasilkan digester. Bahan untuk saluran gas disarankan terbuat dari polimer untuk menghindari korosi. Untuk pemanfaatan biogas sebagai bahan bakar masak, pada ujung saluran pipa dapat disambung dengan pipa yang terbuat dari logam supaya tahan terhadap temperatur pembakaran yang tinggi.

2.2.7.4 Perancangan Ukuran Digester

Ukuran tangki digester biogas tergantung dari jumlah, kualitas dan jenis limbah organik yang tersedia dan temperatur saat proses fermentasi *anaerobic*. 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 (Waskito, 2011).

$$\text{Jumlah bahan baku } Q = \text{jumlah sampah organik} + \text{air} \quad (2.6)$$

Di bawah ini gambar bentuk penampang silender digester anaerob (*Cylindrical Shaped Bio-Gas Digester Body*) dengan penjelasan sebagai berikut (Waskito, 2011) :



Gambar 2.7. Penampang Digester Biogas Silinder
(Sumber : Waskito, 2011)

Keterangan:

Vc – Volume Ruang penampungan gas (*gas collecting chamber*)

Vgs – Volume Ruang Penyimpanan Gas (*gas storage chamber*)

Vf – Volume Ruang Fermentasi (*fermentation chamber*)

Vh – Volume Ruang Hidrolik (*hydraulic chamber*)

Vs – Volume lapisan penampungan lumpur (*sludge layer*)

$$\text{Total volume digester } V = Vc + Vgs + Vf + Vs \tag{2.7}$$

Berdasarkan jumlah volume bahan baku (Q), maka dapat ditentukan volume kerja digester (*working volume digester*) yang merupakan penjumlahan volume ruang penyimpanan (Vgs) dan volume ruang fermentasi (Vs).

$$\text{Volume kerja digester} = Vgs + Vf \tag{2.8}$$

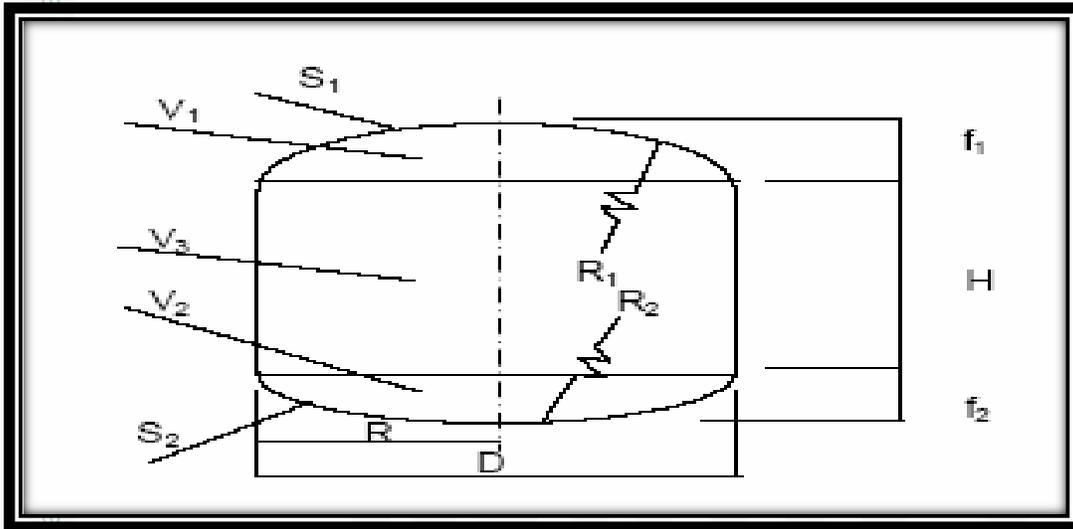
dimana:

$$Vgs + Vf = Q \times \text{HRT (waktu digestifikasi)}$$

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.



