



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS
DENGAN PEMANFAATAN KOTORAN SAPI DI KAWASAN
USAHA PETERNAKAN SAPI**

TESIS

Didit Waskito
0906577772

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM MAGISTER TEKNIK MANAJEMEN ENERGI
DAN KETENAGALISTRIKAN
SALEMBA
2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS
DENGAN PEMANFAATAN KOTORAN SAPI DI KAWASAN
USAHA PETERNAKAN SAPI**

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Teknik**

**Didit Waskito
0906577772**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM MAGISTER TEKNIK MANAJEMEN ENERGI
DAN KETENAGALISTRIKAN
SALEMBA
2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Didit Waskito

NPM : 0906577772

Tanda tangan : 

Tanggal : 23 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Didit Waskito
NPM : 0906577772
Program Studi : Teknik Manajemen Energi Dan Ketenagalistrikan
Judul : Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Biogas
dengan Pemanfaatan Kotoran Sapi Di Kawasan
Usaha Peternakan Sapi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada program studi dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Magister Teknik pada Program Studi Teknik Manajemen Energi Dan Ketenagalistrikan Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Iwa Garniwa M.K, MT.

Penguji : Dr. Ir. Ridwan Gunawan , MT

Penguji : Ir. I Made Ardita Y, MT

Penguji : Aji Nur Widyanto, ST.MT

(.....)
(.....)
(.....)
(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 23 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena hanya dari-Nya-lah segala berkah dan rahmat yang membuat saya dapat menyelesaikan seminar tesis ini. Penulisan tesis ini merupakan salah satu syarat untuk dapat menyelesaikan studi di Program Studi Magister Teknik Energi dan Manajemen Ketenagalistrikan Universitas Indonesia dan mencapai gelar Magister Teknik. Saya meyakini dan sadar bahwa bantuan, bimbingan, dan kerja sama dari berbagai pihak selama masa perkuliahan maupun pada saat penyusunan tesis, merupakan faktor utama yang menyebabkan saya mampu menyelesaikan tesis ini. Oleh sebab itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Bapak Prof. Dr. Ir. Iwa Garniwa M.K, MT., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, mencurahkan tenaga maupun pikirannya untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
- (2) Orang tua, istri dan keluarga saya yang telah memberikan dukungan baik moral maupun material; dan
- (3) Para Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Harapan saya adalah agar tesis ini dapat membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, Juni 2011

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Didit Waskito
NPM : 0906577772
Program Studi : Teknik Manajemen Energi dan Ketenagalistrikan
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tesis

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS DENGAN
PEMANFAATAN KOTORAN SAPI DI KAWASAN USAHA
PETERNAKAN SAPI**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta
Pada tanggal : 23 Juni 2011

Yang menyatakan



(Didit Waskito)

ABSTRAK

Nama : Didit Waskito
Program Studi : Teknik Manajemen Energi Dan Ketenagalistrikan
Judul : Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Biogas dengan Pemanfaatan Kotoran Sapi Di Kawasan Usaha Peternakan Sapi

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pemanfaatan potensi kotoran ternak sapi perah di Kawasan Usaha Peternakan Sapi sebagai bahan baku biogas, menentukan teknologi konversi, menghitung kapasitas energi listrik dari Pembangkit listrik tenaga Biogas yang dapat dibangkitkan dan mengkaji nilai pengurangan Satuan jumlah emisi CO₂ yang bisa diturunkan.

Berdasarkan potensi harian Kotoran ternak sapi di Kawasan Usaha Peternakan Sapi Perah yang dimanfaatkan sebagai bahan baku biogas dilakukan analisis perhitungan teknis maupun ekonomis dari pembangkit listrik tenaga biogas yang akan diimplementasikan. Hasil tersebut akan diuji sensitivitas untuk tingkat pengembalian dan jangka waktu pengembalian modal investasi terhadap dampak kenaikan harga lahan, tarif listrik dan Biaya operasi dan pemeliharaan pembangkit biogas.

Kata kunci:

PLT Biogas, Biogas, Emisi CO₂, Teknologi Konversi, Sensitivitas

ABSTRACT

Name : Didit Waskito
Study Program : teknik energi dan manajemen ketenagalistrikan
Title : Biogas Power Generation Analysis with Cow Manure Utilization Area Business In Beef Cattle.

This research was conducted to determine the potential utilization of dairy cow manure in the Area of Business Cattle Farming as a raw material for biogas, determine conversion technology, to calculate the capacity of electrical energy from power plants Biogas can be generated and assess the value of the amount of CO₂ emission reduction units which can be lowered.

Based on the daily potential of cattle dung in Dairy Cattle Farming Business Area which is used as raw material for biogas to analyze technical and economical calculation of biogas power plant that will be implemented. These results will be tested sensitivity to rate of return and payback period of investment to the impact of rising land prices, electricity tariff and cost of operation and maintenance of biogas plants.

Keywords:

Biogas Power Plant, Biogas, CO₂ Emission, Conversion Technology, Sensitivity

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
PERNYATAAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Metodologi Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
II LANDASAN TEORI.....	7
2.1 Digestifikasi Anaerobik.....	7
2.2 Tahap Pembentukan Biogas.....	8
2.3 Parameter Proses Pencernaan Limbah Organik.....	16
2.3.1. Temperatur.....	16
2.3.2. Nutrisi dan Penghambat bagi Bakteri Anaerob.....	17
2.3.3 Waktu yang dibutuhkan untuk Proses Pencernaan.....	18
2.3.4 Derajat Keasaman (pH).....	18
2.3.5 Kandungan Nitrogen dan Rasio Karbon Nitrogen.....	18
2.3.6 Total Solid Content (TS).....	20
2.3.7 Volatile Solids (VS).....	20
2.3.8 Pengadukan Bahan Organik.....	20
2.3.9 Pengaturan Tekanan.....	21

2.3.10 Penjernihan Biogas.....	21
2.4. Persamaan-Persamaan Pembentukan Biogas.....	21
2.4.1 Persamaan Lama Waktu Penguraian.....	21
2.4.2 Persamaan Produksi Biogas Spesifik.....	22
2.4.3 Persamaan Produksi Gas Metan Spesifik.....	22
2.5. Konversi Energi Biogas dan Pemanfaatannya.....	23
2.5.1 Konversi Energi Biogas untuk Ketenagalistrikan.....	23
2.5.2 Komponen Utama PLTBogas.....	25
2.6. Digester Biogas.....	29
2.6.1 Jenis-jenis Digester Biogas	30
2.6.2 Komponen Utama Digester	33
2.6.3 Komponen Pendukung Digester.....	34
2.6.4 Teknik Pencucian Biogas	36
2.7. Perancangan Ukuran Digester.....	38
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	41
3.1. Tahap Identifikasi	42
3.2. Studi Literatur	42
3.3. Identifikasi data/lokasi studi kasus	42
3.4. Tata Cara perhitungan	43
3.5. Pengumpulan Data	44
3.6. Perhitungan potensi biogas dan Energi yang dihasilkan	44
3.7. Pemilihan dan perhitungan digester PLT Biogas	45
3.8. Pemilihan teknologi PLT Biogas	46
3.8.1. Teknik Analisis Konversi energi listrik	46
3.8.2. Teknik Analisis Capital Budgeting.....	47
3.8.2.1. Payback Period (PBP).....	47
3.8.2.2. Net Present Value (NPV).....	48
3.8.2.3. Internal Rate of Return (IRR).....	48
3.8.1.4. Capital Recofery Factor (CRF).....	49
3.9. Perhitungan potensi pengurangan CO ₂	49
3.10. Analisa potensi Biogas	50
IV. PERHITUNGAN POTENSI BIOGAS UNTUK PLT BIOGAS.....	51

4.1. Perhitungan Potensi biogas di suatu Kawasan Usaha Peteranakan Sapi Perah	51
4.1.1. Kondisi Peternakan Kawasan Usaha Peteranakan Sapi Perah.....	51
4.1.2. Potensi Bahan baku untuk Biogas di Kawasan Usaha Peteranakan Sapi Perah	52
4.1.3. Hipotesis potensi untuk PLT Biogas	53
4.2. Perancangan Digester	56
4.2.1. Perancangan jenis dan dimensi digester.....	63
4.2.2. Penentuan Lokasi Digester	64
4.3. Analisa Teknologi Pembangkit	65
4.3.1. Tingkat Efisiensi Teknologi Konversi dan Produksi Energi Listrik.....	66
4.3.2. Ketersediaan Produk/Barang di Pasaran	66
4.3.3. Kompleksitas Jenis Operasi dan Pemeliharaan (O&M)	67
4.3.4. Biaya Investasi	68
4.3.5. Biaya Operasi dan Pemeliharaan.....	69
4.3.5.1. Biaya Operasi Pemeliharaan pembangkit biogas	69
4.3.5.2. Biaya Operasi Pemeliharaan Mesin pembangkit Tenaga Listrik	70
4.3.6. Revenue Tahunan (Annual Revenue).....	70
4.3.6.1. Tenaga Listrik yang dihasilkan.....	71
4.3.6.2. Analisis Potensi Pengurangan Emisi	74
4.4. Analisa Ekonomi Teknologi Pembangkit	76
4.5. Analisa Sensitivitas.....	76
4.5.1. Eskalasi Harga tanah.....	79
4.5.2. Eskalasi Tarif Listrik	82
4.5.3. Eskalasi Biaya Operasi dan Pemeliharaan Pembangkit Biogas ...	86
IV KESIMPULAN	88
DAFTAR PUSTAKA.....	89
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Proses digestifikasi anaerobik.....	7
Gambar 2.2.	Instalasi digestifikasi anaerobik.....	13
Gambar 2.3.	contoh digester anaerobik.....	14
Gambar 2.4.	Tahap pembentukan biogas.....	15
Gambar 2.5.	Waktu digestifikasi dan suhu.....	16
Gambar 2.6.	Diagram alur penentuan kapasitas biogas dan PLT Biogas.....	24
Gambar 2.7.	Sistem Penyaluran Tenaga Listrik dari PLT Biogas.....	25
Gambar 2.8.	Reaktor Biogas Berdasarkan Bentuk Tangki Digester.....	26
Gambar 2.9.	Reaktor Biogas Berdasarkan Proses Pengolahan.....	27
Gambar 2.10.	Microturbine dengan siklus Combain Heat Power- CHP.....	28
Gambar 2.11.	Digester Biogas.....	29
Gambar 2.12.	Digester Tipe Fixed Dome.....	30
Gambar 2.13.	Digester Tipe Floating Dome.....	32
Gambar 2.14.	Teknik Pencucian Biogas dari H ₂ O dengan silika Gel.....	36
Gambar 2.15.	Teknik pencucian biogas dari H ₂ S dengan Scrubber air.....	37
Gambar 2.16.	Penampang Digester Biogas Silinder.....	39
Gambar 2.17.	Dimensi Geometrikal Tanki Digester.....	40
Gambar 3.1.	Diagram Tahapan Penelitian.....	42
Gambar 3.2.	Flowchart Pemilihan dan perhitungan model digester.....	45
Gambar 4.1.	Volume Bagian-bagian Digester.....	61
Gambar 4.2.	Dimensi Rancangan Digester.....	62
Gambar 4.3.	Ruang Kerja Digester.....	64
Gambar 4.4.	Analisis Sensitivitas IRR vs Eskalasi Harga tanah.....	77
Gambar 4.5.	Analisis Sensitivitas PBP vs Eskalasi Harga tanah.....	78
Gambar 4.6.	Analisis Sensitivitas IRR vs Eskalasi Harga listrik.....	80
Gambar 4.7.	Analisis Sensitivitas PBP vs Eskalasi Harga listrik.....	81
Gambar 4.8.	Analisis Sensitivitas IRR vs Eskalasi O&M Pemb. Biogas.....	83
Gambar 4.9.	Analisis Sensitivitas PBP vs Eskalasi O&M Pemb. Biogas.....	84

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Komposisi Biogas	7
Tabel 2.2.	Komponen penyusun biogas.....	9
Tabel 2.3.	Nilai kesetaraan biogas dan energi yang dihasilkan.....	9
Tabel 2.4.	Tingkatan racun dari beberapa zat penghambat.....	17
Tabel 2.5.	Rasio C/N beberapa bahan organik.....	19
Tabel 2.6.	Potensi Produksi Gas untuk Beberapa Tipe Bahan Organik.....	20
Tabel 2.7.	Konversi Energi Gas Metan menjadi Energi Listrik.....	23
Tabel 2.8.	Kelebihan dan Kekurangan Digester Jenis Kubah Tetap.....	31
Tabel 2.9.	Dimensi Geometrika Ukuran Tangki Digester Silinder.....	40
Tabel 4.1.	Potensi jenis bahan baku penghasil biogas.....	52
Tabel 4.2.	Unjuk kerja sample instalasi biogas.....	53
Tabel 4.3.	Komposisi biogas (%) kotoran sapi dan campuran kotoran ternak dengan sisa pertanian.....	55
Tabel 4.4.	Hasil perhitungan kapasitas biogas dan PLT Biogas.....	56
Tabel 4.5.	Dimensi Ukuran Rancangan Digester	62
Tabel 4.6.	Biaya O&M pembangkit biogas.....	68
Tabel 4.7.	Ringkasan Parameter Pemilihan Teknologi Konversi.....	69
Tabel 4.8.	Spesifikasi Bahan Bakar.....	72
Tabel 4.9.	Aliran Kas Pembangunan Pembangkit Listrik Biogas.....	74
Tabel 4.10.	Biaya pembangkitan yang dihasilkan.....	75

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan penggunaan energi semakin meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk dan peningkatan konsumsi energi oleh masyarakat akibat penggunaan berbagai macam peralatan untuk menunjang kenyamanan dalam kehidupan. Sumber energi yang selama ini digunakan sebagian besar berasal dari bahan bakar fosil, seperti batubara, minyak bumi, gas alam dan lain-lain. Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang proses terbentuknya memerlukan waktu jutaan tahun dan dapat dikatakan merupakan energi takterbarukan. Selain merupakan energi takterbarukan, penggunaan energi fosil mengakibatkan meningkatnya gas rumah kaca. Sebagian besar ilmuwan meyakini bahwa peningkatan konsentrasi gas rumah kaca merupakan salah satu penyebab terjadinya pemanasan global. Oleh karena itu, untuk mengganti penggunaan energi takterbarukan diperlukan sumber energi alternatif yang mampu mengurangi laju pemakaian energi fosil. [8]

Indonesia sebagai negara tropis memiliki sumber energi baru terbarukan yang melimpah sebagai energi alternatif pengganti energi fosil. Salah satu energi alternatif tersebut adalah pemanfaatan energi biogas. Biogas dapat dikategorikan sebagai bioenergi, karena energi yang dihasilkan berasal dari biomassa. Biomassa adalah materi organik berusia relatif muda yang berasal dari makhluk hidup atau produk dan limbah industri budidaya (pertanian, perkebunan, kehutanan, peternakan dan perikanan). Biogas adalah gas produk akhir pencernaan/degradasi anaerobik (dalam lingkungan tanpa oksigen) oleh bakteri-bakteri menthanogen. Dan salah satu limbah yang dihasilkan dari aktifitas kehidupan manusia adalah limbah dari usaha peternakan sapi yang terdiri dari feses, urin, gas dan sisa makanan ternak. Potensi limbah peternakan sebagai salah satu bahan baku pembuatan biogas dapat ditemukan di sentra-sentra peternakan, terutama peternakan dengan skala besar yang menghasilkan limbah dalam jumlah besar dan

rutin. Di Indonesia cukup banyak kawasan peternakan sapi yang limbah kotorannya belum dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik secara optimum..

Sebagai studi kasus untuk mendapatkan suatu model Pembangkit listrik dipilih lokasi Peternakan Kawasan Usaha Peternakan Sapi Perah (KUNAK) terletak di Desa Situ Udik Kecamatan Cibungbulang, dan di desa Pasarean, desa Pamijahan Kecamatan Pamijahan Kabupaten Daerah Tk II Bogor. Kawasan Usaha Peternakan Sapi Perah disingkat KUNAK memiliki 181 kavling, luas 1 kavling rata-rata 4.500 m² yang terdiri dari bangunan kandang, kebun rumput dan rumah anak kandang. Saat ini populasi sapi perah 1950 ekor, Pemasaran susu di bawah koordinasi Koperasi Produksi Susu dan Usaha Peternakan Bogor (KPS Bogor), selanjutnya KPS menjual susu segar ke Industri Pengolahan Susu (IPS) . Fasilitas usaha yang dimiliki KPS di antaranya Chilling Unit, pabrik pakan ternak (konsentrat) dan unit pasteurisasi.

Limbah peternakan seperti feses, urin beserta sisa pakan ternak sapi merupakan salah satu sumber bahan yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas. Namun di sisi lain perkembangan atau pertumbuhan industri peternakan menimbulkan masalah bagi lingkungan seperti menumpuknya limbah peternakan termasuknya didalamnya limbah peternakan sapi. Limbah ini menjadi polutan karena dekomposisi kotoran ternak berupa BOD dan COD (Biological/Chemical Oxygen Demand), bakteri patogen sehingga menyebabkan polusi air (terkontaminasinya air bawah tanah, air permukaan), polusi udara dengan debu dan bau yang ditimbulkannya.

Biogas merupakan renewable energy yang dapat dijadikan bahan bakar alternatif untuk menggantikan bahan bakar yang berasal dari fosil seperti minyak tanah dan gas alam (Houdkova et.al., 2008). Biogas juga sebagai salah satu jenis bioenergi yang didefinisikan sebagai gas yang dilepaskan jika bahan-bahan organik seperti kotoran ternak, kotoran manusia, jerami, sekam dan daun-daun hasil sortiran sayur difermentasi atau mengalami proses metanisasi (Hambali E., 2008).

Dalam kaitannya sebagai sumber energi alternatif pengganti energi fosil, biogas merupakan energi bersih yang mampu mengurangi produksi emisi gas rumah kaca. Sehingga penggunaan pemanfaatan potensi limbah Peternakan Sapi

di Kawasan Usaha Peteranakan Sapi sebagai bahan baku energi biogas dapat diajukan sebagai salah satu proyek *Clean Development Mechanism* (Mekanisme Pembangunan Bersih) yang merupakan mekanisme bagi negara berkembang untuk mendapatkan insentif dari negara maju untuk upaya-upaya penurunan gas rumah kaca.

Tujuan dari CDM adalah untuk membantu negara-negara yang tidak termasuk ke dalam Annex I dapat berpartisipasi dalam rangka mencapai tujuan akhir dari *The United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) serta mampu melaksanakan pembangunan yang berkelanjutan. Disamping itu CDM juga membantu negara-negara Annex I untuk memenuhi target pengurangan emisinya diharapkan dengan biaya yang lebih murah. CDM memungkinkan negara-negara Annex I membangun proyek pengurangan emisi di negara-negara non Annex I. Mekanisme ini harus memberikan manfaat nyata, terukur, dan jangka panjang bagi negara-negara non Annex I tempat dibangunnya proyek tersebut berupa pembangunan yang berkelanjutan dan *Certified Emission Reductions* (CERs). CERs ini dapat digunakan oleh negara-negara Annex I dalam memenuhi target pengurangan emisinya. Partisipasi CDM di negara-negara non Annex I dapat melibatkan pemerintah ataupun swasta dan mengacu kepada panduan-panduan yang ditetapkan oleh *CDM-Executive Board*.^[8]

Sebagai negara berkembang yang telah meratifikasi UNFCCC melalui Undang-Undang Nomor 6 tahun 1994 dan meratifikasi Protokol Kyoto melalui Undang-Undang Nomor 17 tahun 2004, Indonesia memiliki komitmen untuk turut serta dalam program penanganan perubahan iklim. Disamping komitmen tersebut Indonesia juga dapat terlibat dalam mekanisme perdagangan emisi melalui *Clean Development Mechanism* (CDM) atau Mekanisme Pembangunan Bersih. ^[8]

1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang dirumuskan dalam penelitian ini adalah:

1. Potensi sumber energi baru terbarukan setempat yang berupa Limbah peternakan seperti feses, urin beserta sisa pakan ternak sapi yang cukup besar, dan masih belum dimanfaatkan secara optimal dan ekonomis.

2. Pemanfaatkan potensi tersebut sebagai bahan baku biogas dan selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik (PLT Biogas).
3. Perlu adanya analisa pemanfaatan kotoran sapi di suatu kawasan usaha peternakan untuk mengoptimalkan pemanfaatan energy.
4. Potensi insentif finansial yang didapatkan jika diajukan sebagai proyek (*Clean Development Mechanism - CDM*), sesuai Protokol Kyoto.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengkaji pemanfaatan potensi Limbah peternakan (feses, urin beserta sisa pakan ternak sapi) di Peternakan Kawasan Usaha Peteranakan Sapi sebagai bahan baku biogas.
2. Menghitung kapasitas energi listrik dari PLT Biogas yang dapat dibangkitkan.
3. Melakukan studi dan analisa mengenai pemanfaatan kotoran sapi sehingga menghasilkan tenaga listrik yang optimal.
4. Mengkaji nilai Carbon yang bisa diturunkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLT Biogas) tersebut jika diajukan sebagai proyek Clean Development Mecanism – CDM.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini masalah dibatasi pada:

1. Bahan baku biogas yang digunakan adalah Limbah peternakan (feses/kotoran ternak sapi).
2. Biogas hanya digunakan sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLT Biogas) dan tidak untuk keperluan lain, seperti memasak, dan sebagainya.
3. Mengkaji pemanfaatan limbah peternakan sehingga bisa menghasilkan tenaga listrik yang optimal.
4. Perhitungan jumlah biogas yang dihasilkan, kapasitas pembangkit listrik tenaga Biogas, dan potensi pengurangan emisi CO₂ yang

dihasilkan berdasarkan potensi Limbah peternakan (feses/kotoran ternak sapi).

1.5 Metodologi Penelitian

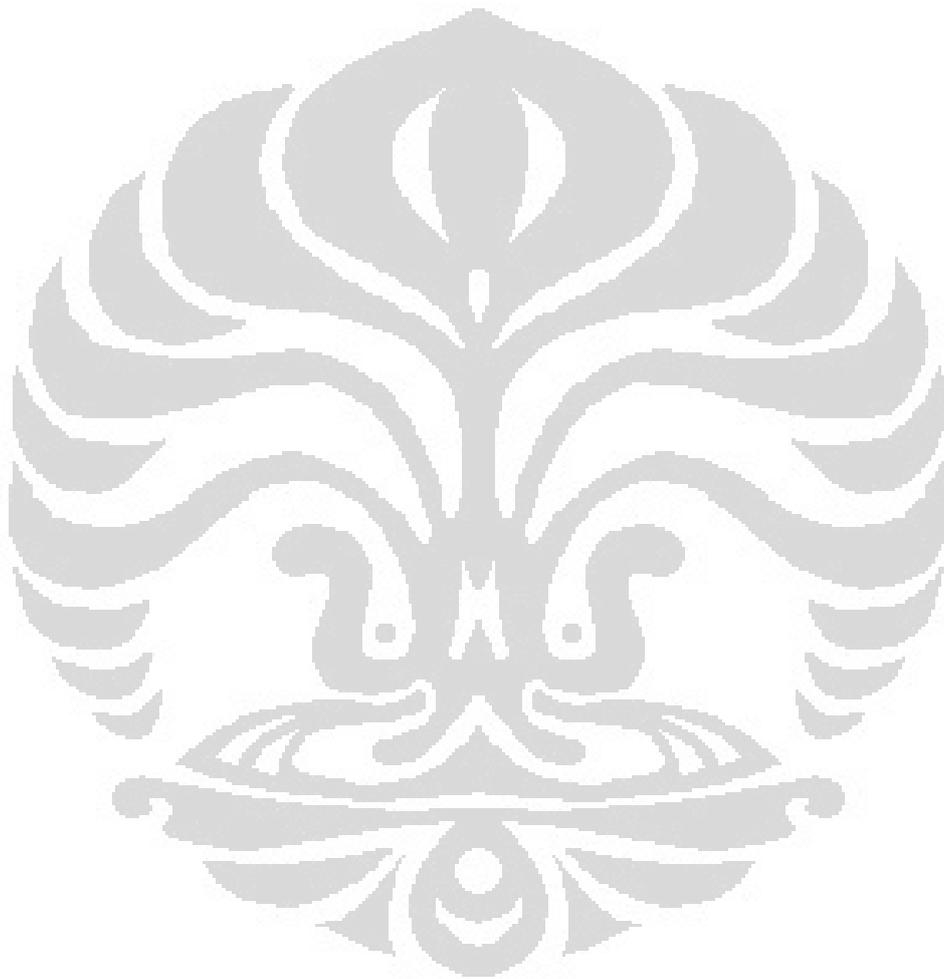
Langkah-langkah utama yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah:

1. Studi literatur, untuk mempelajari, mengembangkan dan menerapkan ilmu pengetahuan dan teknologi yang telah dikembangkan dan diterapkan sebelumnya.
2. Mengumpulkan data jumlah potensi Limbah peternakan (feses/kotoran ternak sapi) di peternakan Kawasan Usaha Peteranakan Sapi dan data pendukung lainnya untuk pembangunan instalasi Pemangkit listrik tenaga biogas.
3. Menganalisa data jumlah potensi Limbah peternakan dan kemudian digunakan untuk perhitungan biogas yang dihasilkan untuk PLT Biogas.
4. Melakukan Perhitungan potensi biogas dan Energi yang dihasilkan, Pemilihan dan perhitungan digester PLT Biogas, Pemilihan teknologi PLT Biogas, Perhitungan potensi pengurangan CO₂ dan Analisa potensi Biogas untuk pemangkit tenaga listrik.
5. Menganalisa hasil perhitungan melalui uji sensitivitas untuk tingkat pengembalian dan jangka waktu pengembalian modal investasi terhadap dampak kenaikan harga lahan, tarif listrik dan Biaya operasi dan pemeliharaan pemangkit biogas
6. kesimpulan.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada bab 1 membahas tentang latar belakang penulisan, perumusan permasalahan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penulisan, dan sistematika penulisan; bab 2 membahas tentang konsep dasar yang meliputi digestifikasi anaerobik, tahap pembentukan biogas, penentuan kapasitas biogas (produksi gas metan) dan kapasitas Pemangkit Listrik Tenaga Biogas; bab 3

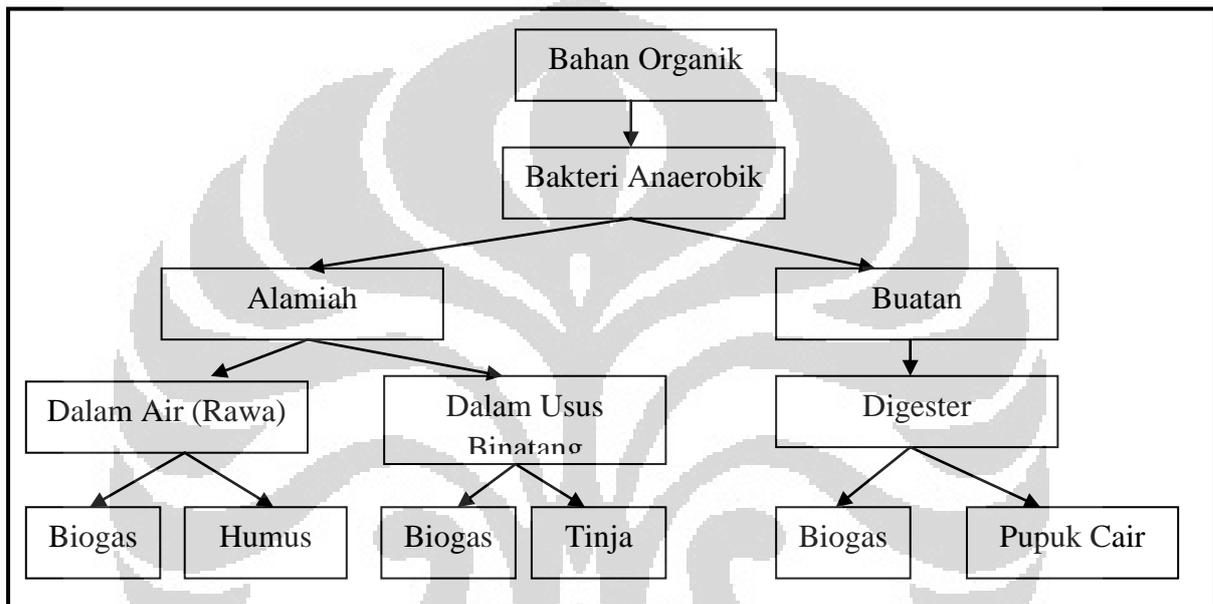
membahas tentang methodologi Penulisan; bab 4 membahas tentang data jumlah potensi Limbah peternakan (feses, urin beserta sisa pakan ternak sapi) di suatu peternakan yang menjadi Kawasan Usaha Peteranakan Sapi Perah, kapasitas biogas (produksi gas metan) dan kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Biogas, pengurangan emisi CO₂ yang dihasilkan serta analisa teknis dan ekonomis; bab 5 Kesimpulan.



