

**KINERJA TEKNIS DAN EKONOMIS BIOGAS SKALA RUMAH
TANGGA DENGAN TIPE *FLOATING DRUM***

(Skripsi)

**Oleh:
Deny Sanjaya Irawan**



**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2019**

ABSTRACT

TECHNICAL AND ECONOMIC PERFORMANCE OF HOUSEHOLD BIOGAS SCALE WITH *FLOATING DRUM* TYPE

By

Deny Sanjaya Irawan

In the rapid progress of the need for fuel and gas which is increasing in almost all sectors, it is necessary to have an alternative renewable energy as a substitute.

This study aims to determine the performance of biogas digesters based on biogas production, total solid, volatile solid and methane composition in biogas and to determine the volume of household scale biogas productivity made from cow dung with floating drum type. This study used a semi-continuous type digester with a working volume of 2020 liters. This research was conducted in February to May 2019 by observing in the Agricultural Machine Tool Power Laboratory (AMTPL), Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Lampung University and *Floating Drum* digester in Rejomulyo Village.

This study used a loading rate of 60 liters/day with a 1500 kg starter from a mixture of cow dung and water with a ratio of 1: 1. The parameters observed included pH, morning and evening temperature, gas volume, biogas productivity, and biogas quality. The results showed that the average pH was 7,7 with measurements using a pH meter. The average morning and evening temperatures are 26,97⁰C and 31,97⁰C with measurements using a thermometer. The average biogas production is 1,3 m³ or equal to 1300 liters with biogas productivity of 466,44 L/kg VSr. The average VS_{in} 97,78% and TS_{in} 96,85% the magnitude of

the substrate composition is VS_r 56,28%. The results of faecal output were analyzed from N, P, K and obtained N = 4,55%, P = 2,61%, and K = 3,89%. The high levels of methane (CH_4) content in the biogas (50,278%) indicate a good quality of biogas that producing a bright blue flame.

Keywords: Biogas, cow dung, loading rate, productivity, floating drum.

ABSTRAK

KINERJA TEKNIS DAN EKONOMIS BIOGAS SKALA RUMAH TANGGA DENGAN TIPE *FLOATING DRUM*

By

Deny Sanjaya Irawan

Dalam kemajuan yang begitu pesat kebutuhan bahan bakar dan gas semakin meningkat hampir semua sektor maka perlu adanya suatu energi alternatif terbarukan sebagai pengantinya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja digester biogas berdasarkan produksi biogas, total *solid*, *volatile solid* dan komposisi metana pada biogas dan untuk mengetahui volume produktivitas biogas skala rumah tangga berbahan baku kotoran sapi dengan tipe *Floating Drum*. Penelitian ini menggunakan digester tipe semi kontinyu dengan volume kerja 2020 liter. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari sampai bulan Mei 2019 dengan mengamati di Laboratorium Daya Alat Mesin Pertanian (DAMP), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung dan digester *Floating Drum* di Desa Rejomulyo.

Pada penelitian ini dengan *loading rate* 60 liter/hari dengan starter 1500 kg dari campuran kotoran sapi dan air dengan perbandingan 1:1. Parameter yang diamati meliputi pH, Suhu pagi dan sore, volume gas, produktivitas biogas, dan kualitas biogas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata pH 7,7 dengan pengukuran menggunakan pH meter. Suhu rata-rata pagi dan sore hari adalah 26,97⁰C dan 31,97⁰C dengan pengukuran menggunakan termometer. Rata-rata produksi biogas

adalah 1,3 m³ atau sama dengan 1300 liter dengan menggunakan alat ukur flowmeter, produktivitas biogas sebesar 466,44 L/kg VS_r. Rata-rata VS_{in} % 97,78 dan TS_{in} % 96,85 besarnya dekomposisi substrat adalah VS_r % 56,28. Hasil output feses dianalisis dari N ,P, K nya didapatkan angka N = 4,55%, P = 2,16%, dan K = 3,89%. Kualitas biogas melalui uji nyala menghasilkan warna nyala api biru cerah, mengindikasikan kadar metana yang tinggi dengan (CH₄) yang dihasilkan sebesar 50,278% dan (CO₂) sebesar 38,846%.

Kata Kunci : Biogas, kotoran sapi, *loading rate*, produktivitas, *floating drum*.

**KINERJA TEKNIS DAN EKONOMIS BIOGAS SKALA RUMAH
TANGGA DENGAN TIPE *FLOATING DRUM***

Oleh

Deny Sanjaya Irawan

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

Pada

Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

Judul Skripsi : **KINERJA TEKNIS DAN EKONOMIS BIOGAS
SKALA RUMAH TANGGA DENGAN TIPE
FLOATING DRUM**

Nama Mahasiswa : **Deny Sanjaya Irawan**

No. Pokok Mahasiswa : 1514071064

Jurusan : Teknik Pertanian

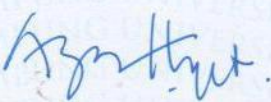
Fakultas : Pertanian




Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
NIP 19650527 199303 1 002


Winda Rahmawati, S.T.P., M.Si., M.Sc.
NIP 19890520 201504 2 001

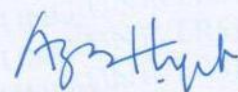
2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian


Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
NIP 19650527 199303 1 002

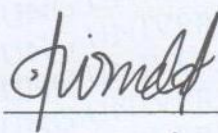
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

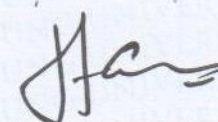
Ketua : **Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.**



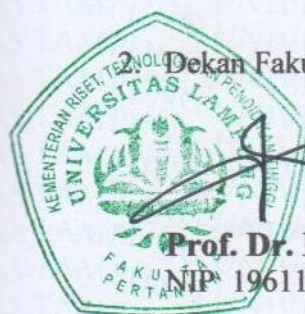
Sekretaris : **Winda Rahmawati, S.T.P., M.Si., M.Sc.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Ir. Tamrin, M.S.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.