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



Gambar 2.8. Dimensi Geometrikan Tanki Digestifikasi
(Sumber : Waskito, 2011)

Berdasarkan gambar dimensi geometrikan tangki digester diatas berlaku ketentuan bentuk geometrikan ruangan-ruangan digester sebagai berikut (Waskito, 2011) :

Tabel. 2.9 Dimensi Geometrikan Ukuran Tangki Digester Silinder

Isi	Dimensi Geometrikan
$V_c \leq 5\% V$	$D = 1,3078 \times V^{1/3}$
$V_s \leq 15\% V$	$V_1 = 0,0827 D^3$
$V_{gs} + V_f = 80\% V$	$V_2 = 0,05011 D^3$
$V_{gs} = V H$	$V_3 = 0,3142 D^3$
$V_{gs} = 0,5 (V_{gs} + V_f + V_s) K$	$R_1 = 0,725 D$
	$R_2 = 1,0625 D$
	$f_1 = D/5$
	$f_2 = D/8$
	$S_1 = 0,911 D^2$
	$S_2 = 0,8345 D^2$

(Sumber : Waskito, 2011)

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam penulisan karya tulis ini adalah:

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



2.2.8 Analisa Ekonomi

Analisis ekonomi kelayakan pemanfaatan sampah organik sebagai bahan baku biogas untuk pembangkit listrik dilakukan dengan menggunakan metode *life cycle cost* yang terdiri dari *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR) dan *Payback Period* (PBP). Analisis ekonomi ini digunakan untuk mengetahui karakteristik *financial* pemanfaatan PLTBG skala rumah tangga berdasarkan total aliran pendapatan tahunan (*inflow*) dan total aliran biaya tahunan (*outflow*).

Komponen biaya terdiri dari biaya investasi *anaerob digestion system*, *Biogas Storage System*, biaya investasi penggunaan lahan, biaya untuk pengolahan limbah dan *sludge*, biaya investasi pembangkit, biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) *anaerob digestion system*, biaya O&M pengolahan air limbah dan *sludge*, biaya O&M pembangkit. Sedangkan komponen pendapatan terdiri dari penghasilan dari tidak memakai energi listrik PLN, penjualan *sludge*.

2.2.8.1 Perhitungan Komponen Biaya Produksi PLTBG

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.

1. Biaya investasi dan O&M produksi biogas adalah sebagai berikut (Yeoh dalam Sulisty, 2010):

a. Biaya Investasi *Anaerob Digestion System*

Biaya investasi ini meliputi biaya investasi digester *anaerob* beserta komponen pelengkap 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*. (Yeoh dalam Sulisty, 2010).

b. Biaya Investasi *Biogas Storage System*

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):

$$\text{Biaya investasi biogas storage system} = 0,05407 V_{\text{biogas}} \text{ (US\$)} \quad (2.9)$$

Dimana,

V_{biogas} adalah potensi produksi biogas ($\text{m}^3/\text{pertahun}$)

Biaya Investasi Lahan

Biaya investasi untuk lahan diperuntukkan bagi kegiatan penyiapan lahan tempat pemasangan *anaerob digestion system*. Besarnya biaya investasi untuk penggunaan lahan, ditentukan dari luas area yang diperlukan untuk tempat pemasangan *anaerob digestion system* dan harga lahan. Perhitungan biaya investasi untuk penggunaan lahan 1 (satu) buah *anaerob digestion system* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Biaya investasi penggunaan lahan} = \text{luasan alas digester} \times \text{harga} / \text{m}^2 \quad (2.10)$$

d. **Biaya Lahan Untuk Pengolahan Air Limbah dan *Sludge***

Biaya yang termasuk dalam biaya ini adalah biaya yang digunakan untuk pengolahan kompos (*sludge*), pengolahan air limbah, pembersihan lokasi digester, bongkar material organik atau pemuatan kompos hasil digester, asumsi untuk biaya ini adalah 0,125 % dari investasi lahan (Yeoh dalam Sulisty, 2010).