BAB II LANDASAN TEORI

2.1 DIGESTIFIKASI ANAEROBIK

Digestifikasi anaerobik adalah proses pembusukan bahan organik oleh bakteri anaerobik pada kondisi tanpa udara, yang menghasilkan biogas dan pupuk cair. Ada dua jenis digestifikasi anaerobik, yaitu alamiah dan buatan, seperti terlihat pada Gambar 2.1. [8]



Gambar 2.1. Proses digestifikasi anaerobik

Biogas adalah gas campuran yang mudah terbakar dengan komposisi, seperti terlihat pada Tabel 2.1, dan digunakan untuk memasak, lampu biogas, dan bahan bakar mesin.

Tabel 2.1. Komposisi Biogas [2]

Komponen	%
Metana (CH ₄)	55-75
Karbon dioksida (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

2.2 Tahap Pembentukan Biogas

Limbah peternakan seperti feses, urin beserta sisa pakan ternak sapi merupakan salah satu sumber bahan yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas. Namun di sisi lain perkembangan atau pertumbuhan industri peternakan menimbulkan masalah bagi lingkungan seperti menumpuknya limbah peternakan termasuk didalamnya limbah peternakan sapi. Limbah ini menjadi polutan karena dekomposisi kotoran ternak berupa BOD dan COD (Biological/Chemical Oxygen Demand), bakteri patogen sehingga menyebabkan polusi air (terkontaminasinya air bawah tanah, air permukaan), polusi udara dengan debu dan bau yang ditimbulkannya.

Biogas merupakan renewable energy yang dapat dijadikan bahan bakar alternatif untuk menggantikan bahan bakar yang berasal dari fosil seperti minyak tanah dan gas alam (Houdkova et.al., 2008). Biogas juga sebagai salah satu jenis bioenergi yang didefinisikan sebagai gas yang dilepaskan jika bahan-bahan organik seperti kotoran ternak, kotoran manusia, jerami, sekam dan daun-daun hasil sortiran sayur difermentasi atau mengalami proses metanisasi (Hambali E., 2008).

Gas metan ini sudah lama digunakan oleh warga Mesir, China, dan Roma kuno untuk dibakar dan digunakan sebagai penghasil panas. Sedangkan proses fermentasi lebih lanjut untuk menghasilkan gas metan ini pertama kali ditemukan oleh Alessandro Volta (1776). Hasil identifikasi gas yang dapat terbakar ini dilakukan oleh Willam Henry pada tahun 1806. Dan Becham (1868) murid Louis Pasteur dan Tappeiner (1882) adalah orang pertama yang memperlihatkan asal mikrobiologis dari pembentukan gas metan.

Gas ini berasal dari berbagai macam limbah organik seperti sampah biomassa, kotoran manusia, kotoran hewan dapat dimanfaatkan menjadi energi melalui proses anaerobik digestion (Pambudi, 2008). Biogas yang terbentuk dapat dijadikan bahan bakar karena mengandung gas metan (CH_4) dalam persentase yang cukup tinggi. Komponen biogas tersajikan pada Tabel 2.2

Tabel 2.2. Komponen penyusun biogas

Jenis Gas	Persentase
Metan (CH ₄)	50-70%
Karbon dioksida (CO ₂)	30-40%
Air (H ₂ O)	0,3%
Hidrogen sulfida (H ₂ S)	Sedikit sekali
Nitrogen (N ₂)	1- 2%
Hidrogen	5-10%

Sumber : Bacracharya, dkk., 1985

Sebagai pembangkit tenaga listrik, energi yang dihasilkan oleh biogas setara dengan 60 – 100 watt lampu selama 6 jam penerangan. Kesetaraan biogas dibandingkan dengan bahan bakar lain dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Nilai kesetaraan biogas dan energi yang dihasilkan

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

Sumber : Wahyuni, 2008

Biogas sebagai salah satu sumber energi yang dapat diperbaharui dapat menjawab kebutuhan akan energi sekaligus menyediakan kebutuhan hara tanah dari pupuk cair dan padat yang merupakan hasil sampingannya serta mengurangi efek rumah kaca. Pemanfaatan biogas sebagai sumber energi alternatif dapat mengurangi penggunaan kayu bakar. Dengan demikian dapat mengurangi usaha

penebangan hutan, sehingga ekosistem hutan terjaga. Biogas menghasilkan api biru yang bersih dan tidak menghasilkan asap.

Energi biogas sangat potensial untuk dikembangkan karena produksi biogas peternakan ditunjang oleh kondisi yang kondusif dari perkembangan dunia peternakan sapi di Indonesia saat ini. Disamping itu, kenaikan tarif listrik, kenaikan harga LPG (Liquefied Petroleum Gas), premium, minyak tanah, minyak solar, minyak diesel dan minyak bakar telah mendorong pengembangan sumber energi alternatif yang murah, berkelanjutan dan ramah lingkungan (Nurhasanah dkk., 2006).

Peningkatan kebutuhan susu dan penganangan swasembada daging tahun 2010 di Indonesia telah merubah pola pengembangan agribisnis peternakan dari skala kecil menjadi skala menengah/besar. Di beberapa daerah telah berkembang koperasi susu, peternakan sapi pedaging melalui kemitraan dengan perkebunan kelapa sawit dan sebagainya. Kondisi ini mendukung ketersediaan bahan baku biogas secara kontinyu dalam jumlah yang cukup untuk memproduksi biogas.

Pemanfaatan limbah peternakan khususnya kotoran ternak sapi menjadi biogas mendukung konsep zero waste sehingga sistem pertanian yang berkelanjutan dan ramah lingkungan dapat dicapai.

Menurut Santi (2006), beberapa keuntungan penggunaan kotoran ternak sebagai penghasil biogas sebagai berikut :

1. Mengurangi pencemaran lingkungan terhadap air dan tanah, pencemaran udara (bau).
2. Memanfaatkan limbah ternak tersebut sebagai bahan bakar biogas yang dapat digunakan sebagai energi alternatif untuk keperluan rumah tangga.
3. Mengurangi biaya pengeluaran peternak untuk kebutuhan energi bagi kegiatan rumah tangga yang berarti dapat meningkatkan kesejahteraan peternak.
4. Melaksanakan pengkajian terhadap kemungkinan dimanfaatkannya biogas untuk menjadi energi listrik untuk diterapkan di lokasi yang masih belum memiliki akses listrik.

5. Melaksanakan pengkajian terhadap kemungkinan dimanfaatkannya kegiatan ini sebagai usulan untuk mekanisme pembangunan bersih (Clean Development Mechanism).

Pengolahan Limbah Peternakan Sapi Menjadi Biogas

Pengolahan limbah peternakan sapi menjadi biogas pada prinsipnya menggunakan metode dan peralatan yang sama dengan pengolahan biogas dari biomassa yang lain. Adapun alat penghasil biogas secara anaerobik pertama dibangun pada tahun 1900. Pada akhir abad ke-19, riset untuk menjadikan gas metan sebagai biogas dilakukan oleh Jerman dan Perancis pada masa antara dua Perang Dunia. Selama Perang Dunia II, banyak petani di Inggris dan Benua Eropa yang membuat alat penghasil biogas kecil yang digunakan untuk menggerakkan traktor. Akibat kemudahan dalam memperoleh BBM dan harganya yang murah pada tahun 1950-an, proses pemakaian biogas ini mulai ditinggalkan. Tetapi, di negara-negara berkembang kebutuhan akan sumber energi yang murah dan selalu tersedia selalu ada. Oleh karena itu, di India kegiatan produksi biogas terus dilakukan semenjak abad ke-19. Saat ini, negara berkembang lainnya, seperti China, Filipina, Korea, Taiwan, dan Papua Nugini telah melakukan berbagai riset dan pengembangan alat penghasil biogas. Selain di negara berkembang, teknologi biogas juga telah dikembangkan di negara maju seperti Jerman.

Pada prinsipnya teknologi biogas adalah teknologi yang memanfaatkan proses fermentasi (pembusukan) dari sampah organik secara anaerobik (tanpa udara) oleh bakteri metan sehingga dihasilkan gas metan (Nandiyanto, 2007). Menurut Haryati (2006), proses pencernaan anaerobik merupakan dasar dari reaktor biogas yaitu proses pemecahan bahanorganik oleh aktivitas bakteri metanogenik dan bakteri asidogenik pada kondisi tanpa udara, bakteri ini secara alami terdapat dalam limbah yang mengandung bahan organik, seperti kotoran binatang, manusia, dan sampah organik rumah tangga. Gas metan adalah gas yang mengandung satu atom C dan 4 atom H yang memiliki sifat mudah terbakar. Gas metan yang dihasilkan kemudian dapat dibakar sehingga dihasilkan energi panas. Bahan organik yang bisa digunakan sebagai bahan baku industri ini adalah sampah organik, limbah yang sebagian besar terdiri dari kotoran dan potongan-

potongan kecil sisa-sisa tanaman, seperti jerami dan sebagainya serta air yang cukup banyak.

Proses fermentasi memerlukan kondisi tertentu seperti rasio C : N, temperatur, keasaman juga jenis digester yang dipergunakan. Kondisi optimum yaitu pada temperatur sekitar 32 – 35°C atau 50 – 55°C dan pH antara 6,8 – 8 . Pada kondisi ini proses pencernaan mengubah bahan organik dengan adanya air menjadi energi gas.

Jika dilihat dari segi pengolahan limbah, proses anaerobik juga memberikan beberapa keuntungan lain yaitu menurunkan nilai COD dan BOD, total solid, volatile solid, nitrogen nitrat dan nitrogen organic, bakteri coliform dan patogen lainnya, telur insek, parasit, dan bau.

Proses pencernaan anaerobik, yang merupakan dasar dari reaktor biogas yaitu proses pemecahan bahan organik oleh aktifitas bakteri metanogenik dan bakteri asidogenik pada kondisi tanpa udara. Bakteri ini secara alami terdapat dalam limbah yang mengandung bahan organik, seperti kotoran binatang, manusia, dan sampah organik rumah tangga.

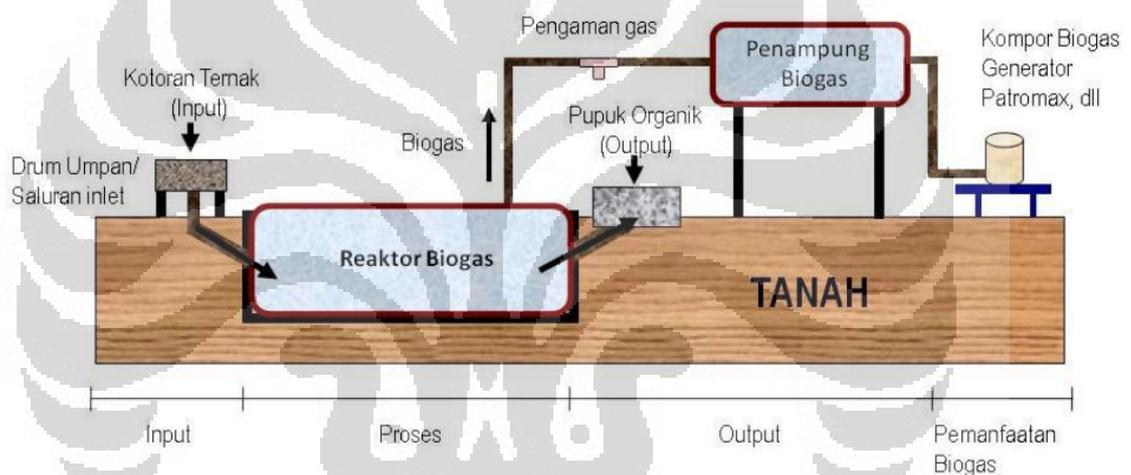
Menurut Haryati (2006), pembentukan biogas meliputi tiga tahap proses yaitu:

1. Hidrolisis, pada tahap ini terjadi penguraian bahan-bahan organik mudah larut dan pemecahan bahan organik yang kompleks menjadi sederhana dengan bantuan air (perubahan struktur bentuk polimer menjadi bentuk monomer).
2. Pengasaman, pada tahap pengasaman komponen monomer (gula sederhana) yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan menjadi bahan makanan bagi bakteri pembentuk asam. Produk akhir dari perombakan gula-gula sederhana tadi yaitu asam asetat, propionat, format, laktat, alkohol, dan sedikit butir, gas karbondioksida, hidrogen dan ammonia.
3. Metanogenik, pada tahap metanogenik terjadi proses pembentukan gas metan. Bakteri pereduksi sulfat juga terdapat dalam proses ini yang akan mereduksi sulfat dan komponen sulfur lainnya menjadi hydrogen sulfida.

Jika dilihat analisa dampak lingkungan terhadap lumpur keluaran (slurry) dari digester menunjukkan penurunan COD sebesar 90% dari kondisi bahan awal dan pebandingan BOD/COD sebesar 0,37 lebih kecil dari kondisi normal limbah cair

BOD/COD = 0,5. Sedangkan unsur utama N (1,82%), P (0,73%) dan K (0,41%) tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dibandingkan pupuk kompos (referensi: N (1,45%), P (1,10%) dan K (1,10%)) (Widodo dkk., 2006). Berdasarkan hasil penelitian, hasil samping pupuk ini mengandung lebih sedikit bakteri patogen sehingga aman untuk pemupukan sayuran/buah, terutama untuk konsumsi segar (Widodo dkk., 2006).

Saat ini berbagai jenis bahan dan ukuran peralatan biogas telah dikembangkan sehingga dapat disesuaikan dengan karakteristik wilayah, jenis, jumlah dan pengelolaan kotoran ternak. Peralatan dan proses pengolahan dan pemanfaatan biogas ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 2.2. Instalasi digestifikasi anaerobik

Digester dapat dibuat dari bahan plastik Polyetil Propilene (PP), fiber glass atau semen, sedangkan ukuran bervariasi mulai dari 4 – 35 m³. Biogas dengan ukuran terkecil dapat dioperasikan dengan kotoran ternak 3 ekor sapi.



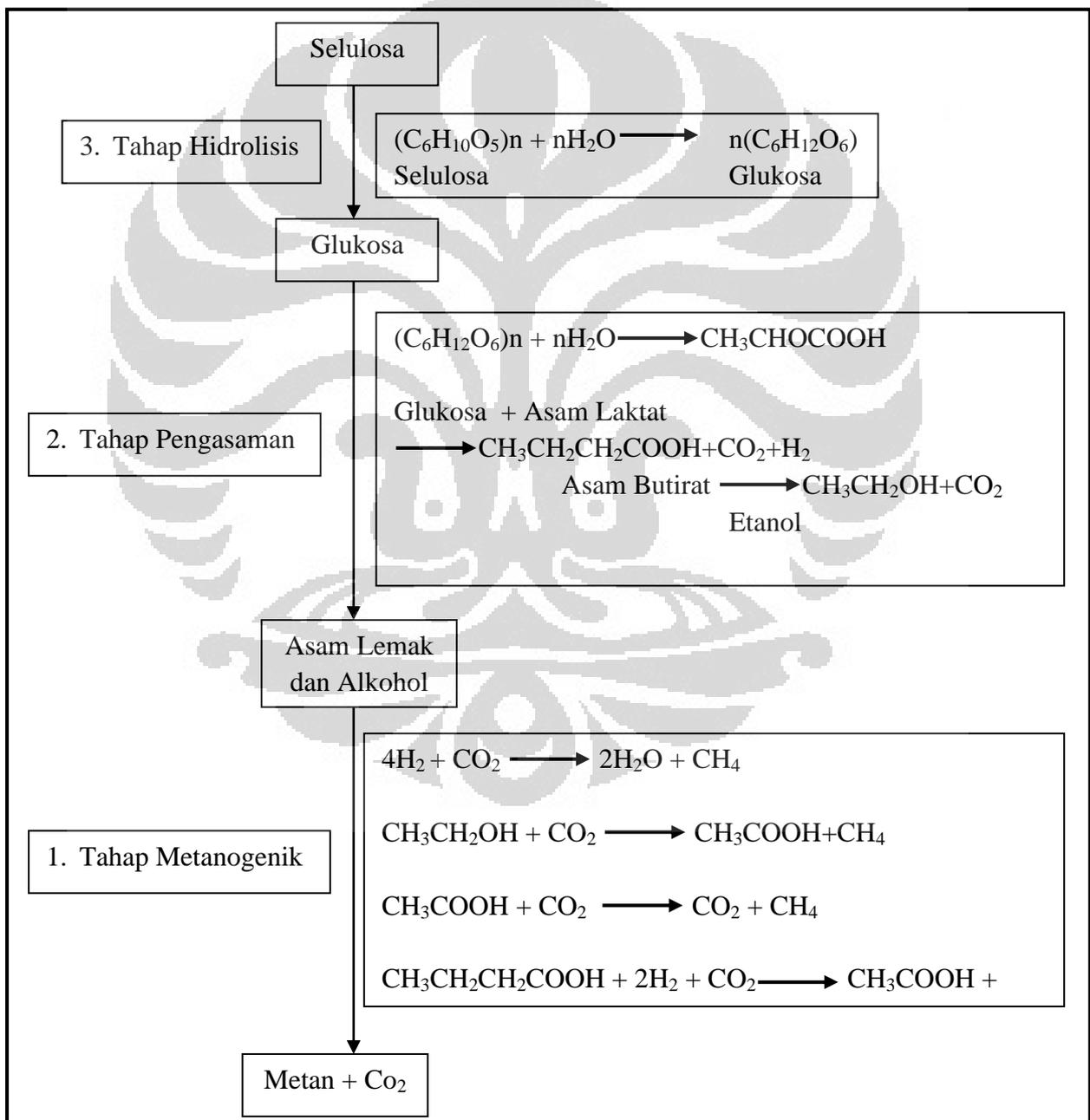
Gambar 2.3. contoh digester anaerobik

Cara Pengoperasian Unit Pengolahan (Digester) Biogas seperti terjabar dalam Seri Bioenergi Pedesaan Direktorat Pengolahan Hasil Pertanian Direktorat Jenderal Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian Departemen Pertanian tahun 2009 sebagai berikut :

1. Buat campuran kotoran ternak dan air dengan perbandingan 1 : 2 (bahan biogas).
2. Masukkan bahan biogas ke dalam digester melalui lubang pengisian (inlet) hingga bahan yang dimasukkan ke digester ada sedikit yang keluar melalui lubang pengeluaran (outlet), selanjutnya akan berlangsung proses produksi biogas di dalam digester.
3. Setelah kurang lebih 8 hari biogas yang terbentuk di dalam digester sudah cukup banyak. Pada sistem pengolahan biogas yang menggunakan bahan plastik, penampung biogas akan terlihat mengembung dan mengeras karena adanya biogas yang dihasilkan. Biogas sudah dapat digunakan sebagai bahan bakar, kompor biogas dapat dioperasikan.
4. Pengisian bahan biogas selanjutnya dapat dilakukan setiap hari, yaitu sebanyak kira-kira 10% dari volume digester. Sisa pengolahan bahan biogas berupa sludge secara otomatis akan keluar dari lubang pengeluaran (outlet) setiap kali dilakukan pengisian bahan biogas. Sisa hasil pengolahan bahan biogas tersebut dapat digunakan sebagai pupuk kandang/pupuk organik, baik dalam keadaan basah maupun kering.

Biogas yang dihasilkan dapat ditampung dalam penampung plastik atau digunakan langsung pada kompor untuk memasak, menggerakkan generator listrik, patromas biogas, penghangat ruang/kotak penetasan telur dan lain sebagainya.

Untuk memanfaatkan kotoran ternak sapi menjadi biogas, diperlukan beberapa syarat yang terkait dengan aspek teknis, infrastruktur, manajemen dan sumber daya manusia. Bila faktor tersebut dapat dipenuhi, maka pemanfaatan kotoran ternak menjadi biogas sebagai penyediaan energi di pedesaan dapat berjalan dengan optimal.

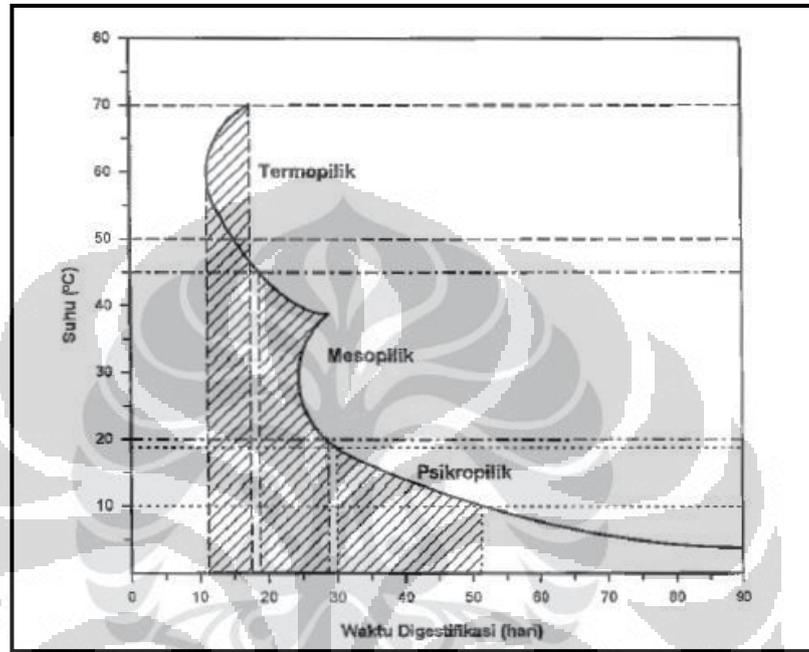


Gambar 2.4. Tahap pembentukan biogas [8]

2.3. Parameter Proses Pencernaan Limbah Organik.

2.3.1 Temperatur

Hubungan waktu digestifikasi dan suhu dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5. Waktu digestifikasi dan suhu [8]

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

- Kondisi Psikoprilik
Pada kondisi ini suhu digester antara 10-18⁰ C, dan sampah cair terdigestifikasi selama 30-52 hari.
- Kondisi Mesopilik
Pada kondisi ini suhu digester antara 20-45⁰ 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.
- Kondisi Termopilik

Pada kondisi ini suhu digester antara 50-70⁰ C, dan sampah cair terdigestifikasi selama 11-17 hari. Digester pada kondisi termopilik menghasilkan banyak biogas, tapi biaya investasinya tinggi dan pengoperasiannya rumit. [8]

2.3.2 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. Ion mineral, logam berat dan detergen adalah beberapa material racun yang mempengaruhi pertumbuhan normal bakteri patogen didalam reactor pencernaan. Ion mineral dalam jumlah kecil (sodium, potasium, kalsium, amonium dan belerang) juga merangsang pertumbuhan bakteri, namun bila ion-ion ini dalam konsentrasi yang tinggi akan berakibat meracuni. Sebagai contoh, NH_4 pada konsentrasi 50 hingga 200 mg/l merangsang pertumbuhan mikroba, namun bila konsentrasinya diatas 1500 mg/l akan mengakibatkan keracunan. Di bawah ini table konsentrasi kandungan kimia mineral-mineral atau Tingkatan racun dari beberapa zat penghambat yang terdapat dalam proses pencernaan/digestion limbah organik, yaitu:

Table 2.4. Tingkatan racun dari beberapa zat penghambat

Sulfat (SO_4^{-2})	5,000 ppm
Sodium Klorida atau garam (NaCl)	40,000 ppm
Cyanide Below	25 mg/l
Alkyl Benzene Sulfonate (ABS)	40 ppm
Ammonia	3000 mg/l
Nitrat (dihitung sebagai N)	0.05 mg/l
Tembaga (Cu^{+2})	100 mg/l
Khrom (Cr^{+3})	200 mg/lg
Nikel (Ni^{+3})	200 – 500 mg/l
Sodium (Na^{+})	3,500 – 5,500 mg/l
Potasium (K^{+})	2,500 – 4,500 mg/l
Kalsium (Ca^{+2})	2,500 – 4,500 mg/l
Magnesium (Mg^{+2})	1,000 – 1,500 mg/l
Mangan (Mn^{+2})	didas 1,5001 500 mg/l

Sumber: Chengdu Biogas Research Institute, Chengdu, China (1989).

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, and logamlogam berat seperti chromium, nickel, dan zinc.

2.3.3 Waktu yang dibutuhkan untuk Proses Pencernaan

Waktu yang dibutuhkan untuk Proses Pencernaan (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.[9]

2.3.4 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. [9]

2.3.5 Kandungan Nitrogen dan Rasio Karbon Nitrogen

Karbon dan Nitrogen adalah sumber makanan utama bagi bakteri anaerob, sehingga pertumbuhan optimum bakteri sangat dipengaruhi unsur ini, dimana Karbon dibutuhkan untuk mensuplai energi dan Nitrogen dibutuhkan untuk membentuk struktur sel bakteri. Nitrogen amonia pada konsentrasi yang tinggi dapat menghambat proses fermentasi anaerob. Konsentrasi yang baik berkisar 200– 1500 mg/lit dan bila melebihi 3000 mg/lit akan bersifat toxic. Proses fermentasi anaerob akan berlangsung optimum bila rasio C:N bernilai 30:1, dimana jumlah karbon 30 kali dari jumlah nitrogen. [9]

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. Rasio C/N beberapa bahan organik dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Rasio C/N beberapa bahan organik

Bahan Organik	Rasio C/N
Kotoran bebek	8
Kotoran manusia	8
Kotoran ayam	10
Kotoran kambing	12
Kotoran babi	18
Kotoran domba	19
Kotoran kerbau/sapi	24
Enceng Gondok (water hyacinth)	25
Kotoran gajah	43
Jerami (jagung)	60
Jerami (padi)	70
Jerami (gandum)	90
Sisa gergajian	diatas 200

Sumber: Karki and Dixit (1984)

Kotoran hewan terutama sapi, memiliki nilai C/N rata-rata berkisar 24. Material dari tumbuhan seperti serbuk gergaji dan jerami mengandung persentase C/N yang lebih tinggi, sedangkan kotoran manusia memiliki nilai rasio C/N 8. Limbah organik yang bernilai C/N tinggi dapat dicampur dengan yang lebih rendah sehingga diperoleh nilai rasio C/N yang ideal, seperti pencampuran limbah jerami (straw) kedalam limbah toilet (latrine waste) untuk mencapai kadar C/N yang ideal atau mencampurkan kotoran gajah dengan kotoran manusia sehingga mendapat jumlah rasio C/N yang seimbang dan produksi biogas dapat berjalan optimum.