NIP 19611020 198603 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **30 September 2019**

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

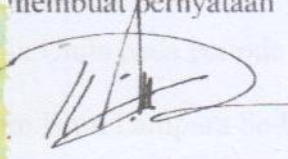
Saya adalah **Deny Sanjaya Irawan** NPM 1514071064. Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, 1) **Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.** dan 2) **Winda Rahmawati, S.T.P.,M.Si.,M.Sc.** berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggung jawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 15 Oktober 2019

Yang membuat pernyataan




Deny Sanjaya Irawan
NPM. 1514071064

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kotabumi, pada tanggal 09 Desember 1996, sebagai anak ketiga dari empat bersaudara keluarga Bapak Herwan Mega, SE dan Ibu Syamsuna, SH. Penulis menyelesaikan pendidikan mulai dari Pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) di TK Aisyah Kotabumi, diselesaikan pada tahun 2003.

Madrasah Ibtidayah Negeri 1 Kotabumi pada tahun 2003-2009, MTS Negeri 1 Kotabumi, pada tahun 2009-2012, SMA Negeri 1 Kotabumi pada tahun 2012-2015 dan terdaftar sebagai mahasiswa S1 Teknik Pertanian di Universitas Lampung pada tahun 2015.

Penulis bergabung dalam organisasi tingkat jurusan sebagai anggota Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) Fakultas Pertanian. Penulis bergabung dalam Unit Kegiatan Mahasiswa Sepak Bola, Tapak Suci sebagai anggota. Penulis bergabung dalam Unit Kegiatan Mahasiswa eksternal Ikam Lampura. Penulis Menjabat Sebagai Ketua Distrik Unila pada periode 2016-2017 dan Penulis Menjabat Sebagai Wakil Ketua Umum Ikam Lampura Se-Universitas di Lampung periode 2018-2019 dan sebagai anggota Camproduction.

Pada bidang Akademik penulis pernah menjadi asisten dosen pada mata kuliah Alat dan Mesin Pertanian. Pada tahun 2018, penulis pernah menjadi asisten dosen Rekayasa Energi Terbarukan. Pada tahun 2019, penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Tematik periode I tahun 2018 di Desa Gunung Labuhan Kecamatan Sungkai Selatan Kabupaten Lampung Utara dan melaksanakan Praktik Umum (PU) di Pengusaha Bapak Bandi, Yogyakarta dengan judul laporan “Budidaya Tanaman Tomat dilahat Berpasir Bantul, Yogyakarta”. Penulis berhasil mencapai gelar Sarjana Teknologi Pertanian (S.T.P.) S1 Teknik Pertanian pada tahun 2019 dengan menghasilkan skripsi yang berjudul “Kinerja Teknis Dan Ekonomis Biogas Skala Rumah Tangga dengan Tipe *Floating Drum* ”.

Persembahan

*"Kupersembahkan Karya Ini Untuk Keluargaku Tercinta
Bapak Herwan Mega, SE dan ibu Syamsuna, SH
Kakakku Syandri Irawan dan Sefriyadi Irawan
adikku Hersya Syantia Mega
Ayuk ipar Septaria Purwasih dan Keminan Holati*

Serta

*"Kepada Almamater Tercinta"
Teknik Pertanian Universitas Lampung 2015
UKM Sepak Bola Unila
UKM Tapak Suci
Ikam Lampura*

Ucapan Terima Kasih

**Penelitian ini Dibiayai Sebagian oleh Kegiatan Pengabdian Masyarakat
Atas Nama Dr. Siti Suharyatun, S.TP.,M.Si.
Nomor Kontrak 1852/UN26.21/PM2018**

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“Kinerja Teknis Dan Ekonomis Biogas Skala Rumah Tangga Dengan Tipe *Floating Drum*”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian (S.T.P) di Universitas Lampung.

Penulis memahami dalam penyusunan skripsi ini begitu banyak cobaan, suka dan duka yang dihadapi, namun berkat ketulusan doa, semangat, bimbingan, motivasi, dan dukungan orang tua serta berbagai pihak sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Maka pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Prof. Dr. Irwan Sukri Banuwa, M.Si. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Dr. Ir. Agus Haryanto M.P. selaku ketua jurusan Teknik Pertanian, sekaligus Pembimbing Akademik dan Dosen Pembimbing Utama yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing, memotivasi, dan memberikan saran dalam proses penyusunan skripsi ini.

3. Winda Rahmawati, S.T.P., M.Si., M.Sc. selaku dosen Pembimbing Kedua, yang telah memberikan bimbingan dan saran sehingga terselesaikannya skripsi ini.
4. Dr. Ir. Tamrin, M.S. selaku pembahas yang telah memberikan saran masukan, dan motivasinya dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Kedua orang tua dan kakakku serta adikku yang sangat saya cintai. Papa Herwan Mega, SE, mama Syamsuna, SH., Kakakku kanda Syandri Irawan , Uda Sefriyadi Irawan dan Adikku Hersya Syantia Mega dan Teman-teman yang telah memberikan dukungan, motivasi dan doa.
6. Firman Kusuma selaku tim penelitian biogas dan mahasiswa Teknik Pertanian angkatan 2015 yang telah memberikan doa serta semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Bapak Sariyun selaku warga dan sekaligus pemilik biogas di desa rejomulyo kecamatan jati agung yang telah membantu dalam merawat digester sehingga penelitian ini dapat selesai.
8. Semua sahabat-sahabat kostan, kontrakan, dan perumahan saat ini yang telah memberikan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang ikut berkontribusi dalam penelitian yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam skripsi ini. Kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Bandar Lampung, 15 Oktober 2019
Penulis,

Deny Sanjaya Irawan
NPM. 1514071064

DAFTAR PUSTAKA

	Halaman
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Keadaan Energi Fosil Indonesia.....	5
2.2 Energi dan Pertumbuhan Ekonomi	6
2.3 Energi alternatif terbarukan.....	8
2.4 Biogas.....	9
2.5 Bakteri Metanogenik	12
2.6 Gas Metana.....	13
2.7 Limbah Kotoran Sapi	14
2.8 Biodigester Biogas	15
2.9 Faktor-Faktor Penting Dalam Produksi Biogas.	17
2.9.1 Temperatur	18
2.9.2 pH	18