e. **Biaya O&M *Anaerob Digestion System***

Biaya O&M *anaerob digestion system* terdiri dari biaya penggunaan tenaga kerja (*labour cost*) berupa operator untuk mengoperasikan peralatan, biaya pembelian air baku yang dikonsumsi untuk keperluan operasional, biaya penggantian *spare part*. Dalam literatur ditentukan biaya O&M pertahun sebesar 6,7 % dari biaya investasi *anaerob digestion system* (Yeoh dalam Sulisty, 2010).

f. **Biaya O&M Pengolahan Air Limbah dan *Sludge***

Biaya O&M pengolahan air limbah dan *sludge* terdiri dari biaya penggunaan tenaga kerja dan bahan-bahan kimia yang diperlukan untuk operasional pengolahan air limbah dan pengolahan kompos (*sludge*) sisa dari proses pencernaan dalam digester. Dalam penelitian ini ditentukan biaya O&M

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

pertahun sebesar 14,65% dari biaya investasi lahannya (Yeoh dalam Sulisty, 2010).

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). Besarnya biaya penyusutan modal selama 20 tahun diperoleh berdasarkan hasil perhitungan:

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

Dimana,

Total biaya investasi adalah *investasi anaerob digestion system* + biaya investasi *biogas storage system* + biaya investasi penggunaan lahan + biaya lahan untuk pengolahan air dan *sludge*.

2. Biaya investasi dan O&M produksi energi listrik PLTBG

Komponen biaya investasi antara lain adalah *gas engine*. Listrik yang dihasilkan dari *gas engine* kemudian langsung dihubungkan keobjek penelitian. Perhitungan biaya investasi dan O&M produksi energi listrik PLTBG 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 (Sulisty, 2010). *Gas engine* biasanya memerlukan perbaikan (*major overhaul*) setiap 48.000–60.000 jam operasi, tergantung pada merk *gas engine* yang digunakan.

2.2.8.2 Perhitungan Komponen Pendapatan

Komponen pendapatan terdiri dari penghasilan dari tidak menggunakan listrik PLN dan penjualan *sludge*.

Sama seperti perhitungan komponen biaya, perhitungan komponen pendapatan dilakukan terhadap jenis teknologi yang akan dipakai. Adapun beberapa pendapatan dari PLTBG ialah sebagai berikut:



1. Pendapatan dari tidak menggunakan Listrik PLN

Pendapatan melalui hasil keuntungan dari tidak memakai listrik PLN mulai dari perbulan hingga tahunan.

2. Pendapatan penjualan *sludge*

Sludge adalah limbah keluaran berupa lumpur dari lubang pengeluaran digester setelah mengalami proses fermentasi *anaerobic*. Setelah ekstraksi biogas (energi), *sludge* dari digester merupakan produk samping dari sistem pencernaan digester. *Sludge* mengandung senyawa yang dapat membantu menyuburkan tanah dan meningkatkan produksi tanaman. Jumlah *sludge* yang dihasilkan dipengaruhi oleh presentase bahan baku yang diubah menjadi biogas, bahan baku yang menguap dan bahan baku yang larut dalam air. Diasumsikan rata-rata jumlah *sludge* yang dihasilkan oleh suatu digester adalah 30% bahan baku dan mempunyai harga di pasaran Rp.400,-/Kg (Wahyuni dalam Sulisty, 2010).

Besarnya pendapatan dari hasil penjualan *sludge* dapat dituliskan dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Penjualan } sludge = \text{Jumlah } sludge \text{ (kg/tahun)} \times \text{Harga jual } sludge \text{ (Rp./kg)} \quad (2.12)$$

2.2.9 Analisa *Financial*

Analisa *financial* pada perancangan pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBG) skala rumah tangga ini menggunakan metode *Life Cycle Cost Analysis (LCCA)*, metode mempunyai beberapa kriteria investasi yang dapat menyatakan apakah layak atau tidak suatu perancangan. Kriteria tersebut adalah : *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, dan *Pay Back Period (PBP)*.