2.3.6 Total Solid Content (TS)

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. TS juga mengindikasikan banyaknya padatan dalam bahan organik dan nilai TS sangat mempengaruhi lamanya proses pencernaan/digester (HRT) bahan organik. [9]

2.3.7 Volatile Solids (VS)

Merupakan bagian padatan (total solid-TS) yang berubah menjadi fase gas pada tahapan asidifikasi dan metanogenesis sebagaimana dalam proses fermentasi limbah organik. Dalam pengujian skala laboratorium, berat saat bagian padatan bahan organik yang hilang terbakar (menguap dan mengalami proses gasifikasi) dengan pembakaran pada suhu 538° C, disebut sebagai volatile solid. Atau Potensi produksi biogas atau disebut juga persentase volatile solid untuk beberapa bahan organik yang berbeda seperti diperlihatkan pada tabel di bawah ini. [9]

Tabel 2.6. Potensi Produksi Gas untuk Beberapa Tipe Bahan Organik.

Tipe Limbah Organik	Produksi Biogas Per Kg Waste (m3) (% VS)
Sapi (Lembu/Kerbau)	0.023 - 0.040
Babi	0.040 - 0.059
Ayam	0.065 - 0.116
Manusia	0.020 - 0.028
SampahSisa Panen	0.037
Air Bakau (Water hyacinth)	0.045

Sumber: United Nations (1984).

2.3.8 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. [9]

2.3.9 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. [9]

2.3.10 Penjernihan Biogas

Kandungan gas atau zat lain dalam biogas seperti air, karbon dioksida, asam sulfat H₂S, 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 H₂S yang berpotensi menyebabkan karat pada komponen mesin harus dibuang melalui peralatan penyaring/ filter sulfur. [9]

2.4 Persamaan-Persamaan Pembentukan Biogas

Berikut beberapa persamaan yang menentukan proses pembentukan biogas dari fermentasi limbah organik pada digester anaerob.

2.4.1 Persamaan Lama Waktu Penguraian

Secara teoritis merupakan waktu material organik berada di dalam tangki digester. Selama proses ini terjadi pertumbuhan bakteri anaerob pengurai, proses penguraian matrial organik, dan stabilasi pembentukan biogas menuju kepada kondisi optimumnya. Secara keseluruhan, lama waktu penguraian (Hydraulic Retention Time-HRT) mencakup 70%-80% dari keseluruhan waktu proses pembentukan biogas bila siklus pembentukan biogas berjalan ideal yakni 1 kali proses pemasukan matrial organik langsung mendapatkan biogas sebagai proses akhirnya. HRT dapat dirumuskan menjadi persamaan berikut:

$$\text{HRT (days)} = \frac{\text{Volume Digester (m}^3\text{)}}{\text{Laju Penambahan Bahan Organik Harian (m}^3\text{/day)}} \dots\dots(2.1.)$$

Jika material padatan kering (Dry Matery-DM atau disebut juga Total Solid-TS) berkisar 4-12 %, maka waktu penguraian optimum (Optimum Retention Time) berkisar 10-15 hari. Jika nilai DM lebih besar dari nilai persentasi material padatan kering di atas, berarti material organik memiliki konsentrasi lebih padat sehingga lama waktu penguraian menjadi spesifik, sehingga berlaku persamaan lama waktu penguraian spesifik (specific retention time-SRT) berikut:

$$\text{SRT} = \frac{\text{Masa Padatan Organik dalam Digester Anaerob (kg)}}{\text{Laju Pembuangan Padatan Sisa Digester (kg/day)}} \dots\dots\dots(2.2.)$$

Untuk bahan organik spesifik seperti di atas, laju penambahan limbah organik (Specific Loading Rate-SLR) dapat diketahui sebagai berikut:

$$\text{SLR} \frac{(\text{kg ODM})}{(\text{m}^3 \text{- day})} = \frac{\text{Bahan Organik yang Ditambahkan (kg ODM/day)}}{\text{Volume Digester (m}^3\text{)}} \dots\dots(2.3.)$$

Kedalaman tangki digester sangat mempengaruhi nilai SLR dan bila parameter lain dapat dijaga pada kondisi ideal, nilai optimum SLR didapat berkisar 3-6 kg ODM/m³-day. [9]

2.4.2 Persamaan Produksi Biogas Spesifik

Produksi Biogas Spesifik (Specific Biogas Production- SBP) merupakan nilai indikator efisiensi digester. Kondisi minimal 1,5 dan target ideal bernilai 2,5.

$$\text{SBP (day}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Biogas Production (m}^3\text{/day)}}{\text{Digester Volume (m}^3\text{)}} \dots\dots\dots(2.4.)$$

2.4.3 Persamaan Produksi Gas Metan Spesifik

Produksi Metan Spesifik (Specific Methane Production-SMP), berhubungan dengan jumlah energi yang diproduksi terhadap potensi energi yang dimiliki limbah organik (feedstock). Untuk limbah organik dari tumbuhan/biji-bijian bernilai energi antara 0.3 – 0.4 (%) dan untuk beberapa jenis kotoran hewan dapat bernilai sampai 0.8%. [9]

$$\text{SMP (m}^3 \text{ CH}_4 \text{ /kg ODM)} = \frac{\text{Volume Gas CH}_4 \text{ (m}^3 \text{ /day)}}{\text{Laju Penambahan Bahan Organik (kg ODM/day)}}$$

.....(2.5.)

2.5 Konversi Energi Biogas dan Pemanfaatannya

Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar dan sebagai sumber energy alternatif untuk penggerak generator pembangkit tenaga listrik serta menghasilkan energi panas. Pembakaran 1 kaki kubik (0,028 meter kubik) biogas menghasilkan energy panas sebesar 10 Btu (2,25 kcal) yang setara dengan 6 kWh/m³ 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, 0,79 L bioethanol. [9]

2.5.1 Konversi Energi Biogas untuk Ketenagalistrikan

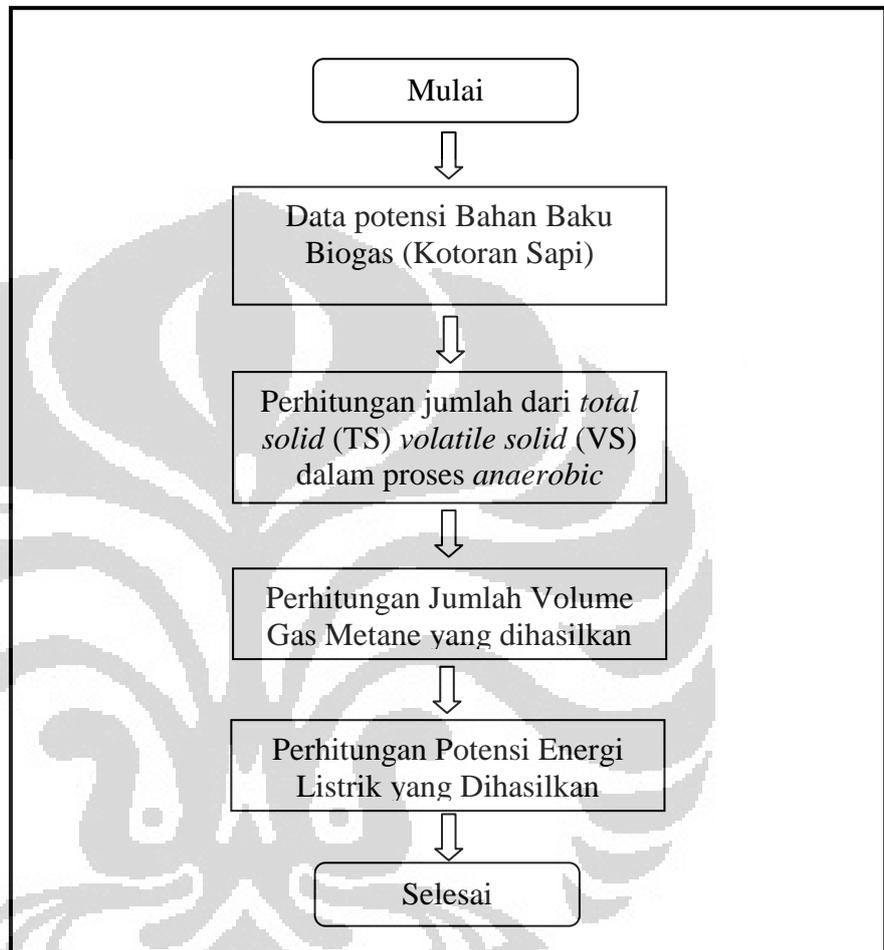
Konversi energi biogas untuk pembangkit tenaga listrik dapat dilakukan dengan menggunakan gas turbine, microturbines dan Otto Cycle Engine. Pemilihan teknologi ini sangat dipengaruhi potensi biogas yang ada seperti konsentrasi gas metan maupun tekanan biogas, kebutuhan beban dan ketersediaan dana yang ada. [9]

Dalam Buku Renewable Energy Conversion, Transmsision and Storage karya Bent Sorensen, bahwa 1 Kg gas methane setara dengan 6,13 x 10⁷ J, sedangkan 1 kWh setara dengan 3,6 x 10⁶ Joule. Untuk massa jenis gas metan 0,656 kg/m³ Sehingga 1 m³ gas metane menghasilkan energi listrik sebesar 11,17 kWh.

Tabel. 2.7. Konversi Energi Gas Metan menjadi Energi Listrik

Jenis Energi	Setara Energi	Referensi
1. 1 Kg Gas Metan	6,13 x 10 ⁷ J	<i>Renewable Energy Conversion, Transmsision and Storage, Bent Sorensen, Juni 2007</i>
2. 1 kWh	3,6 x 10 ⁶ J	
3. 1 m ³ Gas Metan Massa Jenis Gas Metan adalah 0,656 Kg/m ³	4,0213 x 10 ⁷ J	
4. 1 m ³ Gas Metan	11,17 kWh	

Diagram alur Penentuan Kapasitas Biogas (Produksi Gas Metan) dan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLT Biogas) dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Diagram alur penentuan kapasitas biogas dan PLT Biogas^[8]

Langkah-langkah Kapasitas Biogas dan PLT Biogas, yaitu:

1. Penentuan data potensi Bahan Baku Biogas (Kotoran Sapi) (Ps), dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data pemanfaatan potensi Kotoran ternak sapi perah di Kawasan Usaha Peternakan Sapi Perah (Ton /hari atau Kg/hari)
2. Perhitungan jumlah dari total solid (TS) volatile solid (VS) dalam proses anaerobic digestion.

$$TS = 3,095\% (4) \times Ps \text{ Kg} \dots\dots\dots(2.6.)$$

$$VS = 85\% (4) \times TS \text{ Kg} \dots\dots\dots(2.7.)$$

Ps = Data Potensi Bahan baku biogas (Kg/hari)

TS = total solid (Kg/hari)

VS = volatile solid (Kg/hari)

3. Perhitungan jumlah volume gas metan

$$V_{gm} = 0,417 \times VS \text{ m}^3 \dots\dots\dots(2.8.)$$

V_{gm} = Jumlah volume gas Metan (m³)

VS = volatile solid (Kg/hari)

4. Perhitungan potensi energi listrik

$$E = V_{gm} \times FK \text{ kWh} \dots\dots\dots(2.9.)$$

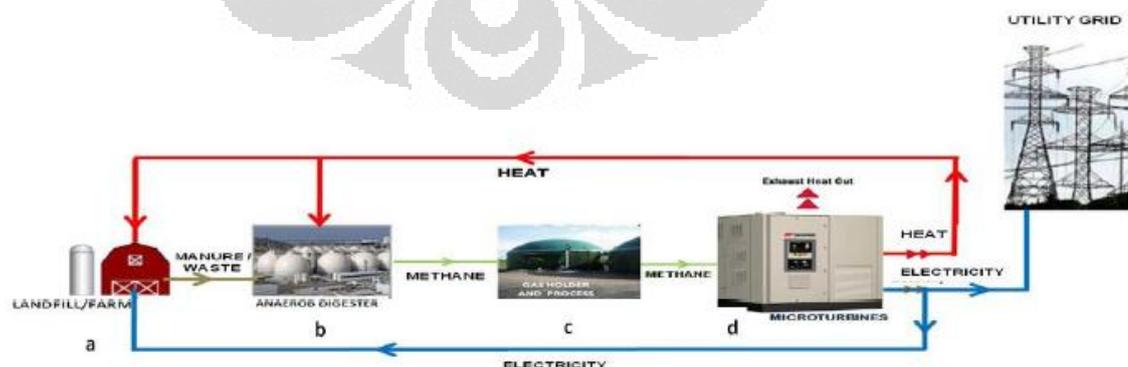
E = Produksi Energi Listrik (kWh)

V_{gm} = Jumlah volume gas Metan (m³)

FK = Faktor Konversi (kWh/ m³)

2.5.2 Komponen Utama PLTBogas

Sistem PLTBogas secara lengkap terdiri dari digester anaerob, feedstock, biogas conditioning (untuk memurnikan kandungan metan dalam biogas), Engine-Generator (microturbines), Heat Recovery Use, Exhaust Heat Recovery dan Engine Heat Recovery. Berikut ini gambar sistem penyaluran energi listrik dan panas PLTBogas. [9]



Gambar. 2.7. Sistem Penyaluran Tenaga Listrik dari PLTBogas [9]

a. Feedstock, b. Digester, c. Biogas Tank,
d. Engine-Generator (Microturbines)

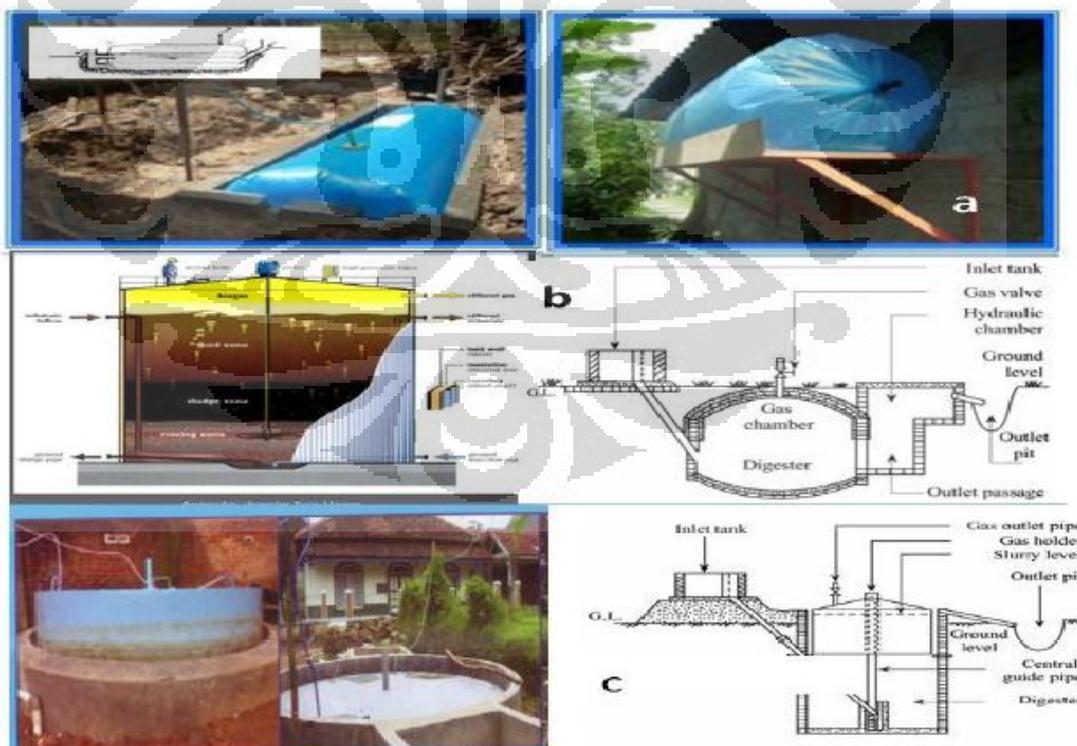
❖ Sumber Pasokan Limbah Organik (Feedstock)

Sumber pasokan limbah organik adalah tempat asal bahan organik seperti peternakan, tempat sampah atau tempat proses akhir dari proses pengolahan bahan hasil pertanian. Didalam feedstock terdapat juga tangki pemasukan bahan organik (inlet feed substrate/feedstock) merupakan wadah penampungan yang terhubung ke digester melalui saluran dengan kemiringan tertentu. [9]

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. [9]

❖ Tangki Pencernaan (Digester)

Digester merupakan tempat reaksi fermentasi anaerob limbah organik menjadi biogas terjadi. Berdasarkan bentuk tangki digesternya, secara umum dikenal 3 (tiga) tipe utama reaktor biogas yakni tipe balon (balloon type), tipe kubah tetap (fixed-dome type) dan tipe kubah penutup mengambang (floating-drum type), seperti gambar di bawah ini:



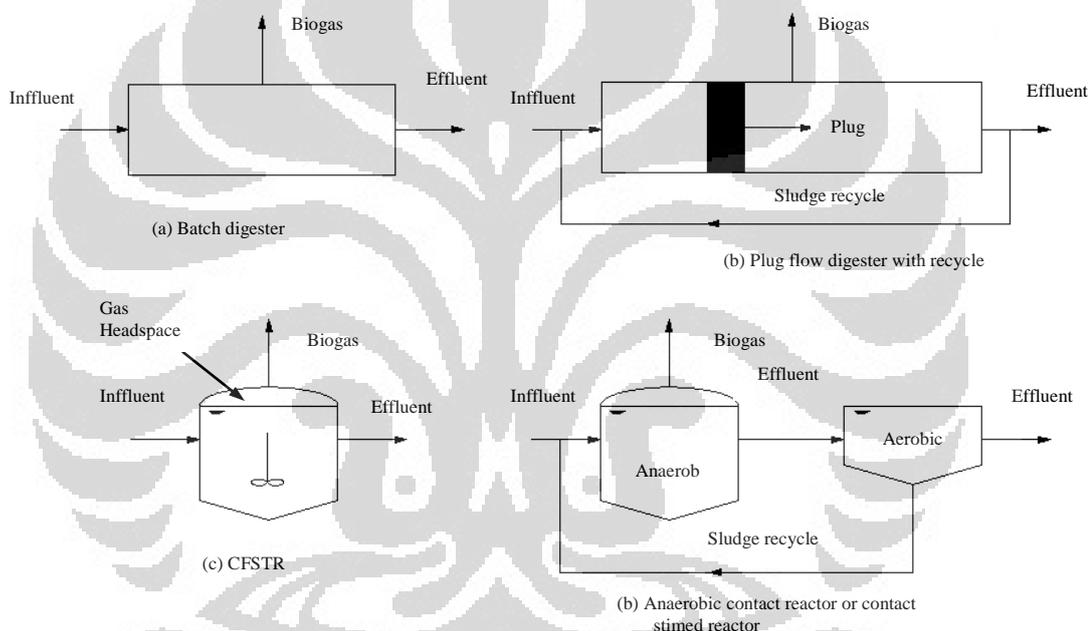
Gambar 2.8. Reaktor Biogas Berdasarkan Bentuk Tangki Digester[9]

(a) balloon plant, (b) fixed-dome plant, (c) floating-drum plant.

Berdasarkan proses pengolahan limbah organik dikenal beberapa tipe digester seperti Batch Digester, Plug Flow Digester dengan proses daur ulang, Digester pengadukan penuh (CFSTR), dan digester Anaerob dengan pengadukan berkala (CSTR), seperti ditunjukkan gambar 2.9.

Proses pengolahan limbah organik dengan digester tipe batch dilakukan sekali proses yakni memasukan limbah organik, digestion dan penghasilan biogas dan slury (lumpur) kompos yang kaya nutrisi bagi tanah. Digester tipe plug flow dapat melakukan proses digestion (pencernaan limbah organik) beberap kali.

Sementara digester tipe CFSTR dan CSTR menggunakan pengadukan untuk mempercepat waktu cerna (HRT) dalam tangki digester anaerob. [9]



Gambar 2.9. Reaktor Biogas Berdasarkan Proses Pengolahan
(a) Batch Digester, (b) Plug Flow Digester, (c) Digester CFSTR,
(d) Digester CSTR

Dalam beberapa kondisi, pada digester anaerob dilengkapi dengan mesin pengaduk lumpur (Slurry Mixture Machine) sehingga konsentrasi material merata disetiap bagian digester. Dengan pengadukan potensi material mengendap di dasar digester semakin kecil, konsentrasi merata dan memberikan kemungkinan seluruh material mengalami proses fermentasi anaerob secara merata. [9]

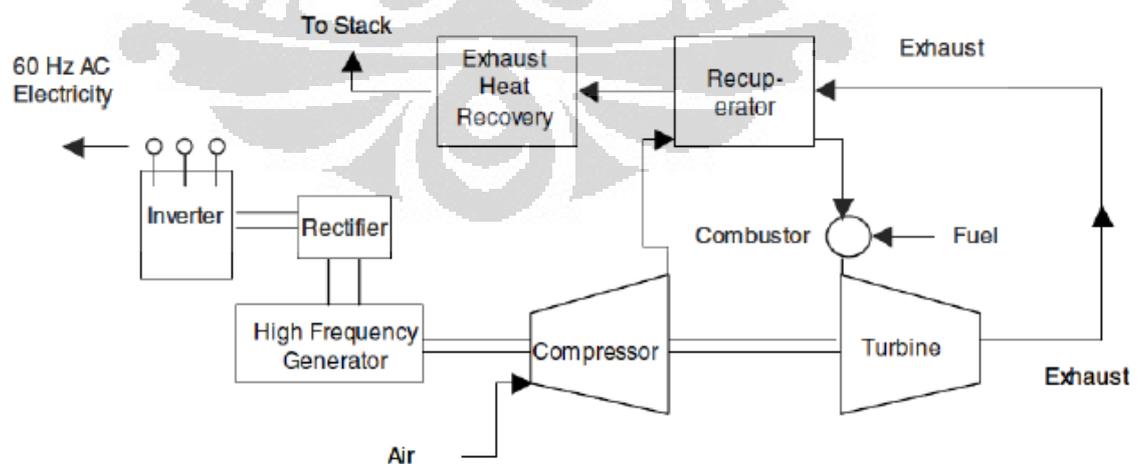
❖ Katub Penampung Gas (Biogas Tank)

Tangki penyimpanan biogas adalah tangki yang digunakan untuk menyimpan dan menyalurkan, seluruh biogas hasil produksi dari biogas digester. Tangki ini bisa terbuat dari plastik, sement atau baja stainless stell tahan karat yang dilapisi epoxy dan dilengkapi regulator pengukur tekanan gas. Untuk reaktor biogas skala kecil, penampung biogas (Gas Holder) berada di bagian atas digester biogas dan pada digester model floating drum plant, volume biogas yang dihasilkan mendorong tutup atas digester dan menjadi indikator tahap metanogenesis sudah terjadi. [9]

❖ Generator Pembangkit Tenaga Listrik (Microturbines Generator)

Microturbines adalah generator listrik kecil yang membakar gas atau bahan bakar cair untuk menciptakan rotasi kecepatan tinggi untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Perkembangan teknologi microturbine dewasa ini adalah hasil dari pengembangan pembangkit stasioner skala kecil dan turbin gas otomotif peralatan utama pembangkit listrik dan turbochargers, yang sebagian besar dikembangkan pada sektor industri otomotif dan pembangkit tenaga listrik. [9]

Pemilihan teknologi pembangkit mikro turbin karena pembangkit ini sesuai dengan potensi sumber energi kecil yakni untuk daya keluaran berkisar 25 kW sampai dengan 400 kW.

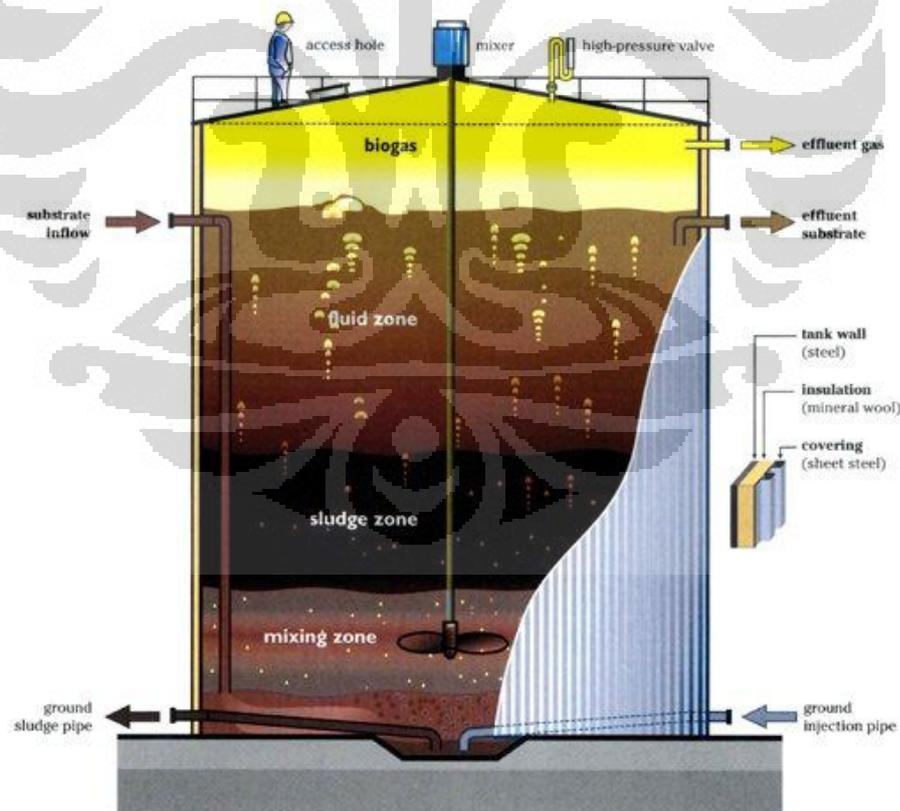


Gambar. 2.10. Microturbine dengan siklus Combain Heat Power- CHP [14]

Siklus kombinasi daya dan panas merupakan proses pemanfaatan energy yang dihasilkan dari pembakaran biogas. Dalam siklus sebagaimana gambar di atas terlihat bahwa panas yang dihasilkan dari membakar biogas digunakan untuk memutar turbin dan turbin dikopel dengan generator untuk menghasilkan energy listrik yang dialirkan ke beban. Panas sisa yang dihasilkan setelah dimanfaatkan turbin digunakan kembali oleh recuperator dan exhaust heat recovery sebagai pemanas air.