2.9.3 Rasio C-N	19
2.9.4 Laju Pembebanan atau <i>Loading Rate</i>	19
2.9.5 Jenis Substrat	20
2.10 Bidang Ekonomi Biogas.	21
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Waktu dan Tempat	23
3.2 Alat dan Bahan	23
3.3 Metode Penelitian.....	23
3.4 Prosedur Penelitian.....	24
3.4.1 Persiapan Alat	26
3.4.2 Persiapan Bahan	26
3.5 Parameter Pengamatan	26
3.5.1. Pengukuran Kadar Air, TS dan VS	27
3.5.2 Pengukuran <i>C/N ratio</i>	27
3.5.3. Pengukuran pH dan Temperatur.....	28
3.5.4. Pengukuran Volume Biogas.....	28
3.5.5. Pengukuran Produktivitas Biogas	29
3.5.6. Kualitas Biogas	30
3.5.7 Jumlah Substrat.....	30
3.5.8 Analisis Ekonomi Teknologi Pengolahan limbah (Biogas).....	30
3.6 Analisis Data	32
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian	33
4.2 Karakteristik Digester	34
4.3 Karakteristik Substrat	36
4.4 C/N rasio	38
4.5 Periode Startup (Adaptasi)	40
4.6 Derajat Keasaman (pH).....	41
4.7 Temperatur	43
4.8 Penurunan <i>Volatile Solid</i> (VS)	45

4.9 Produksi Biogas.....	47
4.10 Produktivitas Biogas	51
4.11 Kualitas Biogas	52
4.12 Aspek Teknis Teknologi Biogas	57
4.13 Produksi Pupuk	60
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	67
LAMPIRAN.....	71
Tabel 16-18	72
Gambar 16-38.....	75

DAFTAR TABEL

Tabel	Teks	Halaman
1.	Produksi Biogas Dari Berbagai Macam Substrat.....	21
2.	Format Analisis Margin Kotor	32
3.	Karakteristik Substrat.....	37
4.	Analisis C/N rasio Kotoran Sapi Input dan Output.....	39
5.	Rasio Karbon dan Nitrogen (C/N) Beberapa Bahan Organik	40
6.	Penurunan <i>Volatile Solid</i> atau Vsremove.....	46
7.	Volume Biogas harian yang digunakan	48
8.	Nilai kesetaraan 1 m ³ Biogas dan Energi yang Dihasilkan	50
9.	Produktivitas Biogas	51
10.	Kandungan Metana yang terdapat didalam Biogas.....	53
11.	Komposisi Gas yang Terdapat dalam Biogas	54
12.	Biaya Bahan dan Instalasi Biogas	59
13.	Hasil Pengujian Kandungan N,P,K dari Pengeluaran Digester Biogas	61
14.	Hasil pupuk N,P,K dari pengeluaran digester biogas/bulan	61
15.	Produksi Pupuk Cair Keluaran Biogas dalam Sebulan	63
16.	Analisis Margin Kotor Teknologi Biogas (Rp/bulan).....	64
<i>Lampiran</i>		
17.	Suhu Harian Pagi Hari dan Sore Hari	72
18.	pH Harian Digester	73
19.	Produksi Biogas Harian (m ³)	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Teks	Halaman
1.	Diagram Alir Proses Fermentasi Anaerobik	11
2.	Diagram Alir Prosedur penelitian	25
3.	Reaktor Biogas	26
4.	Pengukuran Volume Biogas	29
5.	Reaktor Biogas Tipe <i>Floating Drum</i>	34
6.	Grafik pH Meter Harian	42
7.	Grafik Suhu Rata-Rata	43
8.	Grafik Suhu Harian pada Pagi dan Sore hari	45
9.	Grafik Pengaruh jumlah substrat kotoran sapi terhadap produksi biogas ...	49
10.	Kadar Metana yang terdapat dalam Biogas	53
11.	Uji nyala hari ke 10	56
12.	Uji nyala hari ke 18	56
13.	Uji nyala hari ke 20	56
14.	Uji nyala hari ke 30	56
<i>Lampiran</i>		
15.	Sapi Milik Petani.....	75
16.	Kotoran Sapi.....	75
17.	Penempatan Digester.....	76
18.	Proses Pemasukan Feses ke Ruang Digester	76
19.	Proses Pengadukan Feses Sapi dengan Air dengan Perbandingan 1:1	77
20.	Digester Setelah dimasukin Drum	77
21.	Tempat Input Feses	78
22.	Saluran Pembuangan (output)	78

23. Setelah Pemasangan Saluran Instalasi	79
24. Hasil Gas Pertama	79
25. Pengukuran Ph	80
26. Pengukuran Temperature	80
27. Kotoran Sapi yang akan dimasukan	81
28. Pengadukan Campuran air+feses	81
29. Campuran Feses dan Air	82
30. Pengendapan pada Digester	82
31. Pembersihan pada Digester	83
32. Pembocoran pada saluran instalasi.....	83
33. Hasil Analisis Metana	84
34. Hasil Analisis N, P dan K	85
35. Hasil Analisis C/N rasio Output.....	86
36. Hasil Analisis C/N rasio Input	87
37. Gambar tampak isometri dari <i>Digester</i>	88

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kemajuan zaman yang begitu pesat, kebutuhan bahan bakar minyak dan gas semakin meningkat di hampir semua sektor, yaitu sektor industri, transportasi dan sektor rumah tangga. Tingkat konsumsi energi yang terus meningkat membuat cadangan bahan bakar fosil semakin menipis. Menurut Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT, 2015), bila diasumsikan tidak ada penemuan cadangan baru maka minyak bumi akan habis dalam 13 tahun, gas bumi 34 tahun dan batu bara 72 tahun, dengan melihat permasalahan energi fosil yang semakin menipis, maka perlu adanya suatu energi alternatif terbarukan yang dapat dipakai sebagai penggantinya dengan memanfaatkan lingkungan.