2.2.9.1 *Net Present Value (NPV)*

Metode NPV digunakan untuk mengevaluasi kelayakan suatu proyek. Hal ini didasarkan pada perhitungan nilai sekarang dari arus kas dalam periode yang ditentukan waktu. Arus kas merupakan selisih antara manfaat dan biaya dari tahun ditentukan NPV dapat dihitung dengan persamaan 2.13 berikut.

$$NPV = \sum_{t=0}^N Rt * (((1 + i)^t - 1)/i * (1 + i)^t) - Rto * (1 + i)^t \quad (2.13)$$



Keterangan:

- i = tingkat diskonto (%)
 N = jumlah total periode (tahun)
 R_t = arus kas masuk pada tahun t (Rp)
 R_{t0} = investasi awal + arus kas keluar proyek (Rp)

Tingkat diskonto dalam persamaan 2.20 adalah suku bunga yang digunakan untuk menghitung nilai sekarang dari arus kas masa depan. Hal ini juga mencerminkan risiko inversi. Untuk penelitian ini, diasumsikan nilai 8% dan jumlah periode diasumsikan 20 tahun (Garcia, 2014). Periode waktu ini adalah umur rata-rata untuk teknologi biogas dengan pemeliharaan rutin.

Interpretasi dari hasil NPV tergantung pada jumlah yang diperoleh. Jika nilai NPV positif, proyek tersebut menguntungkan dan sebaliknya jika nomor tersebut adalah negatif. Tujuan dari metode NPV adalah untuk menunjukkan jika biaya modal proyek dapat ditutupi dengan kembalinya investasi selama periode waktu (Garcia, 2014).

Berdasarkan nilai NPV, terdapat tiga kriteria kelayakan investasi, yaitu:

NPV > 0, proyek layak untuk dilaksanakan dan menguntungkan.

NPV = 0, proyek tidak menguntungkan dan tidak merugikan.

NPV < 0, proyek tidak layak untuk dilaksanakan dan merugikan.

2.2.9.2 Internal Rate of Return (IRR)

IRR merupakan nilai discount rate yang membuat nilai NPV suatu proyek sama dengan nol. Rumus perhitungan IRR adalah sebagai berikut (Giatman, 2005):

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 + NPV_2} \times i_2 - i_1 \quad (2.14)$$

Keterangan:

- IRR = Tingkat pengembalian internal (%)
 NPV_1 = Nilai bersih sekarang yang bernilai positif (Rp)
 NPV_2 = Nilai bersih sekarang yang bernilai negatif (Rp)
 I_1 = Discount rate yang menghasilkan NPV positif (%)
 I_2 = Discount rate yang menghasilkan NPV negative (%)



Berdasarkan perhitungan IRR, apabila nilai IRR lebih besar daripada tingkat bunga relevan (tingkat keuntungan yang disyaratkan), maka investasi dikatakan menguntungkan. Sebaliknya jika nilai IRR lebih kecil tingkat bunga relevan maka investasi dikatakan merugikan dan tidak layak untuk dilaksanakan.

2.2.9.3 Pay Back Period (PBP)

Pay Back Period merupakan jangka waktu pengembalian investasi yang dikeluarkan melalui keuntungan – keuntungan yang diperoleh dari suatu proyek. Masa pengembalian investasi tercapai saat nilai NPV kumulatif berubah dari negatif menjadi positif. *Pay Back Period* dihitung setelah terlebih dahulu mendiskontokan nilai pendapatan bersih, kemudian perhitungan nilai pendapatan bersih dilakukan secara kumulatif dari tahun ke tahun. Pada saat pendapatan bersih bernilai positif maka pada saat itu investasi sudah kembali (Giatman,2005).

$$P = \frac{V}{I} \tag{2.15}$$

Keterangan :

- P = *Pay Back Period* (waktu pengembalian investasi)
- V = Jumlah modal investasi (Rp)
- I = Keuntungan bersih rata-rata tiap tahun (Rp)

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam penulisan karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.