2.6 Digester Biogas

Digester merupakan komponen utama dalam produksi biogas. Digester merupakan tempat dimana bahan organik diurai oleh bakteri secara anaerob (tanpa udara) menjadi gas CH_4 dan CO_2 . 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. [8]



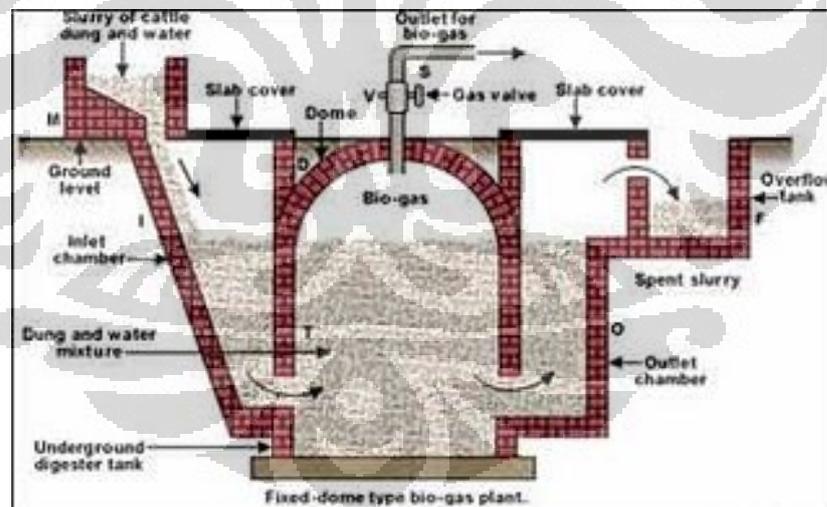
Gambar 2.11 Digester Biogas

2.6.1 Jenis-jenis Digester Biogas [8]

Terdapat beberapa jenis digester yang dapat dilihat berdasarkan konstruksi, jenis aliran, dan posisinya terhadap permukaan tana. Jenis digester yang dipilih dapat didasarkan pada tujuan pembuatan digester tersebut. Hal yang penting adalah apapun yang dipilih jenisnya, tujuan utama adalah mengurangi kotoran dan menghasilkan biogas yang mempunyai kandungan CH_4 tinggi. Dari segi konstruksi, digester dibedakan menjadi:

a. *Fixed Dome* (kubah tetap)

Digester jenis ini mempunyai volume tetap. Seiring dengan dihasilkannya biogas, terjadi peningkatan tekanan dalam digester. Karena itu, dalam konstruksinya digester jenis kubah tetap, gas yang terbentuk akan segera dialirkan ke pengumpul gas di luar reaktor. Indikator produksi gas dapat dilakukan dengan memasang indikator tekanan. Skema digester jenis kubah dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Digester Tipe *Fixed Dome*[8]

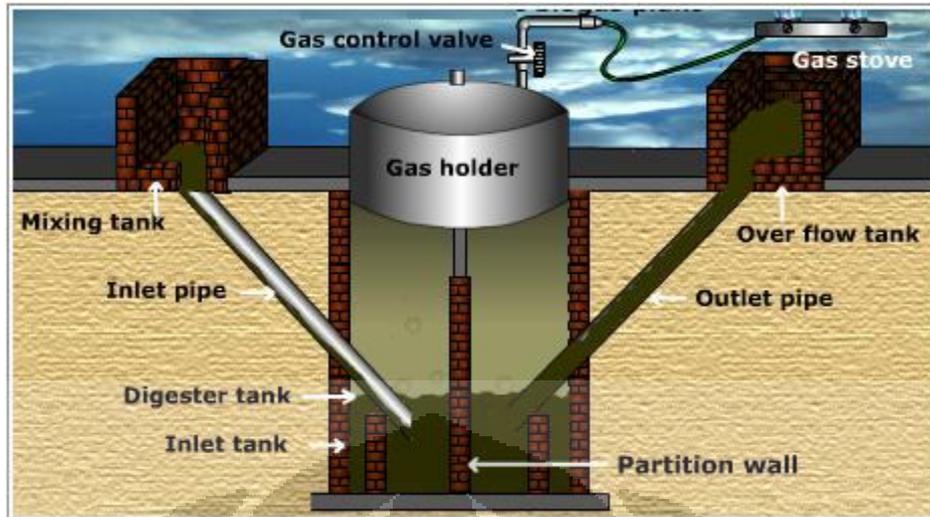
Digester jenis kubah tetap mempunyai kelebihan dan kekurangan seperti pada Tabel 2.8 sebagai berikut:

Tabel 2.8 Kelebihan dan Kekurangan Digester Jenis Kubah Tetap

Kelebihan	Kekurangan
<ol style="list-style-type: none"> 1. Konstruksi sederhana dan dapat dikerjakan dengan mudah. 2. Biaya konstruksi rendah. 3. Tidak terdapat bagian yang bergerak. 4. Dapat dipilih dari material yang tahan karat. 5. Umurnya panjang. 6. Dapat dibuat didalam tanah sehingga menghemat tempat. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bagian dalam digester tidak terlihat (khususnya yang dibuat di dalam tanah) sehingga kebocoran tidak terdeteksi. 2. Tekanan gas berfluktuasi dan bahkan fluktuasinya sangat tinggi. 3. Temperatur digester rendah.

b. *Floating Dome* (Kubah Apung)

Pada digester tipe ini terdapat bagian yang reaktor yang dapat bergerak seiring dengan kenaikan tekanan reaktor. Pergerakan bagian kubah dapat dijadikan indikasi bahwa produksi biogas sudah mulai atau sudah terjadi. Bagian yang bergerak juga berfungsi sebagai pengumpul biogas. Dengan model ini, kelemahan tekanan gas yang berfluktuasi pada reaktor biodigester jenis kubah tetap dapat diatasi sehingga tekanan gas menjadi konstan. Kelemahannya adalah membutuhkan teknik khusus untuk membuat tumpangan gas bergerak seiring naik atau turunnya produksi biogas. Kelemahan lainnya adalah material dari tumpangan gas yang dapat bergerak harus dipilih yang mempunyai sifat tahan korosi, hal tersebut menyebabkan harganya relatif lebih mahal.



Gambar 2.13 Digester Tipe *Floating Dome* [8]

Berdasarkan aliran bahan baku untuk reaktor biogas, digester dibedakan menjadi:

a. Bak (Batch)

Pada digester tipe bak, bahan baku ditempatkan di dalam suatu wadah atau bak dari sejak awal hingga selesainya proses digestion. Digester jenis ini umumnya digunakan pada tahap eksperimen untuk mengetahui potensi gas dari limbah organik atau digunakan pada kapasitas biogas yang kecil.

b. Mengalir (continuous).

Untuk digester jenis mengalir, aliran bahan baku dimasukkan dan residu dikeluarkan pada selang waktu tertentu. Lamanya bahan baku berada dalam reaktor digester disebut waktu retensi (*retention time/RT*).

Berdasarkan segi tata letak penempatan, digester dibedakan menjadi:

a. Seluruh digester di atas permukaan tanah

Biasanya digester jenis ini dibuat dari tong-tong bekas minyak tanah atau aspal. Kelemahan tipe ini adalah volume yang kecil, sehingga biogas yang dihasilkan hanya mampu digunakan untuk kebutuhan sebuah rumah tangga. Kelemahan lain adalah kemampuan material yang rendah untuk menahan korosi sehingga tidak tahan lama. Untuk skala yang besar, digester jenis ini juga memerlukan luas lahan yang besar juga.

- b. Sebagian tangki biogas diletakkan dibawah permukaan tanah.

Digester ini terbuat dari campuran semen, pasir, kerikil dan kapur yang dibentuk seperti sumur dan ditutup dari plat baja atau konstruksi semen. Volume tangki dapat dibuat untuk skala besar ataupun skala kecil sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Kelemahan pada sistem ini jika ditempatkan pada daerah yang memiliki suhu dingin (rendah) suhu dingin yang diterima oleh plat baja merambat ke bahan baku biogas, sehingga memperlambat proses bekerjanya bakteri, seperti diketahui bakteri akan bekerja optimum pada rentang temperatur tertentu saja.

- c. Seluruh tangki digester diletakkan dibawah permukaan tanah.

Model ini merupakan model yang paling populer di Indonesia, dimana seluruh instalasi digester dibuat di dalam tanah dengan konstruksi permanen. Selain dapat menghemat tempat lahan, pembuatan digester di dalam tanah juga berguna mempertahankan suhu digester stabil dan mendukung pertumbuhan bakteri methanogen. Kekurangannya jika terjadi kebocoran gas dapat menyulitkan untuk memperbaikinya.

2.6.2 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:

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 mengalirkan bahan baku dan menghindari endapan pada saluran masuk.

2. Ruang *digestion* (ruang fermentasi)

Ruangan *digestion* berfungsi sebagai tempat terjadinya fermentasi anaerobik 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 anaerobik 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 anaerobik. 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.

2.6.3 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:

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 anaerobik 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 anaerobik 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.

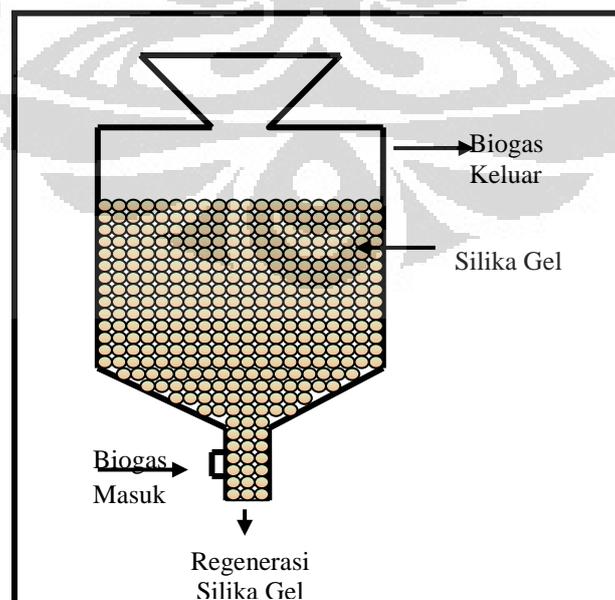
2.6.4 Teknik Pencucian Biogas

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 kedua unsur tersebut secara praktis tidak perlu dibersihkan. Hal ini disebabkan karena kompor hanya kontak dengan biogas pada saat dipakai saja. Alasan lain adalah proses pencucian merupakan kegiatan yang membutuhkan biaya.

Tetapi jika biogas digunakan 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 biogas terhadap H_2O dan H_2S adalah sebagai berikut:

1. Pencucian biogas dari unsur H_2O

Tujuan dari 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 (Wellinger, 2001). Pengurangan kadar H_2O yang sederhana dilakukan dengan cara melewatkan biogas pada suatu kolom yang terdiri dari silika gel atau karbon aktif. H_2O selanjutnya dapat diserap oleh silika gel atau karbon aktif.



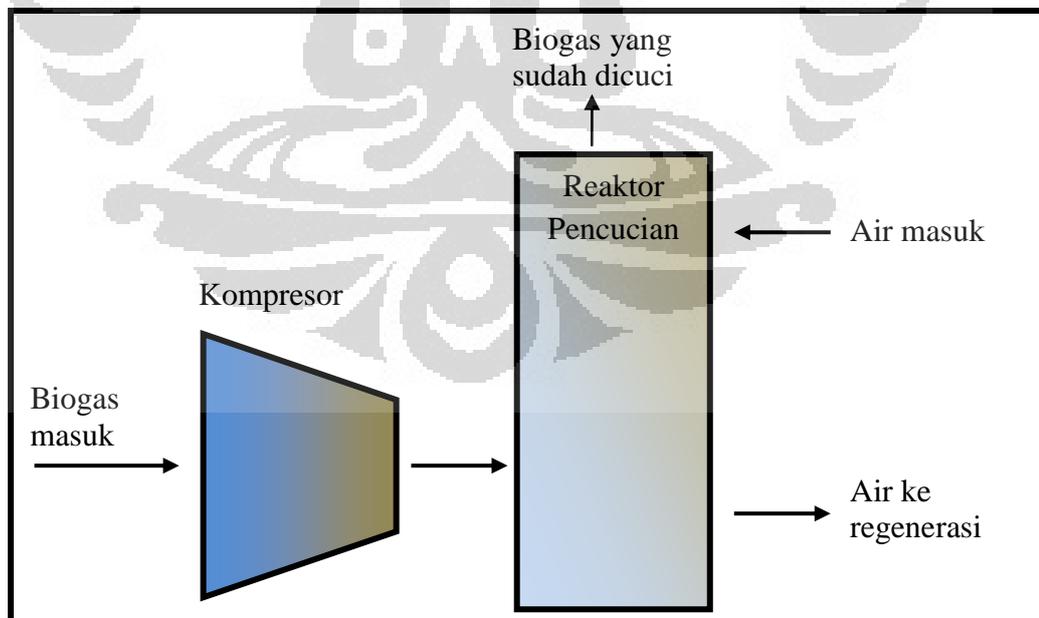
Gambar 2.14 Teknik Pencucian Biogas dari H_2O dengan silika Gel

2. Pencucian Biogas dari Unsur H₂S

Secara umum, pencucian (pengurangan) H₂S dari biogas dapat dilakukan secara fisika, kimia dan biologi (Zicari, 2003). 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 H₂S yang rendah. H₂S yang dipisahkan larutan.

Tujuan dari pencucian biogas terhadap H₂S pada dasarnya adalah (Wellinger, 2001):

- Mencegah korosi
- Menghindari keracunan H₂S (maksimum yang diperbolehkan ditempat kerja adalah 5 ppm)
- Mencegah kandungan sulfur dalam biogas, yang jika terbakar menjadi SO₂ atau SO₃ yang lebih beracun dari H₂S.
- Mengurangi SO₂ yang terbawa oleh gas buang biogas menyebabkan turunnya titik embun gas dalam cerobong.
- Meminimalisasi terbentuknya H₂SO₃ yang bersifat sangat korosif.



Gambar 2.15. Teknik pencucian biogas dari H₂S dengan *Scrubber* air

Pemurnian H₂S dengan *scrubber* air dapat juga digunakan untuk mengurangi konsentrasi CO₂ dalam biogas (Gambar 2.15.). Metode pemurnian H₂S dengan *Scrubber* air dapat terjadi karena H₂S mempunyai kelarutan yang tinggi dalam air dibandingkan kelarutan CO₂. Air yang mengandung H₂S dan CO₂ kemudian dapat diregenerasi dan dialirkan kembali ke dalam kolom *Scrubber*. Regenerasi dapat dilakukan dengan *de-pressurizing* atau dengan melepaskan udara dalam kolom yang sama. Namun demikian, pelepasan udara tidak direkomendasikan ketika kandungan H₂S cukup tinggi karena air akan dengan cepat terkontaminasi H₂S (Wellinger, 2001). Pelepasan udara yang berlebihan juga berbahaya. Biogas yang bercampur dengan udara dapat meledak jika konsentrasinya mencapai 6-12% (tergantung dari kandungan CH₄ dalam biogas).

Pemurnian dengan cara biologi yaitu dengan menggunakan bakteri yang mampu menguraikan H₂S menjadi sulfat. Kebanyakan mikroorganisme yang digunakan untuk menguraikan H₂S adalah dari keluarga *thiobacillus*. Metode biologi ini efektif untuk mengurangi kandungan H₂S dalam biogas, tetapi metode ini selain sulit dalam pengoperasian juga sangat mahal. Metode ini juga dapat menambah jumlah oksigen dalam biogas.

Pemurnian biogas dari kandungan H₂S yang sering dilakukan adalah diserap secara kimiawi. Pada metode ini H₂S bereaksi dengan larutan absorben. Selanjutnya absorben yang kaya H₂S diregenerasi untuk kembali melepas H₂S-nya dalam bentuk gas atau sulfur padat (Kohl, 1985). Absorben yang digunakan pada umumnya adalah larutan nitrit, larutan garam alkali, *slurry* besi oksida atau seng oksida dan *iron chelated solution* (Zicari, 2003; Wellinger, 2001).

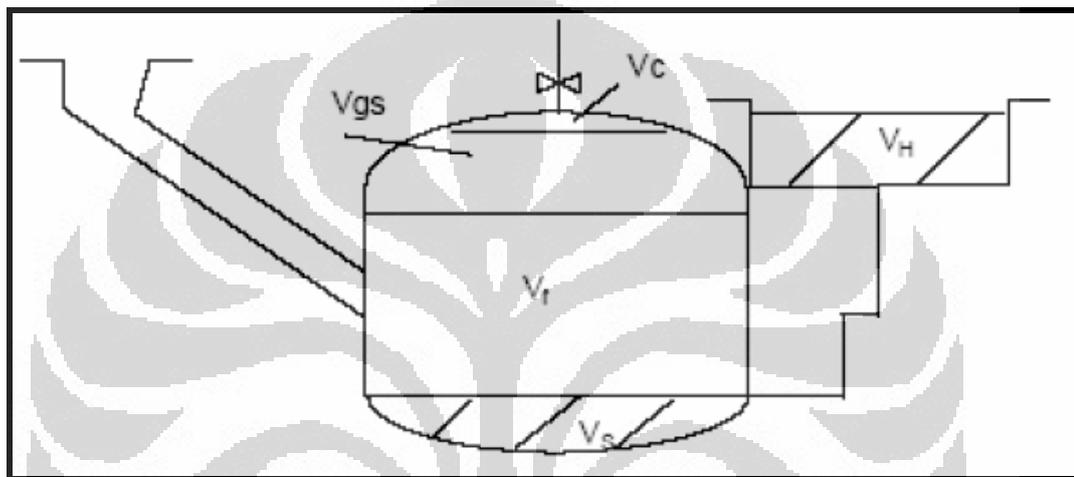
2.7 Perancangan Ukuran Digester

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 kotoran sapi dan air, sehingga pemasukan bahan baku sangat tergantung dengan seberapa banyak air yang dimasukkan kedalam digester. Pencampuran bahan organik untuk kotoran hewan dengan air dibuat perbandingan antara 1:3 dan 2:1. Sebelum dimasukkan kedalam digester, kotoran sapi dalam keadaan segar, dicampur

dengan air dengan perbandingan 1:1 berdasarkan unit volume (air dan kotoran sapi dalam volume yang sama). Namun, jika kotoran sapi dalam bentuk kering, jumlah air harus ditambah sampai kekentalan yang diinginkan (bervariasi antara 1:1,25 sampai 1:2). (Widodo and Hendriadi, 2005).

Jumlah bahan baku $Q = \text{jumlah kotoran sapi} + \text{air} \dots\dots\dots(2.1)$

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



Gambar 2.16 Penampang Digester Biogas Silinder. [12]

Keterangan:

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

V_{gs} – Volume Ruang Penyimpanan Gas (*gas storage chamber*)

V_f – Volume Ruang Fermentasi (*fermentation chamber*)

V_H – Volume Ruang Hidrolik (*hydraulic chamber*)

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

Total volume digester $V = V_c + V_{gs} + V_f + V_s \dots\dots\dots(2.10)$

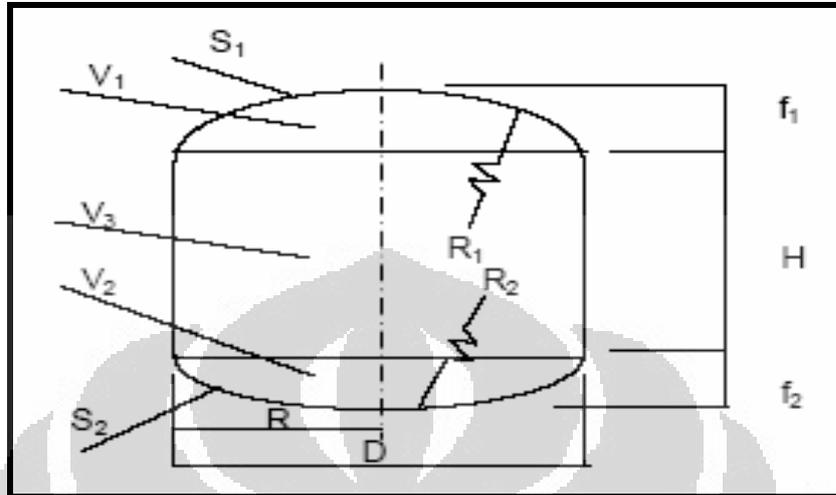
Berdasarkan jumlah volume bahan baku (Q), maka dapat ditentukan volume kerja digester (*working volume digester*) yang merupakan penjumlahan volume ruang penyimpanan (V_{gs}) dan volume ruang fermentasi (V_s).

Volume kerja digester = $V_{gs} + V_f \dots\dots\dots(2.11)$

dimana:

$V_{gs} + V_f = Q \times \text{HRT (waktu digestifikasi)} \dots\dots\dots(2.12)$

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



Gambar 2.17. Dimensi Geometrikal Tanki Digester^[12]

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

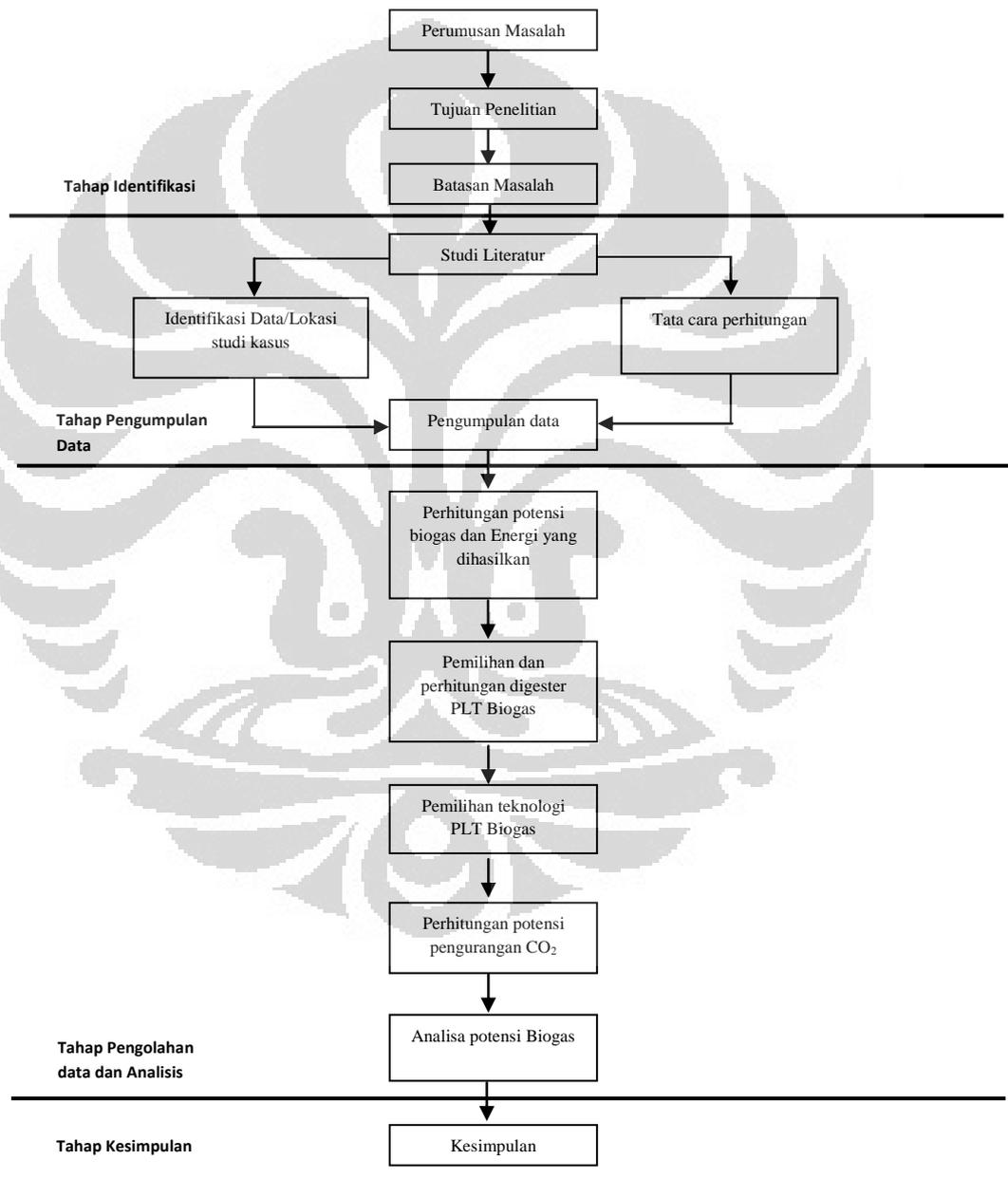
Tabel 2.9 Dimensi Geometrika Ukuran Tangki Digester Silinder ^[12]

ISI	DIMENSI GEOMETRIKAL
$V_c \leq 5\%V$	$D=1,3078 \times V^{1/3}$
$V_s \leq 15\%V$	$V_1=0,0827 D^3$
$V_{gs}+V_f = 80\% V$	$V_2 = 0,05011 D^3$
$V_{gs} = 0.5 (V_{gs} + V_f + V_s) K$	$V_3 = 0,3142 D^3$
Dimana K = laju produksi gas tiap m ³ per hari	$R_1= 0,725 D$
	$R_2= 1,0625 D$
	$f_1 = D/5$
	$f_2 = D/8$
	$S_1 = 0,911 D^2$
	$S_2 = 0,8345 D^2$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Secara garis besar, tahapan penelitian ini dibagi menjadi 4 yaitu tahap identifikasi, tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data dan analisis, dan tahap kesimpulan. Diagram tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Tahapan Penelitian

3.1 Tahap Identifikasi

Tahap identifikasi pada penelitian ini dilakukan pada bab 1. Selain tujuan penelitian, identifikasi masalah, dan batasan masalah, dijelaskan juga motivasi dan kontribusi penelitian yang menyatakan manfaat dari penelitian ini [12].

3.2 Studi Literatur

Beberapa teori pendukung yang akan digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada bab 2, antara lain teori tentang Digestifikasi anaerobik, tahap pembentukan biogas, parameter proses pencernaan limbah organik, persamaan-persamaan pembentukan biogas, konversi energi biogas dan pemanfaatannya, dan digester biogas. Studi literatur juga dilakukan untuk membantu mengetahui data apa saja yang akan diperlukan dalam penelitian serta bagaimana cara pengolahan data tersebut.

3.3 Identifikasi data/lokasi studi kasus

Dalam melakukan penelitian mengenai pembangkit listrik tenaga biogas dibutuhkan data dan lokasi sebagai contoh kasus. Lokasi yang dipilih adalah Peternakan Kawasan Usaha Peternakan Sapi Perah (KUNAK) Bogor.

Peternakan Kawasan Usaha Peternakan Sapi Perah (KUNAK) Diresmikan pada tanggal 7 Januari 1997, bermula dari keinginan Peternak Sapi Perah kabupaten dan kota Bogor untuk membentuk satu Kawasan/ Perkampungan Peternakan Sapi Perah. Kawasan tersebut di desa Situ Udik Kecamatan Cibungbulang, dan di desa Pasarean, desa Pamijahan Kecamatan Pamijahan Kabupaten Daerah Tk II Bogor. KUNAK memiliki 181 kavling. Luas 1 kavling rata-rata 4.500 m² yang terdiri dari bangunan kandang, kebun rumput dan rumah anak kandang.

Saat ini kondisi peternakan di bawah koordinasi Koperasi Produksi Susu dan Usaha Peternakan Bogor (KPS Bogor). Berdasarkan data per 2010 di KPS Bogor KUNAK memiliki mempunyai jumlah kav.181 kavling tetapi yang terisi

140 kavling atau terdiri dari 140 KK, populasi sapi perah 2200 ekor, kapasitas kandang per kavling 12 ekor akan tetapi ada beberapa KK yang melakukan perluasan kandang sehingga ada yang memiliki lebih dari 12 ekor. jumlah produksi susu harian 9500-11.000 liter. Sedangkan fasilitas umum yang ada adalah :

- chilling unit
- genset
- gudang pakan
- kandang pembibitan
- waduk dan tandon air
- musholla
- sekolah
- lapangan olah raga

Pada saat ini di Kawasan Usaha Peteranakan Sapi Perah (KUNAK) jumlah populasi sapi perah 2200 ekor. 20% kotoran ternak sudah digunakan untuk kompor sedangkan sisanya dibuang. Nilai tanah di daerah tersebut (NJOP) Rp.30.000/M².

3.4 Tata Cara perhitungan

Dalam mendapatkan model pembangkit listrik tenaga biogas dilakukan beberapa perhitungan sesuai dengan data literatur sebagaimana dijelaskan di dalam Bab II yang merupakan dasar teori yang akan digunakan. . .

Perhitungan dilakukan secara berurutan sebagaimana berikut:

- Perhitungan potensi biogas dan Energi yang dihasilkan
- Pemilihan dan perhitungan digester PLT Biogas
- Pemilihan teknologi PLT Biogas
- Perhitungan potensi pengurangan CO₂
- Analisa potensi Biogas
- Menghasilkan suatu Kesimpulan mengenai pemanfaatan kotoran sapi di suatu kawasan peternakan sapi.