Upaya untuk menurunkan angka pemakaian energi dapat dilakukan dengan beberapa langkah, antara lain melalui efisiensi energi, konservasi energi dan diversifikasi energi. Salah satu cara untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak adalah dengan pengembangan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak. Pengembangan energi alternatif menekankan pada sumber daya yang dapat diperbaharui sebagai alternatif pengganti bahan bakar minyak dan salah satu sumber energi alternatif tersebut adalah biogas. Teknologi biogas merupakan teknologi pembentukan sumber

energi yang mudah diaplikasikan, ramah lingkungan dan bahan bakunya mudah didapat. Menurut (Simamora et al., 2006), beberapa bahan baku utama penghasil biogas yaitu limbah pertanian, peternakan, manusia dan limbah bahan organik lainnya. Limbah peternakan sapi adalah salah satu jenis bahan baku yang umum digunakan pada teknologi pembentukan biogas dan pada penelitian ini bahan baku utama yang dipakai adalah limbah peternakan sapi. Sapi mampu menghasilkan limbah lebih banyak dari hewan ternak lainnya. Menurut (Wahyuni, 2011), seekor sapi dapat menghasilkan kotoran segar 20—29 kg/hari.

Menurut (Wahyuni, 2011), Biogas adalah campuran gas yang dihasilkan oleh bakteri *metanogonik* yang terjadi pada material-material yang dapat terurai secara alami dalam kondisi *anaerob*. Pada umumnya biogas terdiri atas gas metana (CH_4) 50% - 70%, gas karbon dioksida (CO_2) 30% - 40%, hidrogen (H_2) 5% - 10%, dan gas-gas lainnya dalam jumlah yang sedikit. Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan maupun untuk menghasilkan listrik. Karena berbagai kelebihan yang dimiliki, saat ini banyak negara maju meningkatkan penggunaan biogas yang dihasilkan baik dari limbah cair maupun limbah padat.

Hubungan antara jumlah karbon dan nitrogen yang terdapat pada bahan organik yang dinyatakan dalam terminologi rasio karbon / nitrogen (C/N). Menurut , (Wahyuni, 2011), apabila rasio C/N sangat rendah, nitrogen akan bebas dan berakumulasi dalam bentuk amoniak (NH_4). NH_4 akan meningkatkan pH bahan di dalam *biodigester*.

Komponen yang sangat penting dalam pembuatan biogas adalah bahan dan *biodigester*. *Biodigester* adalah tempat terjadinya proses fermentasi bahan

organik menjadi biogas. *Biodigester* itu sendiri dibedakan dengan bentuk dan jenis alirannya, seperti tipe kubah, terapung, balon dan *fiber glass*. Dari jenis alirannya dibedakan, ada jenis *batch* dan *continues*. Tetapi pada umumnya banyak yang menggunakan jenis *continues*, karena dapat melakukan pengisian bahan organik setiap hari dan dapat menghasilkan biogas secara terus-menerus.

Pada penelitian ini yang digunakan adalah rancang bangun reaktor *floating drum* untuk pertama kali nya. Reaktor jenis terapung (*floating*) pertama kali dikembangkan di India pada tahun 1937, sehingga dinamakan dengan reaktor India. Memiliki bagian *biodigester* yang sama dengan reaktor kubah, tetapi perbedaanya terletak pada bagian penampung gas yang menggunakan peralatan bergerak dari drum. Keuntungan dari reaktor ini adalah dapat dilihat secara langsung volume gas yang tersimpan pada drum karena pergerakannya. Sementara itu, kerugiannya adalah biaya material kontruksi dari drum yang lebih mahal dan faktor korosi pada drum juga menjadi masalah, sehingga bagian penampung gas pada reaktor ini memiliki umur yang lebih pendek dibandingkan dengan menggunakan tipe kubah.

Terdapat banyak penelitian yang telah dilakukan namun pada penelitian ini merupakan pertama kali dilakukan dengan tipe *floating drum*. Penelitian yang telah dilakukan oleh (Junaidi, 2018), yang menggunakan campuran komposisi substrat kotoran sapi dan rumput gajah pada digester kontinyu dengan menggunakan digester galon gas akan ditambung di dalam balon. Namun pada penelitian ini menggunakan berbahan baku kotoran sapi dan air dengan digester drum bervolume 2000 L.

Pada penelitian ini, menggunakan tipe aliran *continues feeding*. *Biodigester* tipe ini adalah jenis *biodigester* yang pengisian bahan organiknya dilakukan setiap hari dalam jumlah tertentu. Pada pengisian awal, *digester* diisi penuh dan ditunggu sampai biogas diproduksi.

1.2 Rumusan Masalah

Melakukan evaluasi kinerja digester biogas skala rumah tangga tipe *floating drum* didasarkan pada hasil produksi biogas serta dapat melakukan evaluasi pada faktor-faktor penghambat pada biogas skala rumah tangga tipe *floating drum*.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui kinerja teknis digester biogas berdasarkan produksi biogas, produktivitas biogas, total solid, volatile solid, VS_{removal} dan kualitas biogas.
2. Mengetahui kinerja ekonomi berdasarkan biaya instalasi dan penghematan pada hasil biogas dengan tipe *Floating Drum*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini ialah dapat memberikan informasi serta tersedianya data mengenai biogas skala rumah tangga tipe *Floating Drum* dengan menghasilkan gas yang maksimum sehingga tipe ini dapat di terapkan di masyarakat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Keadaan Energi Fosil Indonesia

Kebutuhan energi Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk Indonesia. Rata-rata peningkatan kebutuhan energi tiap tahunnya sebesar 36 juta setara barrel minyak (SBM) dari tahun 2000 sampai 2014. Sementara cadangan energi tidak terbarukan, seperti minyak bumi, gas bumi, dan batu bara semakin menipis. Pengambilan minyak bumi yang dilakukan secara terus menerus menjadi penyebab kritisnya pasokan minyak yang ada di perut bumi.