3.5 Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data pendukung untuk melakukan analisis tentang pemanfaatan kotoran sapi di kawasan peternakan sapi yang digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik biogas. Data yang akan dibutuhkan antara lain:

1. Data pendukung mengenai potensi kotoran sapi di suatu kawasan peternakan sebagai studi kasus bahan acuan perhitungan pembangkit listrik;
2. Data-data literatur mengenai karakteristik kotoran sapi sehingga menghasilkan biogas yang akan dibangkitkan sebagai tenaga listrik;
3. Sampel data mengenai karakteristik kotoran sapi;
4. Data literatur mengenai perhitungan dimensi digester.

Pada penelitian ini, yang diperhitungkan adalah jika potensi biogas yang ada semuanya dikonversi sebagai pembangkit tenaga listrik. Dari perhitungan tersebut diharapkan didapatkan suatu model pembangkit yang sesuai dengan potensi dari suatu kawasan peternakan sapi yang ada.

3.6 Perhitungan potensi biogas dan Energi yang dihasilkan

Pada penelitian ini, akan dihitung potensi biogas yang ada di suatu kawasan peternakan sebagai studi kasus untuk menjadi acuan mendapatkan pembangkit listrik tenaga biogas. Perhitungan tersebut dengan memperhatikan parameter-parameter konversi yang membuat suatu potensi kotoran sapi dapat menghasilkan energi yang optimum. Parameter tersebut antara lain temperatur, retention time, besarnya kotoran sapi yang dihasilkan perhari, nilai total solid (TS) dan volatelite solid (VS) perhari. Dengan rumus dan tabel sesuai dengan data literatur yang ada maka didapatkan nilai energi yang dihasilkan.

3.7 Pemilihan dan perhitungan digester PLT Biogas

Dalam pemilihan dan perhitungan digester PLT Biogas ada beberapa pertimbangan sebagaimana diterangkan pada bab 2. Selain potensi bahan baku, hal yang perlu diperhatikan adalah temperatu digester yang dirancang, derajat keasaman (PH) bahan baku biogas dan komposisi C/N (rasio carbon dan nitrogen). Sebagai data sampel adalah potensi kotoran sapi perah di kawasan peternakan sapi di bogor adalah 55.000 kg/hari. Secara sederhana urutan perancangan fasilitas biodigester dimulai dengan perhitungan volume biodigester yang meliputi potensi bahan baku yang ada dalam menghasilkan gas methan, penentuan model biodigester, perancangan tangki penyimpanan dan diakhiri dengan penentuan lokasi. Langkah-langkah tersebut secara sederhana seperti bagan sebagai berikut:



Gambar. 3.2. Flowchart Pemilihan dan perhitungan model digester

Penentuan model digester didasarkan ketersediaan fasilitas dan stabilitas gas yang dihasilkan. Volume digester didasarkan pada temperatur, besar potensi bahan baku biogas, dan waktu digestifikasi dari kotoran sampai menghasilkan gas metan.

Perancangan fasilitas digester disesuaikan dengan kebutuhan dan nilai keekonomiannya.

Penentuan lokasi fasilitas digester atau instalasi pembangkit didasarkan pada beberapa aspek yang harus dipertimbangkan dalam penentuan lokasi digester adalah:

1. Ketersediaan lahan sesuai dengan luas digester yang akan dibangun.
2. Pemilihan lokasi yang lebih tinggi untuk menghindari genangan air atau banjir pada waktu musim hujan.
3. Lokasi dekat dengan tempat sumber bahan baku biogas.
4. Memilih lokasi digester yang mendapatkan sinar matahari sepanjang hari/tempat terbuka.
5. Jauh dari lokasi pepohonan, dimana pertumbuhan akar pohon akan merusak bangunan digester.
6. Dekat dengan lokasi yang akan memanfaatkan potensi biogas.
7. Memiliki konstur tanah yang stabil, sehingga konstruksi bangunan digester tidak mudah rusak.^[8]

3.8 Pemilihan teknologi PLT Biogas

Dalam pemilihan teknologi dilakukan berdaarkan analisa secara teknis dan ekonomi.

3.8.1 Teknik Analisis Konversi energi listrik

Konversi energi listrik dari biogas dilakukan dengan mengubah energi potensial yang ada dalam biogas menjadi mekanik, kemudian energi mekanik menjadi energi listrik. Analisa dilakukan pada jenis teknologi konversi energi yang tersedia di pasaran. Se.lain itu Pemilihan teknologi sebagai pembangkit tenaga listrik dari biogas yang dihasilkan didasarkan beberapa faktor lainnya. Faktor-faktor tersebut adalah:

- Tingkat Efisiensi Teknologi Konversi dan Produksi Energi Listrik
- Ketersediaan Produk/Barang di Pasaran
- Kompleksitas Jenis Operasi dan Pemeliharaan (O&M)
- Biaya Investasi
- Biaya Operasi dan Pemeliharaan

Dan pada akhirnya didapatkan harga termurah setelah dilakukan analisa dan perhitungan serta kualitas yang sesuai dengan potensi yang ada. Selain itu dihitung nilai ekonomis dengan analisa budgeting

3.8.2 Teknik Analisis Capital Budgeting

Dalam rangka untuk menilai apakah suatu proyek dapat diterima atau tidak, teknik analisis capital budgeting dapat digunakan. Analisis utama dilakukan terhadap payback period (PBP), net present value (NPV) dan internal rate of return (IRR).

3.8.2.1 Payback Period (PBP)

Payback period biasanya digunakan untuk mengevaluasi usulan investasi. Payback period adalah jumlah waktu yang diperlukan bagi perusahaan untuk mengembalikan investasi awal dalam suatu proyek, yang dihitung sebagai kas masuk. Dalam kasus sebuah anuitas, payback period dapat diketahui dengan membagi investasi awal:

$$PBP = \frac{\text{Initial investment cost}}{\text{Annual cash inflows}} \dots\dots\dots(3.1)$$

- Jika PBP kurang dari maksimum PBP yang diterima, proyek akan diterima
- Jika PBP lebih besar daripada PBP yang diterima, proyek akan ditolak

Jangka waktu PBP maksimum yang diterima ditentukan oleh manajemen. Nilai ini ditetapkan secara subyektif berdasarkan sejumlah faktor, termasuk jenis proyek (ekspansi, penggantian, pembaharuan), risiko proyek dan hubungan antara PBP dan nilai saham.

3.8.2.2 Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) dihitung dengan mengurangi investasi awal proyek (CF_0) dari nilai sekarang dari arus kas masuk (CF_t) pada tingkat suku bunga (i).

NPV = nilai sekarang kas masuk - Initial investasi

$$NPV = \sum_{t=1}^N \frac{CF}{(1+i)^t} - CF_0 \dots\dots\dots(3.2)$$

Bila NPV digunakan untuk membuat keputusan diterima-ditolak, kriteria keputusan adalah sebagai berikut:

- Jika NPV lebih besar dari 0, proyek diterima
- Jika NPV kurang dari 0, proyek ditolak

Jika NPV lebih besar dari 0, perusahaan akan mendapatkan pengembalian lebih besar dari biaya modal.

3.8.2.3 Internal Rate of Return (IRR)

IRR adalah tingkat suku bunga yang menghasilkan nilai NPV sama dengan nol (karena nilai sekarang dari arus kas masuk sama dengan investasi awal).

$$0 = \sum_{t=1}^N \frac{CF}{(1+i)^t} - CF_0$$

$$CF_0 = \sum_{t=1}^N \frac{CF}{(1+i)^t} \dots\dots\dots(3.3)$$

Apabila IRR digunakan untuk membuat keputusan diterima-ditolak, kriteria keputusan adalah sebagai berikut:

- Jika IRR lebih besar dari biaya modal, proyek diterima
- Jika IRR lebih kecil dari biaya modal, proyek ditolak

3.8.2.4 Capital Recofery Factor (CRF)

Capital Recofery Factor (faktor pengembalian modal) adalah rasio anuitas konstan untuk nilai kini menerima anuitas yang untuk jangka waktu tertentu. Dengan menggunakan i suku bunga, Capital Recofery Factor dirumuskan:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \dots\dots\dots(3.4)$$

Hal tersebut terkait dengan rumus anuitas, yang memberikan nilai tunai dalam hal anuitas, tingkat bunga, dan jumlah anuitas.

3.9 Perhitungan potensi pengurangan CO₂

Pemanfaatan biogas sebagai pembangkit listrik merupakan salah satu alternatif dalam rangka mengganti/substitusi pembangkit listrik tenaga fosil. Selain sumber-sumber energi fosil yang semakin terbatas, pembangkit listrik tenaga fosil melepaskan CO₂ akibat dari pemanfaatan pembakaran energi fosil. CO₂ merupakan salah satu emisi penghasil gas rumah kaca. Pembuangan kotoran ternak dalam waktu tertentu akan melepaskan CH₄ ke udara akibat dari proses fermentasi alami. CH₄ termasuk salah satu emisi penghasil gas rumah kaca selain CO₂, CH₄ mempunyai sifat polutan 21 kali jika dibandingkan CO₂. Berdasarkan hal tersebut pemanfaatan kotoran ternak sebagai bahan baku biogas mempunyai kontribusi 2 kali dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, yaitu:

1. Pengurangan emisi akibat mengganti/substitusi bahan bakar fosil
2. Pengurangan emisi akibat pembakaran gas metan^[8]

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

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

energi listrik per tahun (MWh) = kapasitas terpasang pembangkit (MW) \times 8760 h
(3.5.)

- b. Menghitung *emission factor* CO₂ pembangkit, Persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{emission factor (tCO}_2\text{/MWh)} = \frac{\text{volume bahan bakar fosil}}{\text{energi yang dihasilkan}} \times \text{emission factor bahan bakar} \\ \times \text{kandungan energi bahan bakar}$$

.....(3.6.)

- c. Menghitung emisi CO₂. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{emisi CO}_2\text{(tCO}_2\text{)} = \text{energi listrik per tahun (MWh)} \times \text{emission factor (tCO}_2\text{/MWh)}$$

.....(3.7)

Perhitungan pengurangan emisi akibat pembakaran gas metan adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung besarnya gas metan (CH₄) yang dihasilkan dari instalasi biogas.

$$\text{Jumlah Gas Metan (m}^3\text{)} = \text{Volume gas metan yang dihasilkan} \quad \dots\dots(3.8.)$$

- b. Menghitung besarnya gas metan (CH₄) dalam satuan Kg gas.

$$\text{Jumlah Gas Metan (Kg)} = \text{Jumlah gas metan (m}^3\text{)} \times \text{massa jenis gas} \quad \dots\dots(3.9.)$$

- c. Menghitung gas metan (CH₄) yang dikonversi menjadi CO₂

$$\text{emisi CO}_2\text{(tCO}_2\text{)} = (\text{Jumlah gas metan (Kg)} \times \text{GWPI CH}_4) \times 10^{-3} \quad \dots\dots(3.10.)$$

GWPI (*Global Warming Potential Index*) CH₄ adalah 21

3.10 Analisa potensi Biogas

Setelah mendapatkan model suatu pembangkit tenaga biogas maka akan dilakukan analisa mengenai potensi biogas di suatu kawasan usaha peternakan sapi. Beberapa faktor yang akan dianalisa adalah;

- Pemilihan teknologi yang cocok terhadap pemanfaatan kotoran sapi di suatu kawasan usaha peternakan sapi yang lebih optimal
- Analisa ekonomi terhadap kemungkinan dibangunnya suatu pembangkit listrik tenaga biogas di suatu kawasan usaha peternakan sapi
- Analisa sensitivitas untuk tingkat pengembalian dan jangka waktu pengembalian modal investasi terhadap dampak kenaikan harga lahan, tarif listrik dan Biaya operasi dan pemeliharaan pembangkit biogas.

BAB IV
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOGAS DENGAN PEMANFAATAN
KOTORAN SAPI

4.1. Perhitungan Potensi biogas di suatu Kawasan Usaha Peteranakan Sapi Perah.

Dalam perhitungan suatu pembangkit listrik tenaga biogas dari kotoran sapi diperlukan lokasi peternakan untuk mendapatkan model dasar pembangkit tersebut. Dalam perhitungan tersebut digunakan model di Kawasan Usaha Peteranakan Sapi Perah (KUNAK) sebagai contoh kasus dalam menghasilkan potensi kotoran sapi.

4.1.1. Kondisi Peternakan Kawasan Usaha Peteranakan Sapi Perah

Dalam penelitian ini diambil studi kasus di Peternakan Kawasan Usaha Peteranakan Sapi Perah (KUNAK) yang diresmikan pada tanggal 7 Januari 1997, bermula dari keinginan Peternak Sapi Perah kabupaten dan kota Bogor untuk membentuk satu Kawasan/ Perkampungan Peternakan Sapi Perah. Kawasan tersebut di desa Situ Udik Kecamatan Cibungbulang, dan di desa Pasarean, desa Pamijahan Kecamatan Pamijahan Kabupaten Daerah Tk II Bogor. KUNAK memiliki 181 kavling. Luas 1 kavling rata-rata 4.500 m² yang terdiri dari bangunan kandang, kebun rumput dan rumah anak kandang.

Saat ini kondisi peternakan di bawah koordinasi Koperasi Produksi Susu dan Usaha Peternakan Bogor (KPS Bogor). Berdasarkan data per 2010 di KPS Bogor KUNAK memiliki mempunyai jumlah kav.181 kavling tetapi yang terisi 140 kavling atau terdiri dari 140 KK, populasi sapi perah 2200 ekor, kapasitas kandang per kavling 12 ekor akan tetapi ada beberapa KK yang melakukan perluasan kandang sehingga ada yang memiliki lebih dari 12 ekor. jumlah produksi susu harian 9500-11.000 liter. Sedangkan vasilitas umum yang ada adalah :

- chilling unit
- genset
- gudang pakan

- kandang pembibitan
- waduk dan tandon air
- musholla
- sekolah
- lapangan olah raga

4.1.2. Potensi Bahan baku untuk Biogas di Kawasan Usaha Peteranakan Sapi Perah.

Pada saat ini di Kawasan Usaha Peteranakan Sapi Perah (KUNAK) jumlah populasi sapi perah 2200 ekor. 15% s.d. 20% kotoran ternak sudah digunakan untuk kompor sedangkan sisanya dibuang. Nilai tanah di saerah tersebut (NJOP) Rp.30.000/M². Berdasarkan hasil riset sebelumnya secara sederhana dapat dihitung potensi biogas sebagai berikut:

Tabel 4.1. Potensi jenis bahan baku penghasil biogas

Jenis	Banyak Tinja (Kg/hari)	Kandungan BK (%)	Biogas (m ³ /kg.BK)
Sapi	25	20	0,023 - 0,040
Kambing/Domba	1,13	26	0,040 - 0,059
Ayam	0,18	28	0,065 - 0,116
Itik	0,34	38	0,065 - 0,116
Babi	7	9	0,040 - 0,059
Manusia	0,25-0,4	23	0,020 - 0,028

Sumber: (Kalle, G.P. & Menon; K.K.G., United Nations (1984).)

Produksi kotoran tiap harinya :

Sapi perah dewasa dengan populasi 2.200 ekor dengan rata-rata produksi kotoran tiap harinya 25 kg/hari maka produksi kotoran sapi perah di KUNAK Bogor adalah :

$$2.200 \times 25 = 55.000 \text{ kg/hari}$$

4.1.3. Hipotesis potensi untuk PLT Biogas

Dalam kegiatan DIPA 2005 BBP Mekanisasi Pertanian, telah dilaksanakan rekayasa dan pengembangan reaktor biogas yang berlokasi di Pondok Pesantren Pertanian Darul Fallah, Ciampea, Bogor. Reaktor biogas tipe fixed dome dirancang untuk 10 ekor sapi (dengan kotoran sapi 20 kg/hari/ekor dan retention time 45 hari) kapasitas reaktor 18 m³ (Widodo and Hendriadi, 2005). Berdasarkan hasil uji lab kegiatan tersebut dan referensi literature sebagaimana tabel berikut:

Tabel 4.2 Unjuk kerja sample instalasi biogas

Uraian	Referensi	Hasil Uji dan Analisa
<i>Undergraduate</i>		
1. Kondisi bahan (kotoran sapi)		
- Total Solid, kg/ ekor/ hari	4,8	4,2
- Volatile Solid, kg/ ekor/ hari	3,9	3,8
- Kadar air, %	7 – 9	13,59
- C/N rasio	1: 25 ~ 1 : 30	1 : 17
- COD, mg/l	-	19 800
- BOD / COD	-	0,06
2. Kondisi dalam reaktor (proses)		
- Suhu, °C	35	25 – 27
- pH	7,0 – 8,0	7 – 8,6
3. Kandungan Kimia Biogas		
- CH ₄ , %	50 – 60	77,13
- CO ₂ , %	30 – 40	20,88
- H ₂ S, µg / m ³	< 1%	1544,46
- NH ₃ , µg / m ³	-	40,12
4. Kondisi lumpur keluaran dari reaktor (effluent)	500 – 2500	1 960
- COD	0,5	0,37
- BOD / COD		
- Kandungan unsur hara (utama), %	1,45	1,82
• Nitrogen	1,10	0,73
• Pospor		
• Kalium	1,10	0,41

5. Unjuk Kerja		
- Lampu penerangan, m ³ /jam	0,11 – 0,15 (penerangan setara dengan 60 watt lampu bohlam \cong 100 candle power \cong 620 lumen). Tekanan: 70 – 85 mmH ₂ O	0,15 – 0,3 Tekanan = 30 – 60 mmH ₂ O
- Kompor gas, m ³ /jam	0,2 – 0,45 0,3 m ³ / orang / hari Tekanan: 75 – 90 mmH ₂ O	0,2 – 0,4 Tekanan = 60 – 85 mmH ₂ O

(Source: Widodo and Hendriadi, 2005)

Dari data yang ada kita coba menghitung kapasitas biogas yang dihasilkan dari potensi yang ada:

Persentase TS dan VS yang didapat adalah dengan kotoran sapi sampel 20 kg/hari adalah

$$\% \text{ TS} = 4,2 \text{ kg/ekor/hr} : 20 \text{ kg/ekor/hr} = 21 \%$$

$$\% \text{ VS} = 3,8 \text{ kg/ekor/hr} : 20 \text{ kg/ekor/hr} = 19 \%$$

Maka untuk di Kunak yang menghasilkan 25 kg/kotoran/hr

$$\text{TS} = 21\% \times 25 \text{ kg/ekor/hari} \times 2200 = 11.550 \text{ kg/hari}$$

$$\text{VS} = 3,8 \text{ kg/ekor/hari} \times 2200 = 10.450 \text{ kg/hari}$$

Berdasarkan tabel 2.6 potensi biogas untuk kotoran Sapi adalah:

$$\text{Potensi Volume Biogas} = 0,04 \text{ m}^3/\text{kg} \times 55.000 \text{ kg/hari} = 2.200 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Laju produksi gas tiap m³ per hari (K) adalah

$$\text{Volume produksi biogas} = K \times \text{VS}$$

$$K = \text{Volume produksi biogas} : \text{VS}$$

$$= 2.200 \text{ m}^3/\text{hari} : 10.450 \text{ kg/hr}$$

$$K = 21\% \text{ m}^3/\text{kg} \approx 21\%$$

1. Perhitungan Produksi Gas Metan

produksi energi pada biogas sebanding dengan produksi gas metan. Dengan diketahui nilai produksi biogas (VBS) sebesar 2.200 m³/hari dan dengan menggunakan tabel 4.3. maka dapat diketahui produksi gas metan (VGM) adalah,

$$\begin{aligned} \text{VGM} &= 65,7 \% \times \text{VBS} \\ &= 65,7\% \times 2.200 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 1.467,40 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Tabel 4.3. Komposisi biogas (%) kotoran sapi dan campuran kotoran ternak dengan sisa pertanian.

Jenis gas	Biogas	
	Kotoran sapi	Campuran kotoran + sisa pertanian
Metan (CH ₄)	65,7	54 – 70
Karbon dioksida (CO ₂)	27,0	45 – 57
Nitrogen (N ₂)	2,3	0,5 - 3,0
Karbon monoksida (CO)	0	0,1
Oksigen (O ₂)	0,1	6,0
Propena (C ₃ H ₈)	0,7	-
Hidrogen sulfida(H ₂ S)	-	Sedikit
Nilai kalor (kkal/m ²)	6513	4800 – 6700

Sumber: Harahap, dkk (1978)

2. Perhitungan potensi energi listrik yang dihasilkan

Dengan diketahui volume gas metan yang dihasilkan, yaitu 1.467,40 m³/hari, dan Faktor Konversi (FK) berdasarkan Tabel 2.7. (1 m³ Gas Metan setara 11,72 kWh), sehingga potensi energi listrik yang dihasilkan adalah,

$$\begin{aligned} E &= \text{VGM} \times \text{FK} \\ &= 1.467,40 \times 11,17 \\ &= 16.390,86 \text{ kWh/hari} \end{aligned}$$

Daya yang dibangkitkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Biogas, adalah Energi Yang dibangkitkan perhari dibagi dengan 24 jam, yaitu:

$$\begin{aligned} P &= E/24 \\ &= 16.390,86/24 \\ &= 682,95 \text{ kW} \approx 0,683 \text{ MW} \end{aligned}$$

Jadi dari perhitungan data potensi yang ada didapat hasil sebagai berikut

Tabel 4.4. Hasil perhitungan kapasitas biogas dan PLT Biogas

No	Jenis Proses Perhitungan	Hasil Perhitungan
1.	Potensi Kotoran Sapi (Q)	55.000 kg/hari
2.	Perhitungan jumlah dari <i>total solid</i> (TS)	11.550 kg/hari
3.	Perhitungan jumlah dari <i>volatile solid</i> (VS)	10.450 kg/hari
4.	Perhitungan jumlah volume produksi biogas (VBS)	2.200 m ³ /hari
5.	Perhitungan jumlah volume gas metan (VGM)	1.467,40 m ³ /hari
6.	Perhitungan potensi energi listrik (E)	16.390,86 kWh/hari
7.	Daya yang dibangkitkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Biogas	0,683 MW

4.2. Perancangan Digester

4.2.1. Perancangan jenis dan dimensi digester

Dari potensi yang ada dimungkinkan untuk dirancang suatu digester untuk menghasilkan biogas. Sebagaimana dijelaskan dalam bab II perancangan suatu digester ada beberapa pertimbangan yang harus diperhatikan. perancangan digester dengan pertimbangan beberapa aspek tersebut sebagaimana berikut:

- Temperatur

Untuk negara tropis seperti Indonesia, digunakan *unheated digester* (digester tanpa pemanasan) untuk kondisi temperatur tanah 20 – 30 C (*Mesophilic* - suhu 20 – 40 C)

- Derajat keasaman (pH)

Bakteri berkembang dengan baik pada keadaan yang agak asam (pH antara 6,6 – 7,0) dan pH tidak boleh di bawah 6,2. Karena itu, kunci utama dalam kesuksesan operasional biodigester adalah dengan menjaga agar temperatur konstan (tetap) dan input material sesuai.

Rasio C/N bahan isian – Syarat ideal untuk proses digesti adalah $C/N = 20 - 30$. Karena itu, untuk mendapatkan produksi biogas yang tinggi, maka penambahan bahan yang mengandung karbon (C) seperti jerami, atau N (misalnya: urea) perlu dilakukan untuk mencapai rasio $C/N = 20 - 30$. Berdasarkan data yang didapat, kotoran sapi mempunyai $C/N = 24$ sehingga cukup memadai untuk proses mendapatkan PH yang disyaratkan.

- Perancangan design Digester

Sebagai data awal adalah potensi kotoran sapi perah adalah 55.000 kg/hari. Secara sederhana urutan perancangan fasilitas biodigester dimulai dengan perhitungan volume biodigester yang meliputi potensi bahan baku yang ada dalam menghasilkan gas methan, penentuan model biodigester, perancangan tangki penyimpanan dan diakhiri dengan penentuan lokasi.

Digester yang digunakan dalam perencanaan ini menggunakan tipe *fixed dome* atau *fixed drum digester type*, Model ini merupakan model yang paling populer di Indonesia, dimana seluruh instalasi digester dibuat di dalam tanah dengan konstruksi permanen. Selain dapat menghemat tempat lahan, pembuatan digester di dalam tanah juga berguna mempertahankan suhu digester stabil dan mendukung pertumbuhan bakteri methanogen. Digester tipe ini mempunyai

keuntungan Biaya konstruksi rendah karena konstruksi sederhana dan umurnya cukup panjang.

Digester menggunakan jenis mengalir, aliran bahan baku dimasukkan dan residu dikeluarkan pada selang waktu tertentu. Lamanya bahan baku berada dalam reaktor digester disebut waktu retensi (*retention time/RT*) Bagian-bagian konstruksi dalam digester tipe ini meliputi:

- a. Ruangan penampungan gas (*gas collecting chamber*)
- b. Ruangan Penyimpanan Gas (*gas storage chamber*)
- c. Volume Ruangan Fermentasi (*fermentation chamber*)
- d. Volume Ruangan Hidrolik (*hydraulic chamber*)
- e. Volume lapisan penampungan lumpur (*sludge layer*)

Selanjutnya akan dirancang ukuran dan jenis digester yang digunakan berdasarkan potensi dan data-data literature yang ada.

Perencanaan ukuran digester dilihat dari jumlah kotoran sapi harian, perbandingan komposisi campuran air dan kotoran sapi, waktu digestifikasi dan jumlah volume biogas yang dihasilkan. Jumlah kotoran harian yang dihasilkan di KUNAK Bogor adalah 55 ton atau 55.000 kg. sedangkan komposisi campuran air dan sampah organik adalah untuk mendapatkan padatan 8%, padatan mengacu pada jumlah Kg *ts (total solid)*. Berdasarkan hasil perhitungan pada bab 3 sebelumnya, *total solid* yang dihasilkan adalah sebesar 11.550 Kg. Untuk mendapatkan air yang ditambahkan untuk membuat bahan baku biogas adalah kotoran sapi dalam keadaan segar, dicampur dengan air dengan perbandingan 1:1. Sehingga;

jumlah air yang ditambahkan = jmlah potensi kotoan sapi = 55.000 kg/hari

maka; $Q = 110.000 \text{ kg/hr}$

Berdasarkan data yang ada Waktu penyimpanan (HRT) kotoran sapi dalam digester. Waktu penyimpanan tergantung pada temperatur lingkungan dan temperatur biodigester. Dengan kondisi tropis seperti Indonesia, pada suhu 25-35°C, waktu digestifikasi adalah kira-kira 25-35 hari, waktu digestifikasi yang pendek dapat mengurangi volume digester dan sebaliknya waktu digestifikasi

yang panjang dapat menambah volume digester. Dengan ditentukan waktu digestifikasi adalah 30 hari, maka dengan persamaan 2.3 dan 2.4 dapat ditentukan volume kerja digester, dimana volume kerja digester merupakan penjumlahan volume ruangan digestifikasi (V_f) dan volume penyimpanan (V_{gs}) yaitu:

Volume kerja digester = $V_{gs} + V_f$ dimana $V_{gs} + V_f = Q \times \text{HRT}$ (waktu digestifikasi), maka:

$$\begin{aligned} V_{gs} + V_f &= Q \times \text{HRT} \\ &= 110.000 \text{ Kg/hari} \times 30 \text{ hari} \\ &= 3.300.000 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Karena kurang lebih 80% dari total Q (bahan baku) adalah air maka kita asumsikan massa jenis Q (bahan baku) \approx masa jenis air (1000 kg/m^3)

$$V = m/\rho$$

$$V_{gs} + V_f = 3.300.000 \text{ Kg} / 1000 \text{ kg/m}^3 = 3.300 \text{ m}^3$$

Berdasarkan tabel 2.9 asumsi persamaan geometrikan untuk ukuran tangki digester maka diperoleh:

$$V_{gs} + V_f = 80\% V \text{ atau } V = (v_{gs} + V_f)/0,8$$

$$V = 3.300 / 0,8$$

$$V = 4.125 \text{ m}^3$$

Jika membangun ukuran digester 4.125 m^3 selain tidak praktis dalam perawatan juga kurang memungkinkan akibat keterbatasan lahan, sehingga dicari ukuran digester yang jauh lebih kecil dengan jumlah digester lebih dari 1 buah, sehingga memungkinkan untuk perawatan dan jika terjadi kerusakan pada salah satu digester, maka digester yang lain masih mampu untuk menghasilkan biogas sebagai bahan bakar pembangkit listriknya. Ditentukan digester yang akan dibangun adalah berukuran 1050 m^3 sehingga banyaknya ukuran digester yang harus dibangun adalah :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah digester} &= 4.125 \text{ m}^3 / 1050 \text{ m}^3 \\ &= 3,92857 \approx 4 \text{ buah digester.} \end{aligned}$$

Untuk ukuran digester (V) 1050 m³, dengan meninjau kembali asumsi persamaan geometrikal pada Tabel 2.1, diperoleh:

$$\begin{aligned} V_{gs} + V_f &= 80\% V \\ &= 80\% \times 1050 \\ &= 840 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Ruangan penampungan gas (Vc)} &= 5\% \times V \\ &= 5\% \times 1050 \\ &= 52,5 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume lapisan penampungan lumpur (Vs)} &= 15\% \times V \\ &= 15\% \times 1050 \\ &= 157,5 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

volume penyimpanan (Vgs) = 0,5 (Vgs + Vf + Vs) K
K merupakan nilai laju produksi gas tiap m³ per hari, berdasarkan pada tabel 3.4, nilai K untuk kotoran sapi adalah 0,04, maka:

$$\begin{aligned} V_{gs} &= 0,5 (V_{gs} + V_f + V_s) K \\ &= 0,5 \times (840 + 157,5) \times 0,21 \\ &= 104,74 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

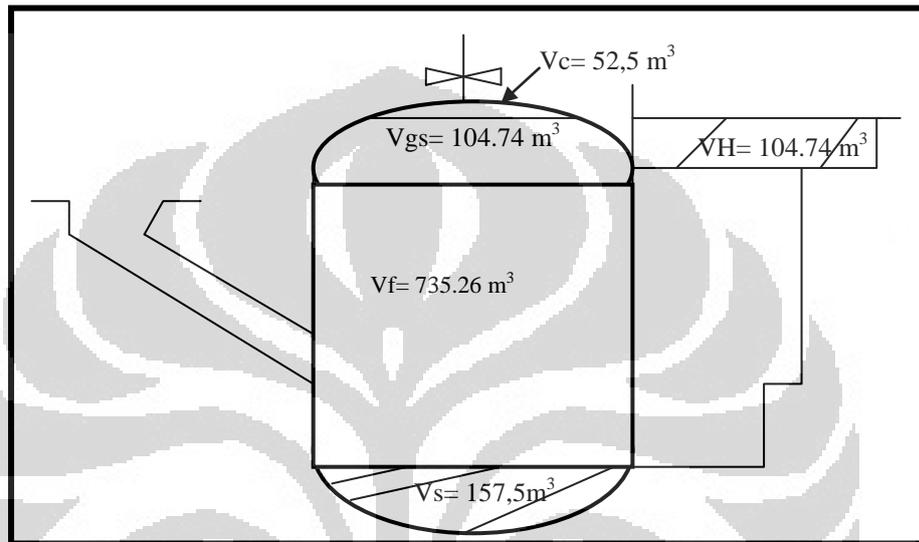
Dari nilai Vgs = 104,74 m³ sehingga dapat diketahui nilai Vf, yaitu:

$$\begin{aligned} V_{gs} + V_f &= 840 \\ V_f &= 840 - 104,74 \\ &= 735,26 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Dari asumsi geometris juga diketahui Vgs = VH = 104,74 m³, artinya biogas akan menempati seluruh ruang penyimpanan gas (*fixed drum digester type*) sesuai dengan volume gas yang dihasilkan. Sehingga diketahui volume masing-masing bagian digester, yaitu:

- V – Volume Total Digester = 1050 m³

- V_c – Volume Ruang penampungan gas (*gas collecting chamber*) = $52,5 \text{ m}^3$
- V_{gs} – Volume Ruang Penyimpanan Gas (*gas storage chamber*) = $104,74 \text{ m}^3$
- V_f – Volume Ruang Fermentasi (*fermentation chamber*) = $735,26 \text{ m}^3$
- V_H – Volume Ruang Hidrolik (*hydraulic chamber*) = $104,74 \text{ m}^3$
- V_s – Volume lapisan penampungan lumpur (*sludge layer*) = $157,5 \text{ m}^3$



Gambar 4.1 Volume Bagian-bagian Digester

Setelah diketahui ukuran volume bagian-bagian digester, maka dapat ditentukan ukuran digester secara dimensi geometrikal. Berdasarkan persamaan pada tabel 2.6 diperoleh:

a. Menghitung diameter digester (D)

$$\begin{aligned}
 D &= 1,3078 \times V^{1/3} \text{ dengan } V = 1050 \text{ m}^3 \text{ maka} \\
 &= 1,3078 \times 1050^{1/3} \\
 &= 13,29 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dengan diketahui $D = 13,29 \text{ m}$, maka berturut-turut dapat diketahui ukuran-ukuran dari digester, sebagaimana Tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5. Dimensi Ukuran Rancangan Digester

Dimensi	Rumus Dimensi	Nilai	Dimensi	Rumus Dimensi	Nilai
V1	$0,0827 \times D^3$	$194,231 \text{ m}^3$	f1	$D/5$	2,66 m
V2	$0,05011 \times D^3$	$117,689 \text{ m}^3$	f2	$D/8$	1,662 m
V3	$0,3142 \times D^3$	$737,937 \text{ m}^3$	S1	$0,911 \times D^2$	$160,96 \text{ m}^2$
R1	$0,725 \times D$	9,637 m	S2	$0,8345 \times D^2$	$147,45 \text{ m}^2$
R2	$1,0625 \times D$	14,123 m			

b. Menghitung Tinggi efektif digester (H)

Dengan melakukan pendekatan dengan volume tabung, maka:

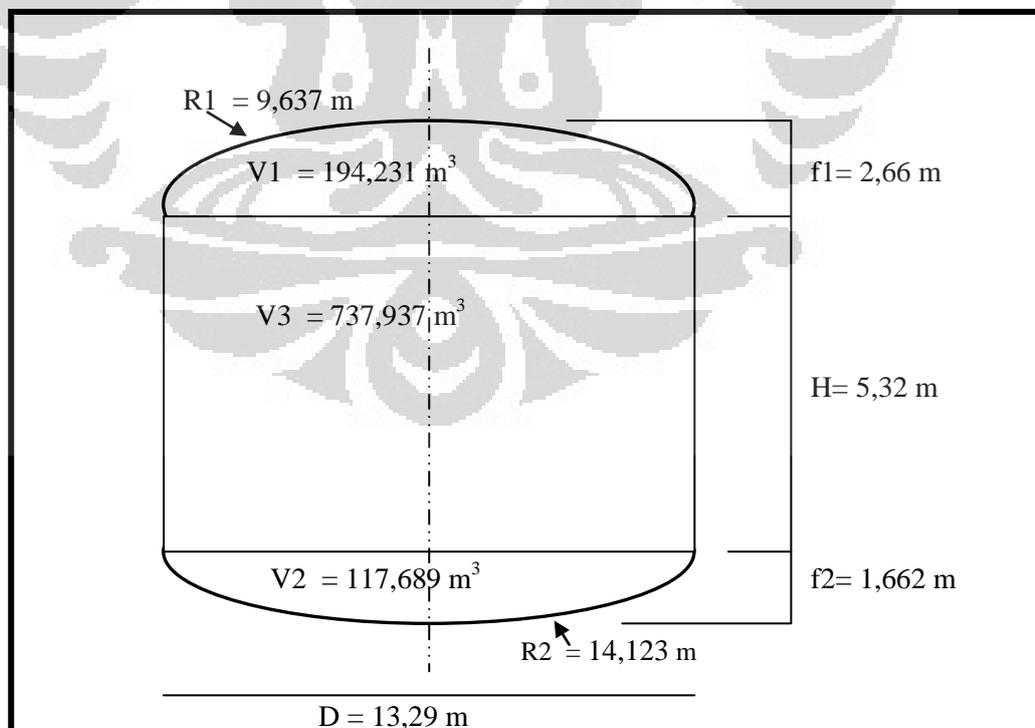
$$V \text{ tabung} = \frac{1}{4} \pi D^2 H$$

$$V3 = \frac{1}{4} \times 3,142 \times D^2 \times H \text{ untuk } V3 = 737,937 \text{ m}^3$$

$$H = 702,797 / (\frac{1}{4} \times 3,142 \times 13,078^2)$$

$$= 5,32 \text{ m}$$

Berdasarkan dimensi ruangan digester yang telah diketahui, berikut gambar rancangan digester untuk potensi kotoran sapi yang ada di kawasan KUNAK



Gambar 4.2 Dimensi Rancangan Digester

4.2.2. Penentuan Lokasi Digester

Beberapa aspek yang harus dipertimbangkan dalam penentuan lokasi digester adalah:

1. Ketersediaan lahan sesuai dengan luas digester yang akan dibangun.
2. Pemilihan lokasi yang lebih tinggi untuk menghindari genangan air atau banjir pada waktu musim hujan.
3. Lokasi dekat dengan tempat sumber bahan baku biogas.
4. Memilih lokasi digester yang mendapatkan sinar matahari sepanjang hari/tempat terbuka.
5. Jauh dari lokasi pepohonan, dimana pertumbuhan akar pohon akan merusak bangunan digester.
6. Dekat dengan lokasi yang akan memanfaatkan potensi biogas.
7. Memiliki konstur tanah yang stabil, sehingga konstruksi bangunan digester tidak mudah rusak.

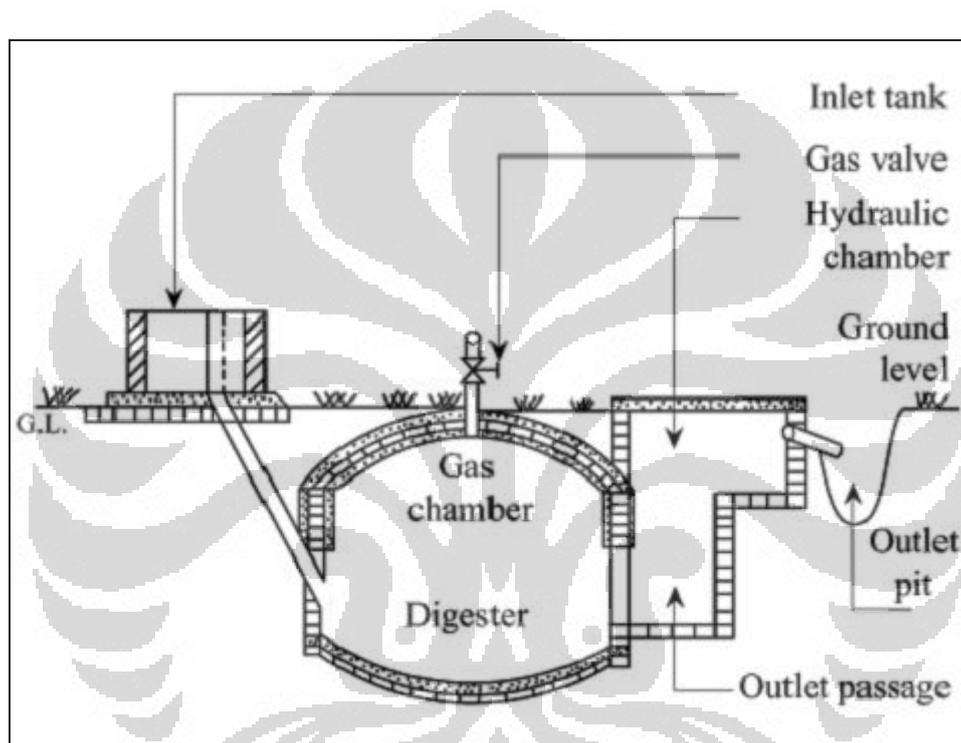
Pada tulisan ini hasil rancangan digester yang akan dibangun memiliki diameter $D = 13,29$ m, sehingga digester tersebut mempunyai luasan alas $138,7$ m². Total luas alas 4 digester adalah $554,80$ m².

Masih tersedia cukup lahan di lokasi untuk pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas. Pada dasarnya beberapa lokasi kawasan peternakan sapi lokasinya bebas dan luas sehingga sangat memungkinkan dibangun PLT biogas di dalam kawasan.

Campuran kotoran sapi dan air yang membentuk slurry dimasukkan melalui saluran masuk slurry. Untuk pertama kali dibutuhkan waktu lebih kurang 30 hari (HRT) sebelum dihasilkan gas awal. Campuran tersebut selalu ditambah setiap hari dan sesekali diaduk, sedangkan yang sudah diolah dikeluarkan melalui saluran pengeluaran. Bila aliran di dalam tangki cukup lancar (tidak ada sumbatan) maka kesetimbangan tekanan hidrostatik slurry akan menyebabkan sebagian residu keluar manakala slurry ditambahkan ke saluran masuk tangki utama. Bila slurry pertama ditambahkan setelah n hari (<30 hari), maka residu yang keluar pertama kali hanya memiliki HRT sebesar n hari. Ini berarti residu awal belum secara sempurna dicerna oleh reaktor. Namun di sisi lain, residu

terakhir dari slurry tahap awal akan memiliki sebesar $HRT + n$ hari. Residu keluaran reaktor biogas ini merupakan nilai tambah dari reaktor karena bisa digunakan sebagai pupuk berkadar nutrisi tinggi (Karim dkk, 2005).

Pada reaktor biogas ini, perlu diberikan katup pengaman untuk membatasi tekanan maksimal reaktor sesuai dengan kekuatan konstruksi reaktor dan tekanan hidrostatik slurry di dalam reaktor.



Gambar 4.3 Ruang kerja Digester

Setelah lumpur berada di dalam reaktor menjadi gas (20-30 hari), gas dialirkan ke tangki penampung gas (gas holder) yang terlebih dahulu dibersihkan dari polutan oleh gas scrubber. Dari beberapa digester dibuat instalasi gas holder yang menghasilkan keluaran gas yang stabil untuk disalurkan ke gas engine sehingga menghasilkan tenaga listrik.

4.3. Analisa Teknologi Pembangkit

Konversi energi listrik dari biogas dilakukan dengan mengubah energi potensial yang ada dalam biogas menjadi mekanik, kemudian energi mekanik

menjadi energi listrik. Analisa dilakukan pada jenis teknologi konversi energi yang tersedia di pasaran yaitu:

1. Gas Engine 100 kW
2. Microturbin Engine 100kW

Untuk Pemilihan teknologi konversi energi sangat dipengaruhi oleh parameter teknis dan ekonomis, yang dimaksud parameter teknis terdiri dari tingkat efisiensi teknologi konversi dan produksi energi listrik, ketersediaan produk/barang di pasaran dan kompleksitas jenis operasi dan pemeliharaan (O&M). Sedangkan parameter ekonomis terdiri dari biaya investasi dan biaya operasi dan pemeliharaan (O&M)

4.3.1. Tingkat Efisiensi Teknologi Konversi dan Produksi Energi Listrik

Efisiensi sangat penting sebagai aspek yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan teknologi konversi, efisiensi berhubungan langsung dengan jumlah energi yang dihasilkan, semakin tinggi efisiensi semakin besar pula energi output yang dihasilkan, demikian pula sebaliknya.

Berdasarkan informasi yang telah disampaikan pada bab sebelumnya, gas engine memiliki efisiensi tertinggi diantara 2 pilihan teknologi lainnya. Perkembangan teknologi telah menghasilkan tingkat efisiensi gas engine sebesar minimal 39,8%. Sedangkan gas turbin efisiensi mencapai 35%.

Untuk menghitung besarnya energi listrik yang dihasilkan adalah:

$$El = VBS \times \% CH_4 \times H \text{ metan} \times CF \times \eta_{el} \dots\dots\dots(4.1)$$

$$VBS \times \% CH_4 \times H = \text{potensi energi listrik (E)} \dots\dots\dots(4.2)$$

Sehingga,

$$El = E \times \eta_{el} \dots\dots\dots(4.3)$$

dimana:

El = Energi Listrik (kWh)

VBS = volume produksi biogas (m^3)

% CH₄ = Prosentase gas metan

H metan = nilai kalor metan (kWh/m^3)

CF = *Capacity Factor* , diasumsikan sebesar 0,8

η_{el} = Efisiensi Listrik

- Gas Engine 100 kW

Nilai E sudah dihitung sesuai Tabel 4.4 yaitu 16.390,86 kWh/hari dan η_{el} untuk Gas Engine 100 kW adalah 39,8 % maka nilai El adalah:

$$\begin{aligned} El &= E \times CF \times \eta_{el} \\ &= 16.390,86 \text{ kWh/hari} \times 0,8 \times 39,8 \% \\ &= 5.218,85 \text{ kWh/hari} \end{aligned}$$

Sehingga daya yang dibangkitkan adalah:

$$\begin{aligned} Pel &= El : 24 \text{ h/hr} = 5.218,85 \text{ kWh/hr} : 24 \text{ h/hr} \\ &= 217,45 \text{ kW} \end{aligned}$$

- Gas Turbin Engine (Microturbin) 100 kW

Nilai E sudah dihitung sesuai Tabel 4.4. yaitu 16.390,86 kWh/hr dan η_{el} untuk Gas Turbin Engine 100 kW adalah 35 % maka nilai El adalah:

$$\begin{aligned} El &= E \times CF \times \eta_{el} \\ &= 16.390,86 \times 0,8 \times 35 \% \\ &= 4.589,44 \text{ kWh/hr} \end{aligned}$$

Sehingga daya yang dibangkitkan adalah:

$$\begin{aligned} Pel &= El : 24 \text{ h/hr} = 4.589,44 \text{ kWh/hr} : 24 \text{ h/hr} \\ &= 191,23 \text{ kW} \end{aligned}$$

4.3.2. Ketersediaan Produk/Barang di Pasaran

Ketersediaan gas engine cukup banyak meskipun tidak sebanyak pilihan untuk penggunaan PLTD. Survey terhadap dua perusahaan yang mempunyai kantor representatif di Indonesia, menyatakan mempunyai beberapa pilihan kapasitas untuk model gas engine. Sedangkan untuk microturbine engine masih jarang digunakan dan pengadaannya cukup susah.

4.3.3. Kompleksitas Jenis Operasi dan Pemeliharaan (O&M)

Ditinjau dari berbagai aspek misalnya sistem pelumasan dan pendinginan, gas engine memiliki kompleksitas operasi dan pemeliharaan dibandingkan dengan gas turbin. Sistem pelumasan dan pendinginan gas engine menggunakan oli dan

coolant sedangkan gas turbin menggunakan udara. Sehingga gas engine harus rutin dilakukan penggantian oli dan penambahan *coolant* setelah mencapai jam operasi tertentu. Selain hal tersebut pada gas engine masih banyak item-item yang harus diganti jika telah melewati jam operasi tertentu, seperti *spark plug*/busi. Pada parameter kompleksitas operasi dan pemeliharaan, gas turbin mempunyai keunggulan karena item-item yang harus dilakukan pemeliharaan tidak sebanyak gas engine, bahkan dewasa ini teknologi gas turbin engine mampu beroperasi secara mandiri tanpa diperlukan operator.

4.3.4. Biaya Investasi

Total cost dari suatu pembangkit biogas termasuk instalasi antara US \$50 US s.d. US \$75 /m³ belum termasuk tanah. Dimana 35 – 40% dari biaya tersebut untuk digester [16]. Dengan mengambil nilai termurah ditentukan:

$$\begin{aligned} \text{harga pembangkit biogas} &= \text{US } \$50 /\text{m}^3 \text{ (assumsi US\$1 = Rp 9000)} \\ &= \text{Rp } 450.000/\text{m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Harga tanah sesuai NJOP} = \text{Rp. } 30.000/\text{m}^2$$

Berdasarkan studi kasus di KUNAK Bogor diperkirakan biaya pembangkit biogas dengan asumsi dibutuhkan luasan tanah kosong seluas 20% dari luas digester untuk area penunjang maka:

$$\text{Harga Total Pembangkit Biogas} = \text{harga pembangkit} + \text{harga tanah}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga pembangkit} &= V \text{ digester} \times \text{Rp } 450.000/\text{m}^3 \\ &= 4.125 \text{ m}^3 \times \text{Rp } 450.000/\text{m}^3 \\ &= \text{Rp } 1.856.250.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{harga tanah} &= 120\% \text{ luasan digester} \times \text{harga NJOP} \\ &= 1.331,53 \text{ m}^2 \times 30.000/\text{m}^2 \\ &= \text{Rp } 39.945.790,- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga Total Pembangkit Biogas} &= \text{Rp } 1.856.250.000,- + \text{Rp } 39.945.790,- \\ &= \text{Rp } 1.896.195.790,- \end{aligned}$$

Biaya investasi generator listrik adalah biaya yang dikeluarkan untuk membeli produk dari teknologi konversi. Berdasarkan informasi dari vendor, harga untuk 100 kW gas engine \$ 7.500,-, sedangkan gas turbin engine sebesar \$

900,-/kW. Sehingga dengan kurs US\$ 1 = Rp 9000 dan daya yang dihasilkan micro tubin 2 x 100 kW maka:

Gas Engine Capital cost 3 x 100kW = 3 x \$7.500 x 9000,- = Rp 202.500.000

Microturbin Capital cost = 2 x 100 x \$900 x 9000,- = Rp 1.620.000.000

4.3.5. Biaya Operasi dan Pemeliharaan

Biaya tetap operasi dan pemeliharaan biasanya terdiri dari biaya tenaga kerja dan biaya pemeliharaan. Biaya tersebut bisa di bagi 2 yaitu untuk Pembangkit Biogas sendiri dan mesin generator penghasil listrik.

4.3.5.1. Biaya Operasi Pemeliharaan pembangkit biogas

Biaya operasi dan pemeliharaan terdiri dari upah dan biaya bahan untuk:

- akuisisi (pembelian, pengumpulan dan transportasi) dari kotoran sapi;
- pasokan Air untuk membersihkan stabil dan pencampuran substrat;
- pengawasan, pemeliharaan dan perbaikan digester;
- penyimpanan dan pembuangan lumpur tersebut;
- distribusi gas dan pemanfaatan;
- administrasi.

Biaya menjalankan sebuah pabrik biogas dengan manajemen profesional sama pentingnya dengan biaya konstruksi, misalnya untuk operasi, pemeliharaan, biaya untuk pengecatan, pelayanan dan perbaikan.

Dengan melihat besar kecilnya digester dapat diperkirakan biaya untuk Operasi dan Pemeliharaan Pembangkit biogas

- Gaji tenaga kerja yang diperlukan diatas UMR provinsi di Indonesia berdasarkan Katalog Bapennas 2010 (dengan pembulatan atas). Sedangkan jumlah tenaga kerja sesuai dengan volume digester.
- Besarnya non tenaga kerja diasumsikan 20% dari upah tenaga kerja.

Tabel 4.6. Biaya O&M pembangkit biogas

NO.		VOL	HARGA (Rp)	JUMLAH (Rp)
1	Gaji Pegawai 6 org x 12 bln	72	1,000,000	72,000,000
2	Biaya non gaji pegawai 20% dari gaji pegawai			14,400,000
Total biaya O&M Pembangkit biogas				86,400,000

Jadi Biaya Operasi Pemeliharaan pembangkit biogas adalah Rp 86.400.000,-/th

4.3.5.2. Biaya Operasi Pemeliharaan Mesin pembangkit Tenaga Listrik

Biaya pemeliharaan terutama meliputi minyak pelumas, filter, baterai, busi dan sebagainya.

- Biaya pemeliharaan gas engine \$ 0.018/kWh

Biaya O&M gas engine = 5.218,85 kWh x \$0.018 x Rp 9000 =

Rp 845.453,57 /hr x 333 hr/th = Rp 151.300.076,-/th

- Biaya operasi dan pemeliharaan untuk microturbin adalah \$0.011/kWh sehingga Berdasarkan perhitungan energi listrik per hari

biaya pemeliharaan microturbin adalah;

Biaya O&M microturbin = 4.589,44kWh x \$0.011x Rp 9000 =

Rp 454.354,58 /hr x 333 hr/th = Rp 281.536.038,-/th

Tabel 4.7 Ringkasan Parameter Pemilihan Teknologi Konversi

Parameter	Gas Engine	Microturbin Engine
Parameter Teknis		
Efisiensi Teknologi Konversi	39,8%	35%
Energi Listrik	5.218,85 kWh/hari	4.589,44 kWh/hari
Kapasitas Listrik	217.45 kW	191,23 kW
Ketersediaan Produk/Barang di Pasaran	Cukup	Jarang
Kompleksitas Jenis Operasi dan Pemeliharaan (O&M)	Kompleks	Sedikit
Parameter Ekonomis		
Biaya Investasi pembangkit Biogas	Rp 1.896.195.790,-	Rp 1.896.195.790,-
Biaya Investasi mesin	Rp 202.500.000,-	Rp 1.620.000.000,-
Biaya O&M pembangkit biogas	Rp 86.400.000,-	Rp 86.400.000,-
Biaya O&M Mesin	Rp 151.300.076,-/th	Rp 281.536.038,-/th

Berdasarkan Tabel 4.7. diatas maka gas engine memiliki beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan microturbin engine, sehingga gas engine dapat dipilih

sebagai teknologi konversi pada Pembangkit Listrik Tenaga Biogas di kawasan usaha peternakan sapi dengan kondisi potensi seperti di kawasan peternakan KUNAK Bogor.

4.3.6. Revenue Tahunan (Annual Revenue)

Dalam kasus ini, total annual revenue berasal dari:

- Listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik biogas
- Perdagangan emisi gas rumah kaca

Perumusan yang digunakan untuk perhitungan adalah sebagai berikut:

- Tenaga Listrik = Daya listrik yang dihasilkan (kWh) \times tarif listrik (Rp / kWh);
- Perdagangan Emisi GHG = (emisi GHG (kondisi awal) - emisi GHG (dengan kogenerasi)) \times harga pengurangan GHG.

4.3.6.1. Tenaga Listrik yang dihasilkan

Listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga biogas dikonversikan terhadap harga tarif dasar listrik. Berdasarkan Peraturan Pemerintah RI Nomor 8 Tahun 2011 dapat diassumsikan harga listrik Rp 500,-/kWh. Waktu operasi pembangkit dengan asumsi memperhitungkan 1% mesin tidak beroperasi dalam setahun \approx 333 hari sehingga didapatkan:

- Gas Engine 100 kW

Pendapatan dari tenaga listrik yang dihasilkan (A_{TL})

$$\begin{aligned} &= \text{El gas turbin} \times \text{Harga listrik} \times 333 \text{ hari/th} \\ &= 5.218,85 \text{ kWh/hari} \times \text{Rp } 500,-/\text{kWh} \times 333 \text{ hari/th} \\ &= \text{Rp } 868.938.390,-/\text{th} \end{aligned}$$

- Gas turbin (Microturbin) 100 kW

Pendapatan dari tenaga listrik yang dihasilkan (A_{TL})

$$\begin{aligned} &= \text{El gas turbin} \times \text{Harga listrik} \times 333 \text{ hari/th} \\ &= 4.589,44 \text{ kWh/hari} \times \text{Rp } 500,-/\text{kWh} \times 333 \text{ hari/th} \\ &= \text{Rp } 764.141.800,-/\text{th} \end{aligned}$$

4.3.6.2. Analisis Potensi Pengurangan Emisi

Pemanfaatan biogas sebagai pembangkit listrik merupakan salah satu alternatif dalam rangka mengganti/substitusi pembangkit listrik tenaga fosil. Selain sumber-sumber energi fosil yang semakin terbatas, pembangkit listrik tenaga fosil melepaskan CO₂ akibat dari pemanfaatan pembakaran energi fosil. CO₂ merupakan salah satu emisi penghasil gas rumah kaca. Pembuangan kotoran ternak dalam waktu tertentu akan melepaskan CH₄ ke udara akibat dari proses fermentasi alami. CH₄ termasuk salah satu emisi penghasil gas rumah kaca selain CO₂, CH₄ mempunyai sifat polutan 21 kali jika dibandingkan CO₂. Berdasarkan hal tersebut pemanfaatan kotoran ternak sebagai bahan baku biogas mempunyai kontribusi 2 kali dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, yaitu:

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

Sedangkan emisi CO₂ yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga biogas sendiri tidak ada dan dianggap tidak ada kebocoran sistem.