Energi memiliki peranan penting dalam kehidupan manusia. Berbagai alat dan mesin pendukung dalam penggunaan energi seperti alat penerangan, mesin penggerak, peralatan rumah tangga dan mesin-mesin industri. Sumber energi yang digunakan sifatnya tidak dapat diperbaharui, seperti bahan bakar minyak, gas, mineral dan batu bara. Pemanfaatan energi yang tidak dapat diperbaharui dalam hal ini fosil secara berlebihan dapat menyebabkan krisis energi. Salah satu gejala krisis energi yaitu kelangkaan BBM seperti minyak tanah, bensin dan solar. Kelangkaan ini diakibatkan karena kebutuhan BBM selalu meningkat setiap tahunnya (Wahyuni, 2011),

Berdasarkan Rencana Strategis (Renstra) Kementerian ESDM Tahun 2015–2019, cadangan minyak bumi Indonesia sebesar 3,6 miliar barel diperkirakan akan habis dalam 13 tahun mendatang. Penyediaan energi primer di Indonesia saat ini masih didominasi oleh minyak, yang meliputi minyak bumi dan bahan bakar minyak (BBM).

Menurut Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT, 2015), bila diasumsikan tidak ada penemuan cadangan baru maka minyak bumi akan habis dalam 13 tahun, Gas bumi 34 tahun dan batu bara 72 tahun. Apabila masyarakat Indonesia tetap terpaku dengan energi fosil maka bukan tidak mungkin Indonesia akan menjadi gelap gulita dan terhentinya sektor-sektor yang memanfaatkan energi fosil. Masyarakat harus segera mengaplikasikan penemuan-penemuan mengenai energi alternatif terbarukan.

Fakta yang tidak bisa dihindari bahwa walaupun Indonesia merupakan negara penghasil minyak bumi, namun harus mengimpor minyak untuk memenuhi kebutuhan BBM. Solusi bagi krisis energi yang dialami Indonesia adalah adanya sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui. Sumber energi alternatif tersebut harus bisa menjadi bahan bakar ramah lingkungan, efektif, efisien dan mudah diakses oleh masyarakat luas.

2.2 Energi dan Pertumbuhan Ekonomi

Energi merupakan faktor produksi yang esensial dalam proses produksi. Semua produksi melibatkan transformasi atau pergerakan material melalui beberapa tahapan yang mana keseluruhan proses tersebut memerlukan energi. Energi tidak

hanya dipandang sebagai barang konsumsi semata, namun juga sebagai input yang penting bagi pengembangan serta kemajuan teknologi yang berperan signifikan bagi pembangunan ekonomi. Substitusi sarana produksi serta berbagai bentuk barang modal lainnya dengan tenaga kerja, begitu juga sebaliknya, merupakan bagian yang integral dari proses pembangunan ekonomi yang kesemuanya membutuhkan input energi. Oleh karenanya, konsumsi energi dapat dipandang sebagai penyebab dari pertumbuhan ekonomi (Stren, 2003).

Menurut (Fauzi, 2004), sumber daya energi merupakan sumber daya yang digunakan untuk menggerakkan energi melalui proses transformasi panas maupun transformasi energi lainnya. Berdasarkan ketersediaannya, sumber energi dibagi dua yaitu, energi fosil yang tidak dapat diperbarui (*nonrenewable energy*) seperti minyak bumi, gas bumi, batu bara, uranium, dan sebagainya; serta energi yang dapat diperbarui (*renewable energy*) seperti panas bumi, tenaga air, tenaga surya, tenaga angin, dan sebagainya. Bila dilihat berdasarkan nilai komersial, maka sumber energi terdiri atas energi komersial, non-komersial, dan energi baru.

Energi komersial adalah energi yang sudah dapat dipakai dan dapat diperdagangkan dalam skala ekonomis, sementara energi non-komersial adalah energi yang sudah dipakai dan dapat diperdagangkan tetapi tidak dalam skala ekonomisnya, misalnya tenaga surya dan tenaga angin. Energi baru adalah energi yang sudah dipakai tetapi sangat terbatas dan sedang dalam tahap pengembangan (*pilot project*). Energi ini belum dapat diperdagangkan karena belum mencapai skala ekonomis, misalnya tenaga samudera dan biomassa. Oleh sebab itu

pemanfaatan kotoran ternak sebagai bahan baku produksi biogas dapat dimanfaatkan.

2.3 Energi alternatif terbarukan

Saat ini manusia tidak dapat lagi mengandalkan energi fosil sebagai sumber energi utama. Semakin krisisnya energi fosil menyebabkan manusia harus memikirkan energi alternatif lain sebagai pengganti energi fosil. Sebelum kehabisan energi fosil, manusia harus sudah beralih menggunakan energi alternatif lain yang bisa diperbaharui.

Beberapa sumber energi alternatif yang ada adalah sebagai berikut:

1. Biomassa dan biodiesel.

Biomassa berasal dari bahan organik baik dari tumbuhan ataupun hewan yang kaya akan cadangan energi sehingga bisa dimanfaatkan sebagai penghasil panas, gerak atau sebagai pembangkit listrik. Biodiesel adalah pengganti minyak diesel sebagai sumber energi yang berasal dari tumbuhan, seperti minyak kelapa sawit atau minyak jarak pagar.

2. Tenaga air

Memanfaatkan air terjun atau gelombang air laut untuk menghasilkan energi dengan cara memutar turbin. Turbin yang berputar dapat menghasilkan listrik.

3. Tenaga angin

Tenaga angin dapat dimanfaatkan sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan turbin yang kemudian akan menghasilkan energi listrik.

4. Tenaga Surya

Energi surya dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik melalui sel surya. Pemanfaatan lainnya adalah untuk pemanas ruangan, atau pemanas air.