➤ **Potensi Pengurangan emisi akibat mengganti/substitusi bahan bakar fosil**

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

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

energi listrik per tahun (MWh) = kapasitas terpasang pembangkit (MW) × 8760 h

$$\text{Kapasitas Terpasang Pembangkit} = 217,45 \text{ kW}$$

sehingga,

$$\text{Energi Listrik per tahun (MWh)} = 217,45 \text{ kW} \times 24 \text{ h/hr} \times 333 \text{ hr/th}$$

$$= 1.737,88 \text{ MWh/th}$$

- b. Menghitung *emission factor* CO₂ pembangkit, Persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{emission factor (tCO}_2\text{/MWh)} = \frac{\text{volume bahan bakar fosil}}{\text{energi yang dihasilkan}} \times \text{emission factor bahan bakar} \\ \times \text{kandungan energi bahan bakar}$$

Untuk menghitung emission factor, digunakan asumsi sebagai berikut:

- Bahan bakar yang digunakan adalah solar/MFO

Tabel 4.8. Spesifikasi Bahan Bakar

Fuel Type	(A)	(B)		(D)
	Density kg/m ³	NCV		EF kgCO ₂ /TJ
Data source	PERTAMINA	PERTAMINA	IPCC	-
HSD	845	42.73	-	0.000036
MFO	990	41.02	-	0.000041
Natural Gas	-	-	48.00	-

- Energi yang dihasilkan = 1.737,88 MWh / thn
- Emission Faktor Bahan Bakar = 77,400 KgCO₂/TJ = 77,400 x 10⁻³ TCO₂/TJ
- 1 TJ = 277,778 MWh

Sehingga,

$$\text{emission factor (tCO}_2\text{/MWh)} = \frac{77,400 \times 10^{-3} \text{ TCO}_2 / \text{TJ} : 277,778 \text{ MWh} / \text{TJ}}{1} \\ = 0,0002786 \text{ tCO}_2\text{/MWh}$$

- c. Menghitung emisi CO₂. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{emisi CO}_2\text{(tCO}_2\text{)} = \text{energi listrik pertahun (MWh)} \times \text{emission factor (tCO}_2\text{/MWh)}$$

$$\text{Emisi CO}_2\text{(tCO}_2\text{)} = 1.904,9 \text{ MWh} \times 0,0002786 \text{ tCO}_2\text{/MWh} \\ = 0,484 \text{ tCO}_2\text{/ thn}$$

- Pengurangan emisi akibat pembakaran gas metan

Perhitungan pengurangan emisi akibat pembakaran gas metan adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung besarnya gas metan (CH₄) yang dihasilkan dari instalasi biogas.

$$\text{Jumlah Gas Metan (m}^3\text{)} = \text{Volume gas metan yang dihasilkan}$$

$$\text{Jumlah Gas Metan (m}^3\text{)} = 1.467,40 \text{ m}^3\text{/hari}$$

- b. Menghitung besarnya gas metan (CH₄) dalam satuan Kg gas.

$$\text{Jumlah Gas Metan (Kg)} = \text{Jumlah gas metan (m}^3\text{)} \times \text{massa jenis gas}$$

Sesuai Tabel 3.4. Massa Jenis Gas Metan adalah 0,656 Kg/m³, sehingga

$$\begin{aligned} \text{Jumlah gas metan (Kg)} &= 1.467,40 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,656 \text{ Kg/m}^3 \\ &= 962,6 \text{ Kg/hari} \end{aligned}$$

- c. Menghitung gas metan (CH₄) yang dikonversi menjadi CO₂

$$\text{emisi CO}_2 \text{ (tCO}_2\text{)} = (\text{Jumlah gas metan (Kg)} \times \text{GWPI CH}_4) \times 10^{-3}$$

GWPI (*Global Warming Potential Index*) CH₄ adalah 21

$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 \text{ (tCO}_2\text{)} &= 962,6 \times 21 \times 10^{-3} \\ &= 20,2 \text{ tCO}_2/\text{hari} \end{aligned}$$

Dalam satu tahun, emisi yang dikurangi adalah:

$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 \text{ (tCO}_2\text{)} &= 365 \times 20,2 \text{ tCO}_2 \\ &= 7.378,44 \text{ tCO}_2 \end{aligned}$$

Total pengurangan emisi = Pengurangan emisi akibat mengganti/substitusi bahan bakar fosil + Pengurangan emisi akibat pembakaran gas metan.

$$\begin{aligned} &= 0,484 \text{ tCO}_2 + 7.378,44 \text{ tCO}_2 \\ &= 7.378,92 \text{ tCO}_2 \end{aligned}$$

Sehingga nilai total pengurangan emisi CO₂ pembangkit listrik tenaga biogas adalah:

- Gas Engine 3 x 100 kW

$$\begin{aligned} \text{Pengurangan gas karbon tiap tahun adalah (A}_{\text{CO}_2}\text{)} \\ 7.378,92 \text{ tCO}_2 \end{aligned}$$

- Gas turbin (Microturbin) 2 x 100 kW

$$\begin{aligned} \text{Pengurangan gas karbon tiap tahun adalah (A}_{\text{CO}_2}\text{)} \\ 7.378,87 \text{ tCO}_2 \end{aligned}$$

4.4. Analisa Ekonomi Teknologi Pembangkit

Dalam mengevaluasi PLT Biogas ini, dapat digunakan analisis capital budgeting yaitu Pay Back Period (PBP), Net Present Value (NPV) dan Internal rate of return (IRR),dimana beberapa asumsi yang diperlukan:

- Usia Ekonomis: 20 tahun
- Suku bunga: 10%

Dengan asumsi ini, kita dapat menguraikan aliran arus kas . Arus kas terdiri dari arus kas masuk dan arus kas keluar. Dalam hal proyek ini, arus kas keluar dan arus masuk telah ditemukan dari analisis teknologi sebelumnya. Arus keluar kas terdiri dari biaya investasi awal, operasi dan biaya pemeliharaan. Sementara itu, kas masuk berasal dari biaya potensi listrik yang dihasilkan. Selain biaya operasional, biaya penyusutan juga dipertimbangkan dalam perhitungan ini. Biaya penyusutan diasumsikan sebuah depresiasi garis lurus di mana biaya.konstan setiap tahun selama proyek.

Tabel 4.9. Aliran Kas Pembangunan Pembangkit Listrik Biogas

Cash Flow	Gas Engine	Microturbin Engine
Biaya Investasi pembangkit Biogas	Rp 1.896.195.790,-	Rp 1.896.195.790,-
Biaya Investasi mesin	Rp 202.500.000,-	Rp 1.620.000.000,-
Annual cash flow expenses (-)		
Biaya O & M pembangkit Biogas	Rp 86.400.000,-/th	Rp 86.400.000,-/th
Biaya O & M mesin	Rp 281.536.038,-/th	Rp 151.300.076,-/th
Annual cash flow revenues (+)		
Biaya T L yang dihasilkan	Rp. 868.938.390,-/th	Rp 764,141,800,-/th
Hasil Perhitungan		
Life time	20	20
Interest	10%	10%
Depresiasi (Rp/th)	104.934.789	175.809.789
Net cash flow (Rp/th)	396.067.562	350.631.934
Pay Back Period (tahun)	4,19	6.68
NPV (10%)	1,952,375,441	827,289,808
IRR	16,47%	5,44%

Dari tabel 4.9. dapat dijelaskan bahwa jenis gas engine machine layak dipilih, karena nilai NPV yang dihasilkan lebih besar dari nol serta nilai IRR lebih besar dari tingkat suku bunga 10%. Sedangkan untuk microturbin mempunyai IRR lebih kecil dari suku bunga 10%. Akan tetapi penggunaan microturbin mempunyai NPV yang positif.

Dari data yang ada dapat dihitung harga per kWh yang dihasilkan dari Pembangkit listrik tenaga biogas tersebut dapat dihitung sebagaimana tabel berikut

Tabel 4.10. Biaya pembangkitan yang dihasilkan

		jumlah ternak 2200	
Komponen A (Fixed Investment Cost)		Gas Engine	Gas turbine
Fixed Investment Cost	Rp	2.098.695.790	3.516.195.790
Daya (produksi)	MW	0.2175	0.1912
Interest	%	10.00	10.00
Umur Ekonomis	tahun	20	20
IDC (interest During Construction)	%	-	-
Capital Recofery Factor	%/tahun	11.746	11.746
Fixed Investment Cost / kW	Rp/kW	9.651.304	18.387.580
Fixed Investment Cost Tahunan	Rp/kW.year	1.133.639	2.159.798
Komponen A	Rp/kWH	129.41	246.55
Komponen B (Fixed O&M Cost)			
Fixed OM Cost	Rp/month	7,200,000	7,200,000
Daya produksi	MW	0.2175	0.1912
Fixed OM Cost / kW.month	Rp/KW.MONTH	33,111	37,652
Komponen B	Rp/kWH	49.72	56.53
Komponen C (Var Fuel Cost)			
Harga Batubara	Rp/ton	-	-
Fuel Price	Rp/KWh	-	-
Produksi per bulan	KWh/month	144,823	127,357
Daya terpasang	MW	1.458	1.575
Umur Ekonomis	tahun	20	20
Variable Fuel Cost /kW.month	Rp/KW.month	-	-
Variable Fuel Cost /kW.year	Rp/KW.year	-	-
Komponen C	Rp/kWH	-	-

Komponen D (Var O&M Cost)			
Variable O&M Cost	Rp	23,461,337	12,608,340
Produksi per bulan	KWh/month	144,823	127,357
Daya terpasang	MW	0.3	0.2
Umur Ekonomis	tahun	20	20
Variable O&M Cost	Rp/KWh	162.00	99.00
Komponen D	Rp/kWh	162.00	99.00

TOTAL	Rp/KWh	341.13	402.09
--------------	---------------	---------------	---------------

Profit	%	10	10
Biaya Pembangkitan	Rp/KWh	375.24	442.29
	US Cent/KWh	4.169	4.914

Daya Terpasang	KW	300	200
Daya Produksi	KW	217	191
Produksi per bulan 333/12 hari	kwh/month	144,823	127,357
Produksi per tahun 333 hari	kwh/year	1,737,877	1,528,284

Berdasarkan tabel diatas biaya pembangkitan cukup murah sehingga bisa sebagai alternatif pengganti tenaga listrik yang disediakan oleh PT PLN (Persero).

4.5. Analisis Sensitivitas

Sensitivitas akan diuji berdasarkan skenario yang layak sesuai perhitungan yang telah didapat, dimana dianalisis menurut eskalasi harga tanah, eskalasi tarif listrik dan eskalasi biaya O&M terhadap pembangkit biogas terhadap IRR dan Pay Back Period (PBP). Sensitivitas masing-masing teknologi dapat dilihat dalam grafik, dengan dua singkatan yang digunakan:

GE : Gas Engine

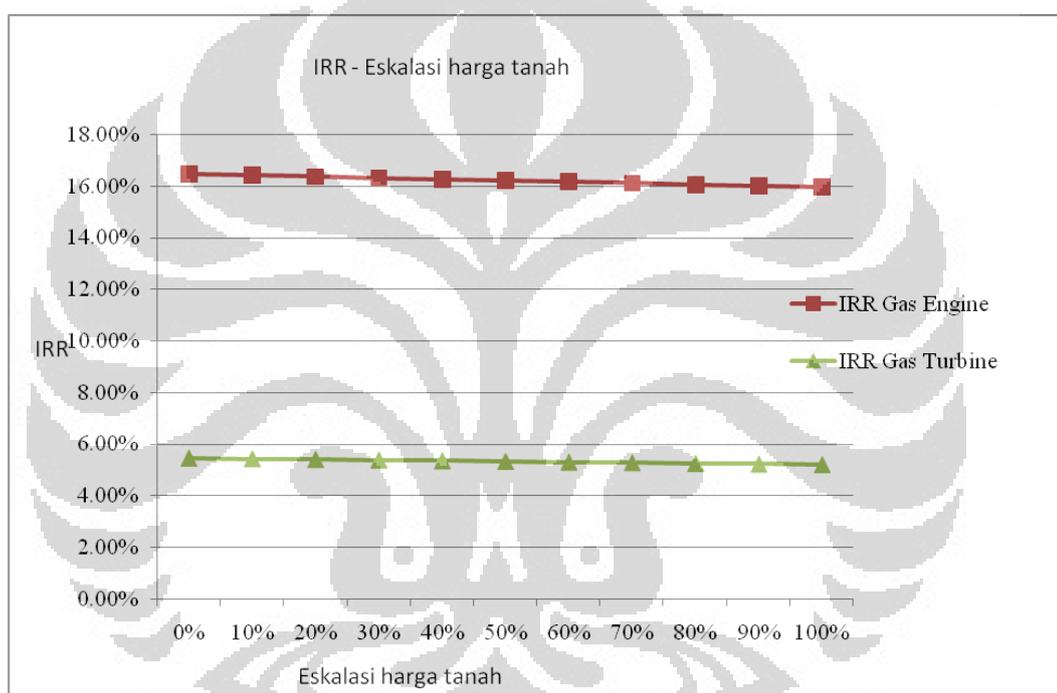
GT : Gas Turbine (Microturbin)

4.5.1. Eskalasi Harga tanah

Harga tanah untuk pembangkit biogas didasarkan pada harga NJOP di lokasi peternakan atau lokasi dibangunnya pembangkit tersebut. Luas tanah yang diperhitungkan adalah luas tanah yang sesuai dengan luas digester yang

dirancang. eskalasi harga tanah 10% dari kondisi awal yaitu $30.000 \text{ Rp/m}^2 \times 110\% = 33.000 \text{ Rp/m}^2$, sehingga perubahan pada arus kas terutama pada biaya investasi untuk pembangkit biogasnya sendiri.

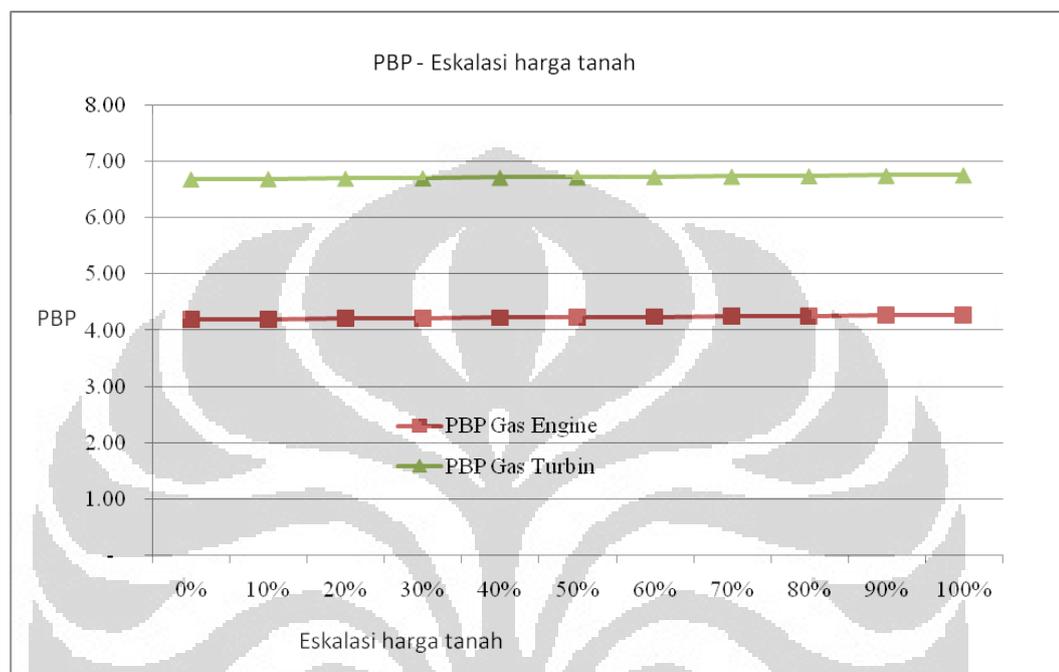
Perubahan harga tanah ini, selanjutnya untuk pemakaian gas engine akan mempengaruhi nilai IRR menjadi 16,42%, NPV menjadi Rp 1.948.380.862,- dan PBP relatif sama 4,20 tahun. Dengan cara yang sama dapat diperoleh nilai IRR dan PBP untuk eskalasi diambil skala kenaikan 10%. Sensitivitas IRR untuk dua alternatif mesin yang digunakan terhadap eskalasi harga tanah hingga 100% dapat dilihat dalam Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Analisis Sensitivitas IRR vs Eskalasi Harga tanah

Dari analisis ini, dapat diamati bahwa dengan kenaikan harga tanah tidak terlalu banyak berpengaruh terhadap IRR. Hal tersebut terlihat pada grafik diatas dimana penurunan IRR terhadap kenaikan harga tanah tidak terlalu besar. Bahkan dengan kenaikan harga tanah 100% IRR yang dihasilkan untuk gas engine 15,95% masih jauh diatas suku bunga yaitu 10%. Sedangkan pemakaian gas turbin IRR tetap dibawah suku bunga sehingga kurang menguntungkan untuk digunakan.

Untuk, sensitivitas Pay Back Period (PBP) untuk dua pilihan dengan eskalasi harga tanah hingga 100% disajikan pada Gambar 4.5



Gambar 4.5. Analisis Sensitivitas PBP vs Eskalasi Harga tanah

Dari analisis ini, dapat diamati bahwa dengan kenaikan harga tanah tidak terlalu banyak berpengaruh terhadap Pay back Period (PBP) sebagaimana pengaruh terhadap IRR. Hal tersebut terlihat pada grafik diatas, dimana kenaikan PBP terhadap kenaikan harga tanah tidak terlalu besar. Bahkan dengan kenaikan harga tanah 100% PBP yang dihasilkan untuk gas engine 4,19 tahun dari awalnya 4,27, yang bisa diartikan PBP lebih lama 0,08 tahun. Sedangkan untuk pemakaian gas turbin mempunyai tren yang sama dengan gas engine, dimana kenaikan harga tanah tidak terlalu berpengaruh terhadap kenaikan PBP.

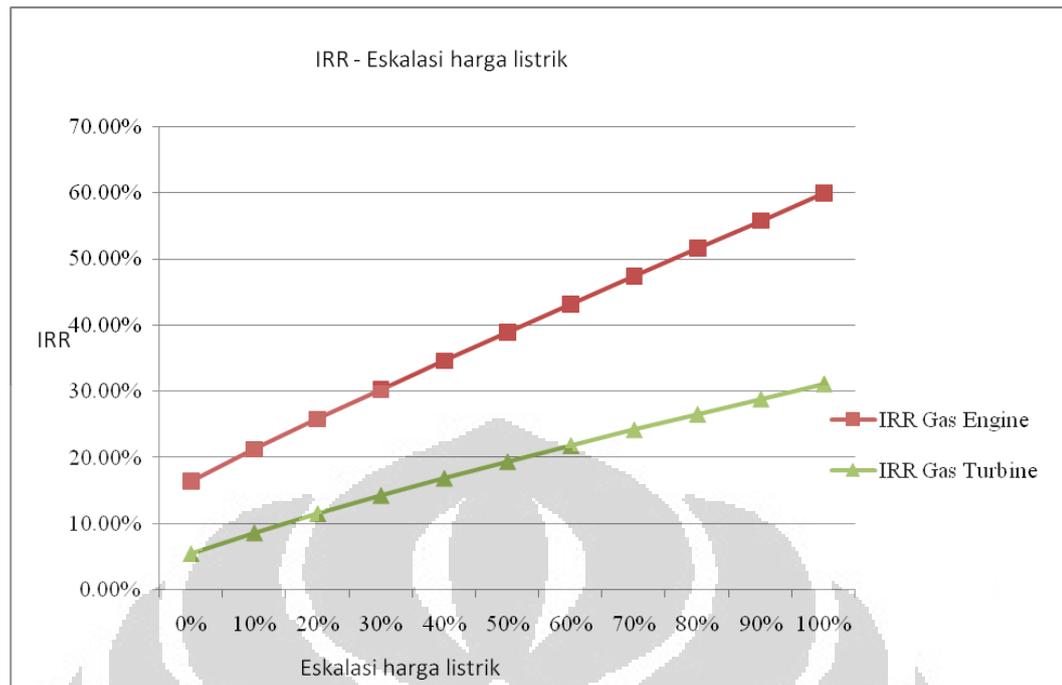
Berdasarkan analisa tersebut diatas Kenaikan harga tanah tidak begitu berpengaruh terhadap nilai IRR dan Pay Back Period pada pembangunan Pembangkit listrik tenaga biogas di suatu kawasan peternakan. Hal tersebut dapat dimungkinkan karena:

- Kawasan usaha peternakan sapi biasanya terletak jauh dari perumahan dan aktifitas penduduk secara umum, selain itu letaknya di daerah perbukitan sehingga nilai tanah sangat murah.
- Komponen harga tanah relatif kecil dibandingkan nilai project pembangkit listrik tenaga biogas secara keseluruhan sehingga pengaruh ekonominya relatif kecil.

4.5.2. Eskalasi Tarif Listrik

Harga listrik yang dimaksud disini adalah harga listrik minimum yang bisa disubstitusi dengan listrik dari pembangkit listrik tenaga biogas yang dibangun. Harga listrik disini diambil dari Peraturan Pemerintah RI Nomor 8 Tahun 2011 yang diassumsikan harga minimum yaitu Rp 500,-/kWh. Harga tersebut dikalikan kWh yang dihasilkan oleh pembangkit yang bisa dikatakan sebagai revenue pembangkit tersebut. Eskalasi harga listrik 10% dari kondisi awal yaitu 500 Rp/kWh $\times 110\% = 550$ Rp/kWh , sehingga perubahan pada arus kas terutama pada revenue tahunan pembangkit listrik tenaga biogas tersebut.

Perubahan harga listrik ini, selanjutnya untuk pemakaian gas engine akan mempengaruhi nilai IRR menjadi 21.28%, NPV menjadi Rp 2.692.151.676,- dan PBP menjadi 3.57 tahun. Dengan cara yang sama dapat diperoleh nilai IRR dan PBP untuk eskalasi diambil skala kenaikan 10%. Sensitivitas IRR untuk dua alternatif mesin yang digunakan terhadap eskalasi harga listrik hingga 100% dapat dilihat pada gambar 4.6.

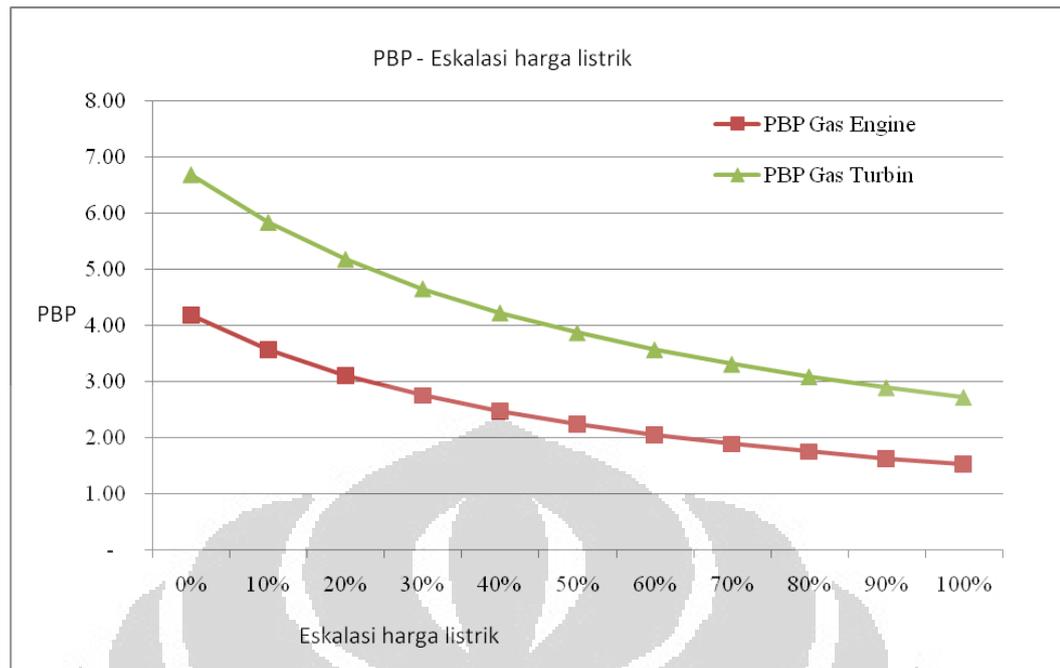


Gambar 4.6. Analisis Sensitivitas IRR vs Eskalasi Harga listrik

Dari analisis ini, dapat diamati bahwa dengan kenaikan harga listrik sangat mempengaruhi kenaikan nilai IRR. Hal tersebut terlihat pada grafik diatas dimana kenaikan IRR terhadap kenaikan harga listrik cukup besar. Dengan kenaikan harga listrik 100%, IRR yang dihasilkan untuk gas engine 59,95 % sangat tinggi kenaikannya dari nilai awal 16,47% dan hal tersebut tentu saja jauh diatas suku bunga yaitu 10%.

Sedangkan pemakaian gas turbin, IRR bisa melebihi nilai suku bunga pada kenaikan harga listrik 20% menjadi Rp 600,-/kWh yaitu 11,50% lebih dari 10%. Dengan demikian kemungkinan turbin gas dapat digunakan pada kenaikan diatas 20% atau perhitungan harga tarif listrik diatas Rp 600,-/kWh.

Untuk, sensitivitas Pay Back Period (PBP) untuk dua pilihan dengan eskalasi harga listrik hingga 100% disajikan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Analisis Sensitivitas PBP vs Eskalasi Harga listrik

Dari analisis ini, dapat diamati bahwa dengan kenaikan harga listrik sangat berpengaruh terhadap Pay back Period (PBP) sebagaimana pengaruh terhadap IRR. Hal tersebut terlihat pada grafik diatas, dimana penurunan PBP terhadap kenaikan harga listrik cukup besar. Dengan kenaikan harga listrik 100% PBP yang dihasilkan untuk gas engine 1,53 tahun dari awalnya 4,19, yang bisa diartikan PBP lebih cepat 2.66 tahun.