5. Tenaga Pemanas Bumi

Panas bumi juga bisa dimanfaatkan sebagai sumber pemutar turbin untuk menghasilkan energi listrik. Pemanfaatan panas bumi ini sebagai pembangkit tenaga panas bumi.

6. Biogas

Biogas merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat memenuhi kebutuhan energi alternatif. Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam keadaan anaerob (Wahyuni, 2011).

Indonesia memiliki potensi kekayaan alam yang sangat melimpah untuk menghasilkan sumber energi alternatif. Sudah banyak penelitian ilmiah yang dilakukan untuk menghasilkan energi alternatif. Kegiatan yang harus dilakukan sekarang adalah mengaplikasikan hasil penelitian tersebut untuk menghasilkan 8 energi alternatif yang harganya terjangkau oleh masyarakat (Simamora et al., 2006).

2.4 Biogas

Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri-bakteri secara anaerob atau kedap udara. Biogas dapat dihasilkan pada hari ke 4—5 sesudah *biodigester* terisi penuh dan mencapai puncaknya pada hari ke 20—25. Akan tetapi perlu juga dipertimbangan

ketinggian lokasi pembuatannya karena pada temperatur dingin biasanya bakteri lambat berproses sehingga biogas yang dihasilkan mungkin lebih lama.

Komponen biogas yang paling penting adalah gas metana, selain itu juga gas-gas lain yang dihasilkan dalam digester. Biogas yang dihasilkan oleh *biodigester* sebagian besar terdiri dari 54—70% metana (CH_4), 27—35% meliputi karbondioksida (CO_2), nitrogen (N_2) dan hidrogen (H_2), 0,1% karbon monoksida (CO), 0,1% oksigen (O_2) dan hidrogen sulfida (H_2S).

Pembentukan gas yang dilakukan oleh mikroba pada kondisi anaerob memiliki tahap proses perombakan selulosa hingga terbentuk gas, seperti ditampilkan pada Gambar 1

1. Hidrolisis

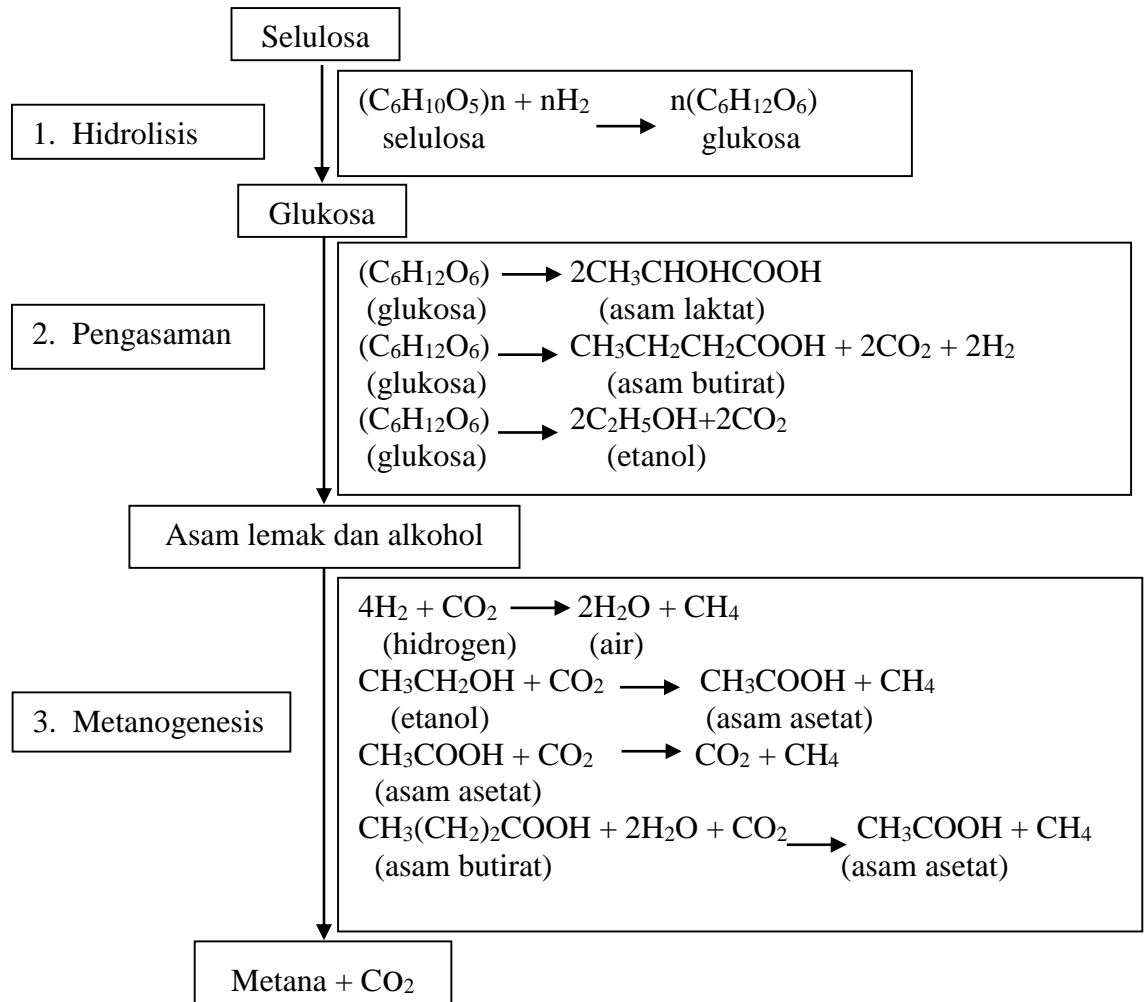
Pada tahap ini terjadi penguraian bahan-bahan organik mudah larut dan pencernaan bahan organik yang kompleks menjadi sederhana, perubahan struktur bentuk polimer menjadi bentuk monomer.

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 ini yaitu asam asetat, propionat, format, laktat, alkohol, dan sedikit butirrat, gas karbondioksida, hidrogen, dan amonia.

3. Metanogenesis

Pada tahap metanogenik terjadi proses pembentukan gas metan. Bakteri pereduksi sulfat juga terdapat dalam proses ini, yaitu mereduksi sulfat dan komponen sulfur lainnya menjadi hidrogen sulfida.



Gambar 1. Diagram Alir Proses Fermentasi Anaerobik

Prinsip teknologi biogas adalah proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa oksigen (anaerob) untuk menghasilkan campuran dari beberapa gas, seperti metana dan karbondioksida. Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan organik oleh aktivitas bakteri fermentatif, bakteri asetogen dan bakteri metanogen. Biogas memiliki kandungan nilai energi tinggi yang tidak kalah dari kandungan nilai energi bahan fosil. Oleh karena itu, biogas sangat cocok menggantikan minyak tanah, LPG dan bahan bakar fosil lainnya.

Sumber energi biogas memiliki keunggulan dibandingkan dengan sumber energi lainnya. Selain ramah lingkungan, biogas juga termasuk energi yang memiliki sifat *renewable* artinya biogas dapat diperbaharui. Solusi yang tepat untuk menjadi energi alternatif bagi sumber energi lain yang memang tidak dapat diperbaharui. Biogas juga tidak memiliki resiko meledak sehingga tidak berbahaya.

Beberapa keuntungan memanfaatkan biogas sebagai energi alternatif yaitu:

1. Menghasilkan energi yang bersih dengan nyala api berwarna biru.
2. Menghasilkan bahan bakar berkualitas tinggi yang dapat diperbaharui.
3. Dapat digunakan untuk berbagai macam pengaplikasian energi.
4. Tidak mudah meledak (Wahyuni, 2011).

Selain itu dari sisi lingkungan, biogas juga termasuk ramah lingkungan.

Berikut keunggulan dari sisi lingkungan:

1. Mengurangi polusi udara.
2. Memaksimalkan proses daur ulang.
3. Menurunkan emisi gas metana dan karbondioksida secara signifikan.
4. Memperkecil pencemaran air.
5. Tidak menimbulkan bau yang berbahaya bagi manusia (Wahyuni, 2011).

2.5 Bakteri Metanogenik

Mikroorganisme yang membantu proses fermentasi bahan organik hingga terbentuk biogas dikenal dengan sebutan bakteri metanogenik. Bakteri ini berfungsi merombak bahan organik dan menghasilkan gas metana dalam kondisi anaerobik. Proses dekomposisi anaerobik dibantu oleh sejumlah mikroorganisme,

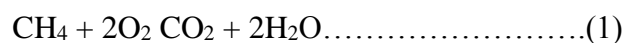
terutama bakteri metan. Suhu yang baik untuk pertumbuhan organisme tersebut adalah 30—50° C. Pada suhu tersebut mikroorganisme dapat bekerja secara optimal dalam merombak bahan-bahan organik (Simamora et al., 2006).

Mikroorganisme akan tumbuh dengan optimal apabila keadaan lingkungan mikronya sesuai, seperti suhu dan pH. Ketika pertumbuhan organisme optimal, maka semakin cepat perombakan bahan organik. Perombakan bahan organik ini menghasilkan gas metana dalam kondisi anaerobik.

2.6 Gas Metana

Gas metan memiliki berat jenis yaitu 55 g/liter. Hal ini menyebabkan gas metan cepat terbang ke udara sehingga lebih aman dari LPG. Rasio udara – biogas agar terjadi pembakaran sempurna berdasarkan kesetimbangan kimia adalah 9,5:1 hingga 10:1. Biogas memiliki kecepatan pembakaran yang sangat lambat dibandingkan LPG maupun bensin. Kecepatan pembakarannya adalah 290 m/s. Kemampu-bakarannya adalah 4% hingga 14%. Dua hal ini menjadikan biogas dapat memiliki efisiensi pembakaran yang tinggi. Biogas memiliki angka oktan yang tinggi yaitu 130. Sebagai perbandingan bensin memiliki angka oktan 90 hingga 94, sementara alkohol terbaik hanya 105 saja. Hal ini berarti biogas dapat digunakan pada mesin dengan perbandingan kompresi tinggi dan juga menghindarkan mesin dari terjadi *knocking* atau ketukan. Titik didih biogas adalah 300 °C (Kapdi et al., 2006).

Pembakaran satu molekul metana dengan oksigen akan melepaskan satu molekul CO₂ (karbondioksida) dan dua molekul H₂O (air).



Dibandingkan dengan bahan bakar hidrokarbon lain, pembakaran metana menghasilkan sedikit karbondioksida untuk setiap unit panas dilepaskan. Panas pembakaran metana sekitar 891 kJ/mol, lebih rendah dari pada hidrokarbon lainnya. Rasio panas pembakaran (891 kJ/mol) dengan massa molekul (16,0 g/mol) menunjukkan bahwa metana menjadi hidrokarbon paling sederhana, menghasilkan panas lebih banyak per unit massa (55,7 kJ/g) dari hidrokarbon kompleks lainnya. Pengujian menunjukkan, HHV = 23.890 Btu/lb atau 994,7 Btu/ft³ * LHV = 21518 Btu/lb atau 896,0 Btu/ft³ pada 68 °F dan 14,7 psia (Kapdi et al., 2006)

2.7 Limbah Kotoran Sapi

Sektor peternakan di Indonesia sebagian besar merupakan peternakan sapi. Peternakan sapi biasanya hanya skala kecil, dan masih menggunakan teknologi sederhana atau tradisional. Desain kandang maupun tempat pembuangan limbah kotorannya kadang masih sangat sederhana. Pembuangan limbah dari peternakan sapi ini biasanya hanya di sekitar kandang, dan bahkan di dalam kandang itu sendiri. Limbah dari peternakan ini belum dimanfaatkan secara maksimal Berdasarkan hasil penelitian, sebagian besar peternak mendayagunakan kotoran sapi sebagai pupuk organik (dengan cara menumpuk kotoran sapi atau dimasukkan ke tanah berlubang). Sebagian kecil petani membuang kotoran sapi begitu saja sehingga mencemari lingkungan tempat tinggal. Bahkan ada peternak yang membiarkan kotoran tersebut di kandang sapi sehingga sanitasi lingkungan kandang menjadi buruk yang dapat berdampak kepada kesehatan sapi (Budiyanto, 2013)