Sedangkan untuk pemakaian gas turbin mempunyai tren yang sama dengan gas engine, dimana kenaikan harga listrik cukup berpengaruh terhadap kenaikan PBP. Bahkan penurunan PBP untuk gas turbin cukup signifikan dimana dengan kenaikan harga listrik 100% PBP yang dihasilkan untuk gas turbin 2,72 tahun dari awalnya 6,68, yang bisa diartikan PBP lebih cepat 3.95 tahun

Berdasarkan analisa tersebut diatas Kenaikan harga listrik begitu berpengaruh terhadap perhitungan nilai IRR dan Pay Back Period pada pembangunan Pembangkit listrik tenaga biogas di suatu kawasan peternakan. Hal tersebut dapat dimungkinkan karena:

- Revenue yang didasarkan kenaikan harga listrik yang dihasilkan, sehingga nilai ekonomis akan bertambah dengan kenaikan harga listrik yang dapat disubstitusi oleh listrik yang dihasilkan

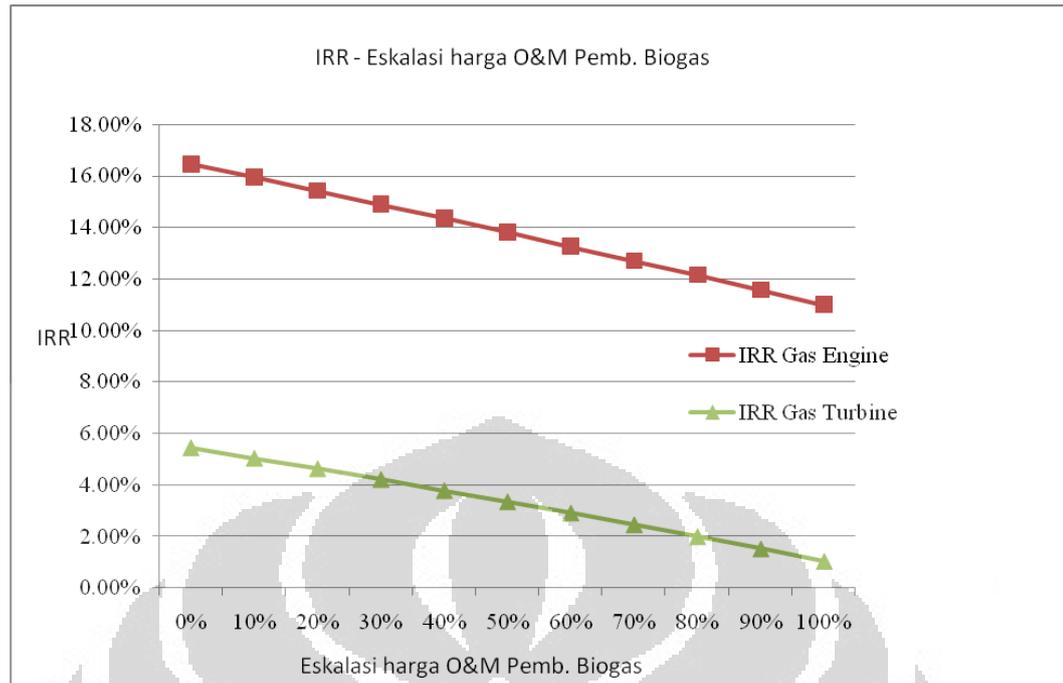
- Kenaikan harga listrik tersebut sangat mungkin terjadi dengan semakin dikurangnya subsidi tenaga listrik.

Berdasarkan analisa tersebut pembangunan pembangkit listrik tenaga biogas sangat dimungkinkan, dengan prioritas penggunaan gas engine.

4.5.3. Eskalasi Biaya Operasi dan Pemeliharaan Pembangkit Biogas

Biaya operasi dan pemeliharaan Pembangkit Biogas terdiri dari upah dan biaya bahan lainnya seperti dijelaskan sebelumnya. Biaya tersebut sangat dimungkinkan mengalami kenaikan dan memungkinkan mempengaruhi parameter ekonomis dari pembangkit listrik tenaga biogas. Harga O&M untuk pembangkit biogas didasarkan pada upah karyawan dan bahan penunjang operasional di lokasi peternakan atau lokasi dibangunnya pembangkit tersebut. Eskalasi Biaya O&M pembangkit biogas 10% dari kondisi awal yaitu Rp. 86.400.000,- x 110% = Rp 95.040.000,- sehingga terjadi perubahan pada arus kas terutama pada biaya pengeluaran untuk pembangkit biogasnya sendiri.

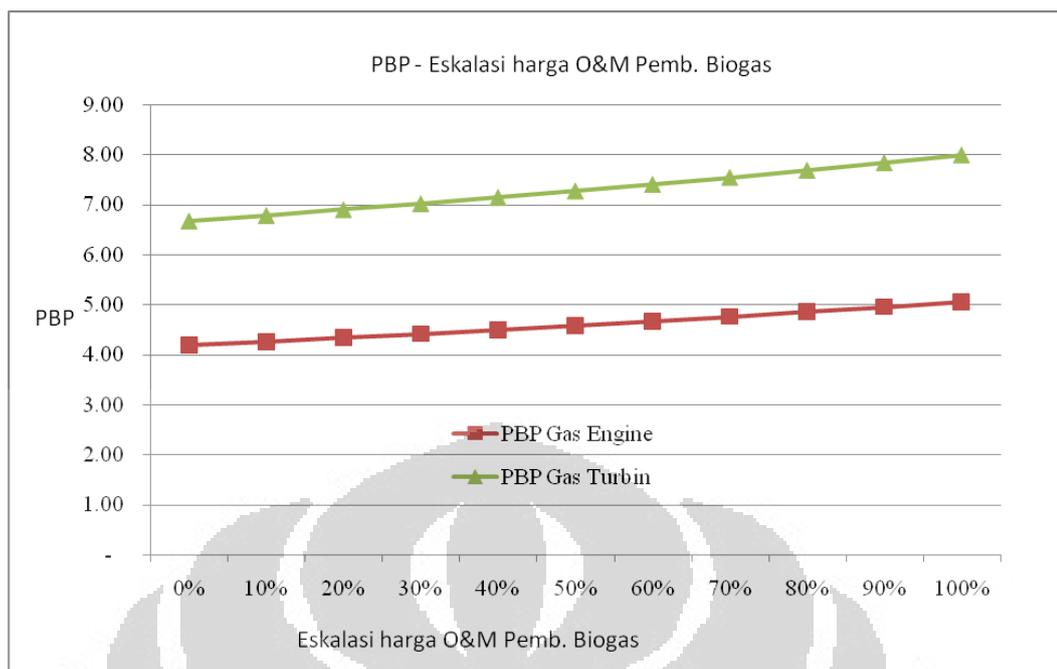
Perubahan Biaya O&M pembangkit biogas ini, selanjutnya untuk pemakaian gas engine akan mempengaruhi nilai IRR menjadi 15,95%, NPV menjadi Rp 1.873.787.295,- dan PBP menjadi 4,26 tahun. Dengan cara yang sama dapat diperoleh nilai IRR dan PBP untuk eskalasi diambil skala kenaikan 10%. Sensitivitas IRR untuk dua alternatif mesin yang digunakan terhadap eskalasi Biaya O&M pembangkit biogas hingga 100% dapat dilihat dalam Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Analisis Sensitivitas IRR vs Eskalasi O&M Pemb. Biogas

Dari analisis ini, dapat diamati bahwa dengan kenaikan Biaya O&M pembangkit biogas sangat mempengaruhi nilai IRR. Hal tersebut terlihat pada grafik diatas dimana kenaikan Biaya O&M pembangkit biogas terhadap penurunan nilai IRR cukup besar. Dengan kenaikan Biaya O&M pembangkit biogas 100%, IRR yang dihasilkan untuk gas engine 10,99 % sangat tinggi penurunannya dari nilai awal 16,47%. penurunan tersebut mendekati suku bunga yaitu 10%, yang menyebabkan pembangunan pembangkit sedikit menguntungkan. Sedangkan pemakaian gas turbin, berdasarkan perhitungan ekonomi tentu saja tidak layak digunakan karena IRR jauh di bawah nilai suku bunga (10%).

Untuk, sensitivitas Pay Back Period (PBP) untuk dua pilihan dengan eskalasi Biaya O&M pembangkit biogas hingga 100% disajikan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Analisis Sensitivitas PBP vs Eskalasi O&M Pemb. Biogas

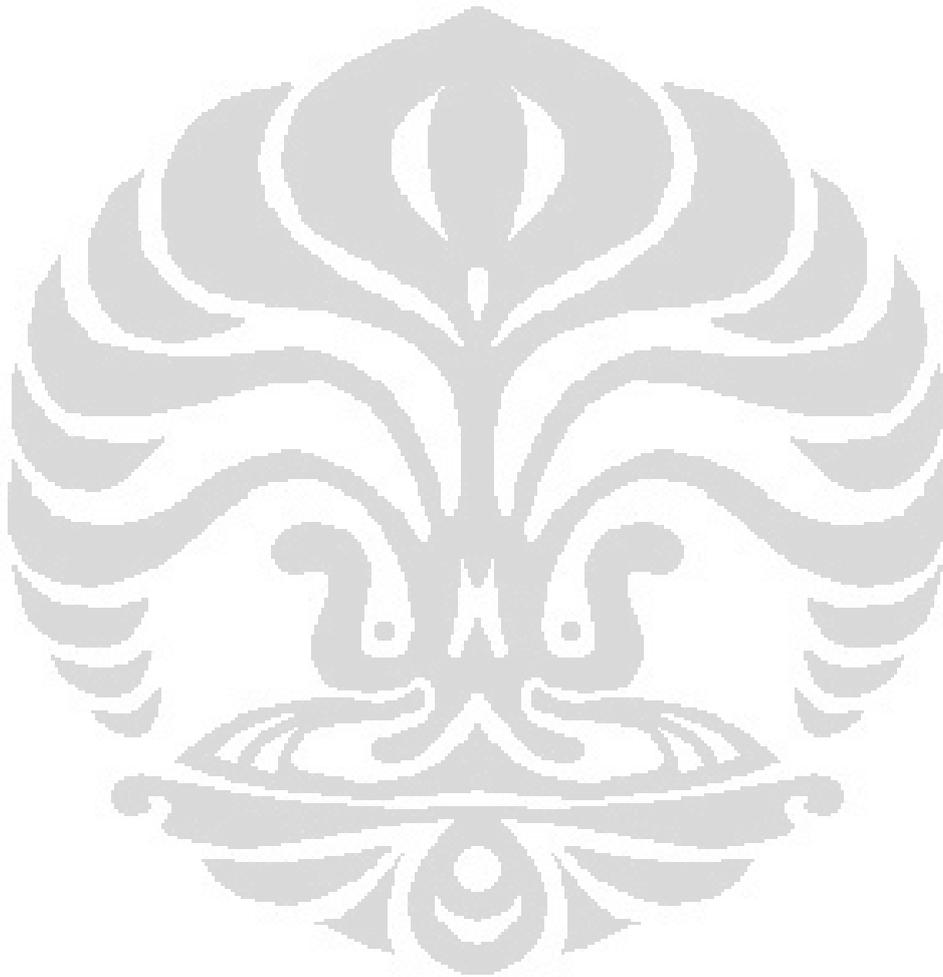
Dari analisis ini, dapat diamati bahwa dengan kenaikan Biaya O&M pembangkit biogas berpengaruh terhadap Pay back Period (PBP) sebagaimana pengaruh terhadap IRR. Hal tersebut terlihat pada grafik diatas, dimana kenaikan PBP terhadap kenaikan Biaya O&M pembangkit biogas cukup besar. Dengan kenaikan Biaya O&M pembangkit biogas 100% PBP yang dihasilkan untuk gas engine 5,06 tahun dari awalnya 4,19, yang bisa diartikan PBP lebih lama 0,87 tahun. Sedangkan untuk pemakaian gas turbin mempunyai tren yang sama dengan gas engine, dimana kenaikan Biaya O&M pembangkit biogas berpengaruh lebih tinggi terhadap kenaikan PBP. Dimana pada gas turbin engine dengan kenaikan Biaya O&M pembangkit biogas 100% PBP yang dihasilkan 7,99 tahun dari awalnya 6,68, yang bisa diartikan PBP lebih lama 1,31 tahun

Berdasarkan analisa tersebut diatas Kenaikan Biaya O&M pembangkit biogas berpengaruh terhadap nilai IRR dan Pay Back Period pada pembangunan Pembangkit listrik tenaga biogas di suatu kawasan peternakan. Hal tersebut dapat dimungkinkan karena:

- Upah pegawai dan bahan operasional merupakan komponen biaya pengeluaran yang rutin dikeluarkan dan nilainya cukup besar. Hal tersebut

mengakibatkan kenaikan biaya tersebut dapat mempengaruhi perhitungan ekonomi dari proyek keseluruhan.

- Sensitifitas biaya O&M pembangkit biogas terutama pada upah pegawai perlu diperhatikan, karena hal tersebut dalam kenyataannya sangat sensitif.



BAB V

KESIMPULAN

Melalui proses digestifikasi anaerobik, kotoran ternak sapi di Peternakan Kawasan Usaha Peteranakan 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.

Dari hasil analisa penelitian diatas didapatkan beberapa kesimpulan mengenai pemanfaatan kotoran sapi di suatu kawasan peternakan sapi antara lain;

- Dengan populasi ternak 2200 ekor menghasilkan energi listrik \approx 217.45 kW.
- Potensi emisi CO₂ sebesar 7.378,92 tCO₂ untuk pemakaian gas engine.
- Potensi emisi CO₂ tidak diperhitungkan dalam perhitungan ekonomi
- Dari analisis ekonomi implementasi pemanfaatan kotoran sapi menjadi tenaga listrik dengan menggunakan gas engine dengan asumsi nilai ekonomis investasi utilitas 20 tahun dan tingkat suku bunga 10%, arus kas yang diperoleh sebesar Rp 396.067.562,- pertahun, sedangkan penggunaan turbin gas sebesar Rp 350.631.934,- pertahun.
- Internal Rate of Return (IRR) dari penggunaan gas engine diperoleh lebih besar 10%, sehingga layak digunakan, Sedangkan untuk gas turbin kurang layak karena dibawah 10%.
- Berdasarkan sensitivas yang diuji berdasarkan eskalasi harga tanah, harga tanah tidak begitu berpengaruh terhadap nilai IRR dan Pay Back Period pada pembangunan Pembangkit listrik tenaga biogas di suatu kawasan peternakan.
- Sedangkan pengujian berdasarkan eskalasi harga listrik begitu berpengaruh terhadap perhitungan nilai IRR dan Pay Back Period pada pembangunan Pembangkit listrik tenaga biogas di suatu kawasan peternakan.
- pengujian berdasarkan eskalasi Biaya O&M pembangkit biogas berpengaruh terhadap Pay back Period (PBP) sebagaimana pengaruh terhadap IRR.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook, by Dennis A Burke P.E, June 2001
- [2] Biogas Digest, Volume I, Biogas Basics, Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT) and GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH
- [3] Biomass Inventory and Bioenergy Assessment An Evaluation of Organic Material Resources for Bioenergy Production in Washington State by Craig Frear, Bingcheng Zhao, Guobin Fu, Michael Richardson and Shulin Chen
- [4] Department of Biological Systems Engineering Washington State University and Mark R. Fuchs Solid Waste & Financial Assistance Program Department of Ecology Spokane, 2005.
- [5] Pengaruh Suhu dan C/N Rasio terhadap produksi Biogas berbahan baku sampah Organik, Endang Yulistiawati, Skripsi Institut Pertanian Bogor, 2008.
- [6] The Biogas/Biofertilizer Bussines Handbook, by Michael Arnott, Third Edition, Printed by Peace Corps, Information and Collection Exchange, Reprint R-48, July 1985
- [7] Analisis Pengaruh Penambahan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Batubara Terhadap Nilai Baseline Emission Factor Di Sistem Ketenagalistrikan Jawa-Madura-Bali (JAMALI), Suryo Utomo, Thesis Univesitas Indonesia, 2009.
- [8] Analisis Kapasitas Pembangkit dan Perhitungan Pengurangan Emisi pada Pemanfaatan Sampah Organik di Pasar Induk Kramat jati, Agung Sulisty, Thesis Univesitas Indonesia, 2010.
- [9] Analisis Potensi Biogas Untuk Menghasilkan Energi Listrik Dan Termal Pada Gedung Komersil di Daerah Perkotaan, Budiman R. Saragih, Thesis Univesitas Indonesia, 2010.
- [10] Jogiyanto. (2010). *Metodologi Penelitian Bisnis: Salah Kaprah dan Pengalaman-pengalaman*. Yogyakarta: BPFE.

- [11] Panduan Mekanisme Pembangunan Bersih di Indonesia, Institute for Global Environmental Strategies, 2005.
- [12] [http://www.engr.usask.ca/classes/ABE/482/notes/ABE Lecture09](http://www.engr.usask.ca/classes/ABE/482/notes/ABE%20Lecture09)
- [13] K. Muthupandi. ROI Working Paper – Bio-Gas Senior Researcher, Resource Optimization Initiative, Bangalore March 2007
- [14] Energy Nexus Group. Technology Characterization: Microturbines. Virginia, March 2002.
- [15] Rekayasa dan Pengujian Reaktor Biogas Skala Kelompok Tani Ternak, Teguh Wikan Widodo, Ahmad Asari, Ana N., dan Elita R, 2006.
- [16] Biogas - Costs and Benefits and Biogas – Programme Implementation Volume III, Information and Advisory Service on Appropriate Technology.1999
- [17] Analisis Tekno-Ekonomi Pemanfaatan Gas Alam Menggunakan Sistem Kogenerasi Di Rumah Sakit (Studi Kasus Rumah Sakit Kanker Dharmais), Robi H.Sembiring Thesis, 2009
- [18] Economic Incentive Policies for REDD+ in Indonesia, 2010
- [19] Guidebook on Biogas Development. Energy Resources Development Series No. 21. United Nations: Economic and Social Commission for Asia and The Pacific. Bangkok. Thailand, 1980
- [20] Updated Guidebook on Biogas Development - Energy Resources Development Series 1984, No. 27, United Nations, New York, USA, 1984
- [21] Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2011 Tentang Tarif Tenaga Listrik Yang Disediakan Oleh Perusahaan Perseroan (Persero) It Perusahaan Listrik Negara
- [22] Engines For Biogas, by Klaus Von Mitzlaf, A Publication Of the Deutchses Zentrum fur Entwicklungstechnologien-Gate, 1998

Lampiran 1: Tabel Eskalasi Harga Tanah

Hrg tnh (NIOP)	30000/m ²		33000/m ²		36000/m ²		38000/m ²		40000/m ²		42000/m ²		42000/m ²	
	Gas Engine	Microturbin Engine												
Biaya Investasi pembangkit Biogas (Rp)	1.896.195.790	1.896.195.790	1.900.190.569	1.900.190.369	1.904.184.947	1.904.184.947	1.908.179.526	1.908.179.526	1.912.174.105	1.912.174.105	1.916.168.684	1.916.168.684	1.920.163.263	1.920.163.263
Biaya Investasi mesin (Rp)	2.025.000.000	1.620.000.000	2.025.000.000	1.620.000.000	2.025.000.000	1.620.000.000	2.025.000.000	1.620.000.000	2.025.000.000	1.620.000.000	2.025.000.000	1.620.000.000	2.025.000.000	1.620.000.000
Total Investasi pembangkit listrik (Rp)	2.098.695.790	3.516.195.790	2.102.690.569	3.520.190.369	2.106.684.947	3.524.184.947	2.110.679.526	3.528.179.526	2.114.674.105	3.532.174.105	2.118.668.684	3.536.168.684	2.122.663.263	3.540.163.263
Annual cash flow revenues (+)														
Biaya O & M pembangkit Biogas (Rp)	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	
Biaya O & M mesin (Rp)	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076	281.536.038	
Total Annual expenses	367.936.038	237.700.076	367.936.038	237.700.076	367.936.038	237.700.076	367.936.038	237.700.076	367.936.038	237.700.076	367.936.038	237.700.076	367.936.038	
Annual cash flow revenues (+)														
Biaya T L yang dihasilkan (Rp)	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	
Biaya Emisi GHG (Rp)	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	
Total Annual Revenue	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	
Life time	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Interest	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	
Depresiasi	104.934.389	175.809.789	105.134.518	176.009.518	105.334.247	176.209.247	105.533.976	176.408.976	105.733.705	176.608.705	105.933.434	176.808.434	106.133.163	177.007.163
Pay Back Period	4.19	6.68	4.20	6.69	4.20	6.69	4.21	6.70	4.21	6.71	4.22	6.72	4.23	6.73
NPV (10%)	1.952.375.441	827.289.808	1.948.380.862	823.295.229	1.944.386.283	819.300.650	1.940.391.704	815.306.071	1.936.397.125	811.311.492	1.932.402.546	807.316.913	1.928.407.968	803.322.334
IRR	16.47%	5.44%	16.42%	5.42%	16.37%	5.39%	16.32%	5.37%	16.26%	5.34%	16.21%	5.32%	16.16%	5.29%

Hrg tnh (NIOP)	33000/m ²		36000/m ²		38000/m ²		40000/m ²		42000/m ²	
	Gas Engine	Microturbin Engine								
Biaya Investasi pembangkit Biogas (Rp)	1.920.163.263	1.920.163.263	1.924.157.842	1.924.157.842	1.928.152.421	1.928.152.421	1.932.147.000	1.932.147.000	1.936.141.579	1.936.141.579
Biaya Investasi mesin (Rp)	2.025.000.000	1.620.000.000	2.025.000.000	1.620.000.000	2.025.000.000	1.620.000.000	2.025.000.000	1.620.000.000	2.025.000.000	1.620.000.000
Total Investasi pembangkit listrik (Rp)	2.122.663.263	3.540.163.263	2.126.657.842	3.544.157.842	2.130.652.421	3.548.152.421	2.134.647.000	3.552.147.000	2.138.641.579	3.556.141.579
Annual cash flow revenues (+)										
Biaya O & M pembangkit Biogas (Rp)	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000
Biaya O & M mesin (Rp)	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076
Total Annual expenses	367.936.038	237.700.076	367.936.038	237.700.076	367.936.038	237.700.076	367.936.038	237.700.076	367.936.038	237.700.076
Annual cash flow revenues (+)										
Biaya T L yang dihasilkan (Rp)	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800
Biaya Emisi GHG (Rp)	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800
Total Annual Revenue	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800
Life time	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Interest	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Depresiasi	106.133.163	177.007.163	106.332.892	177.207.892	106.532.621	177.407.621	106.732.350	177.607.350	106.932.079	177.807.079
Pay Back Period	4.24	6.72	4.24	6.73	4.25	6.74	4.26	6.75	4.27	6.76
NPV (10%)	1.928.407.968	803.322.334	1.924.413.389	799.327.755	1.920.418.810	795.333.176	1.916.424.231	791.338.597	1.912.429.652	787.344.018
IRR	16.16%	5.29%	16.11%	5.27%	16.06%	5.24%	16.01%	5.22%	15.95%	5.19%

Lampiran 2: Tabel Eskalasi Tarif Listrik

Kenaikan tarif listrik Rp/kWh	50%		10%		2%		30%		40%		50%	
	Gas Engine	Microturbin Engine										
Cash Flow												
Biaya Investasi pembangkit Biogas (Rp)	1.896.195.790	1.896.195.790	1.896.195.790	1.896.195.790	1.896.195.790	1.896.195.790	1.896.195.790	1.896.195.790	1.896.195.790	1.896.195.790	1.896.195.790	1.896.195.790
Biaya Investasi mesin (Rp)	202.500.000	1.620.000.000	202.500.000	1.620.000.000	202.500.000	1.620.000.000	202.500.000	1.620.000.000	202.500.000	1.620.000.000	202.500.000	1.620.000.000
Total Investasi pembangkit listrik (Rp)	2.098.695.790	3.516.195.790	2.098.695.790	3.516.195.790	2.098.695.790	3.516.195.790	2.098.695.790	3.516.195.790	2.098.695.790	3.516.195.790	2.098.695.790	3.516.195.790
Annual cash flow expenses (-)	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000
Biaya O & M mesin (Rp)	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076
Total Annual expenses	367.936.038	237.700.076	367.936.038	237.700.076	367.936.038	237.700.076	367.936.038	237.700.076	367.936.038	237.700.076	367.936.038	237.700.076
Annual cash flow revenues (+)	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000	86.400.000
Biaya O & M pembangkit Biogas (Rp)	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076
Total Annual revenues	367.936.038	237.700.076	367.936.038	237.700.076	367.936.038	237.700.076	367.936.038	237.700.076	367.936.038	237.700.076	367.936.038	237.700.076
Biaya T.L yang dihasilkan (Rp)	1.390.301.423	1.222.626.880	1.477.195.262	1.299.041.060	1.564.089.101	1.375.455.240	1.650.982.940	1.451.869.420	1.737.876.779	1.528.283.600	1.814.762.940	1.528.283.600
Biaya Emisi CHG (Rp)	1.390.301.423	1.222.626.880	1.477.195.262	1.299.041.060	1.564.089.101	1.375.455.240	1.650.982.940	1.451.869.420	1.737.876.779	1.528.283.600	1.814.762.940	1.528.283.600
Total Annual Revenue	1.390.301.423	1.222.626.880	1.477.195.262	1.299.041.060	1.564.089.101	1.375.455.240	1.650.982.940	1.451.869.420	1.737.876.779	1.528.283.600	1.814.762.940	1.528.283.600
Life time	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Interest	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Depresiasi	104.934.789	175.809.789	104.934.789	175.809.789	104.934.789	175.809.789	104.934.789	175.809.789	104.934.789	175.809.789	104.934.789	175.809.789
Pay Back Period	2,05	3,57	1,89	3,31	1,75	3,09	1,64	2,90	1,53	2,72	1,43	2,72
NPV (10%)	6.391.032.851	4.730.631.751	7.130.809.086	5.381.188.241	7.871.585.320	6.081.745.732	8.610.361.555	6.682.502.722	9.350.137.790	7.332.859.713	9.561.256.616	7.332.859.713
IRR	43.17%	21.77%	47.39%	24.15%	51.59%	26.49%	55.77%	28.80%	59.95%	31.08%	63.92%	31.08%

Lampiran 3: TABEL ESKALASI BIAYA O & M PEMBANGKIT BIOGAS

Cash Flow	60%		70%		80%		90%		100%	
	Gas Engine	Microturbin Engine								
Biaya Investasi pembangkit Biogas (Rp)	1.896.195.790	1.896.195.790	1.896.195.790	1.896.195.790	1.896.195.790	1.896.195.790	1.896.195.790	1.896.195.790	1.896.195.790	1.896.195.790
Biaya Investasi mesin (Rp)	202.500.000	1.620.000.000	202.500.000	1.620.000.000	202.500.000	1.620.000.000	202.500.000	1.620.000.000	202.500.000	1.620.000.000
Total Investasi pembangkit listrik (Rp)	2.098.695.790	3.516.195.790	2.098.695.790	3.516.195.790	2.098.695.790	3.516.195.790	2.098.695.790	3.516.195.790	2.098.695.790	3.516.195.790
Annual cash flow expenses (+)	138.240.000	138.240.000	146.880.000	146.880.000	155.520.000	155.520.000	164.160.000	164.160.000	172.800.000	172.800.000
Biaya O & M pembangkit Biogas (Rp)	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076	281.536.038	151.300.076
Total Annual expenses	419.776.038	289.540.076	428.416.038	298.180.076	437.056.038	306.820.076	445.696.038	315.460.076	454.336.038	324.100.076
Annual cash flow revenues (+)	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800
Biaya T. yang dihasilkan (Rp)										
Biaya Emisi GHG (Rp)	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800	868.938.390	764.141.800
Total Annual Revenue	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Life time	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Interest	104.934.789	175.809.789	104.934.789	175.809.789	104.934.789	175.809.789	104.934.789	175.809.789	104.934.789	175.809.789
Depresiasi	4.19	6.68	4.26	6.79	4.34	6.91	4.42	7.03	4.50	7.15
Pay Back Period	1.952.375.441	827.289.808	1.873.787.295	748.701.661	1.795.199.148	670.113.515	1.716.661.002	591.525.369	1.638.022.855	512.937.222
NPV (10%)	16.47%	5.44%	15.95%	5.04%	15.43%	4.63%	14.90%	4.21%	14.36%	3.78%
IRR										