Satu ekor sapi rata-rata setiap hari menghasilkan 7 kg kotoran kering, sehingga kotoran sapi kering yang dihasilkan di Indonesia sebanyak 78,4 juta kg kotoran kering/hari. Di Lampung misalnya, dengan populasi sapi potong 598.740 ekor pada tahun 2015 sehingga setiap hari produksi kotoran kering sapi mencapai 4.191,19 ton. Sapi dengan bobot 450 kg menghasilkan limbah berupa feses dan urin lebih kurang 25 kg/hari (Budiyanto, 2013). Pemanfaatan kotoran sapi untuk pupuk organik sangat baik, namun pada proses pematangan pupuk ini yang belum sepenuhnya baik. Proses pematangan kotoran sapi untuk pupuk bila tidak menggunakan teknologi yang tepat akan menyebabkan pencemaran lingkungan. Pencemaran lingkungan dapat berupa pencemaran udara, air maupun tanah.

Teknologi pembuatan biogas dari kotoran sapi menghasilkan hasil akhir berupa gas metana untuk sumber energi dan padatan yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Proses pembuatan biogas ini kedap udara dan menggunakan sistem tertutup, maka sangat minim sekali pencemaran yang diakibatkan. Selain itu proses perombakan oleh mikroorganisme lebih cepat. Oleh karena itu teknologi biogas dapat diaplikasikan untuk mendapat nilai ekonomis yang lebih besar, daripada hanya menumpuk kotoran sapi di sekitar kandang.

2.8 Biodigester Biogas

Reaktor biogas di Indonesia sudah dikembangkan diberbagai daerah. Adapun pada prinsipnya terdapat empat tipe *digester* yang dikembangkan. Pada penelitian ini yang digunakan adalah rancang bangun Reaktor *floating drum*. Reaktor jenis terapung (*floating*) pertama kali dikembangkan di India pada tahun 1937, sehingga dinamakan dengan reaktor India. Memiliki bagian *biodigester* yang

sama dengan reaktor kubah, tetapi perbedaannya terletak pada bagian penampung gas yang menggunakan peralatan bergerak dari drum. Keuntungan dari reaktor ini adalah dapat dilihat secara langsung volume gas yang tersimpan pada drum karena pergerakannya. Sementara itu, kerugiannya adalah biaya material konstruksi dari drum yang lebih mahal dan faktor korosi pada drum juga menjadi masalah, sehingga bagian penampung gas pada reaktor ini memiliki umur yang lebih pendek dibandingkan dengan menggunakan tipe kubah.

Pada penelitian ini, menggunakan tipe aliran *continues feeding*. *Biodigester* tipe ini adalah jenis *biodigester* yang pengisian bahan organiknya dilakukan setiap hari dalam jumlah tertentu. Pada pengisian awal, *digester* diisi penuh dan ditunggu sampai biogas diproduksi.

➤ Perancangan *Biodigester*

Pada pembuatan *biodigester* skala rumah tangga tipe *floating drum* banyak hal yang harus diperhatikan, terutama volume bahan organik dan volume penampung gas.

A. Volume *Biodigester*

Ukuran *biodigester* dapat dinyatakan dengan volume *digester* (V_d). Secara umum V_d dapat dihitung menggunakan rumus (Suyitno et al., 2010) :

$$V_d = S_d \times RT$$

Dimana:

S_d = Jumlah masukan bahan baku setiap hari [m^3/hr]

RT = *Retention time* atau waktu bahan baku berada dalam *digester* [hari]

Pada umumnya RT dipengaruhi oleh temperatur operasi dari *biodigester*. Untuk Indonesia temperatur sepanjang musim hampir stabil, maka banyak *biodigester*

dibuat dan dioperasikan pada temperatur kamar (*unhead biodigester*). Sedangkan *RT* untuk *biodigester* sederhana tanpa pemanasan dapat dipilih 40 hari (Suyitno et al., 2010)

Pemasukan bahan baku tergantung seberapa banyak air harus dimasukkan ke dalam *biodigester*, sehingga kadar bahan baku padatnya sekitar 4-8 %.

$$Sd = \text{Padatan} \times \text{Air}$$

B. Volume Penampung Gas

Volume dari penampung gas dinyatakan dengan (V_g), dan untuk perancangan penampung gas (V_g) harus diperhatikan laju konsumsi gas puncak (V_{g^1}) dan laju konsumsi nol untuk waktu jangka lama (V_{g^2}).

$$V_{g^2} = G \times T_{zmax}$$

Dimana:

G = Produksi biogas (m^3/jam)

T_{zmax} = Waktu maksimum pada saat konsumsi biogas nol (jam)

V_{g^1} = Konsumsi gas maksimum per jam \times waktu konsumsi maksimum

2.9 Faktor-Faktor Penting Dalam Produksi Biogas.

Faktor penting dalam keberhasilan penerapan teknologi biogas meliputi faktor lingkungan digester. Faktor ini sangat penting karena apabila keadaan lingkungan tidak sesuai, maka produksi biogas akan terganggu, atau bahkan tidak berproduksi. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi produksi biogas yaitu sebagai berikut :

2.9.1 Temperatur

Faktor penting yang mempengaruhi proses fermentasi untuk menghasilkan biogas dalam digester anaerob adalah suhu atau temperatur. Temperatur berperan penting dalam mengatur jalannya reaksi metabolisme bagi bakteri. Temperatur lingkungan yang berada lebih tinggi dari temperatur yang dapat ditoleransi akan menyebabkan rusaknya protein dan komponen sel esensial lainnya sehingga sel akan mati. Demikian pula bila temperatur lingkungannya berada di bawah batas toleransi, transportasi nutrisi akan terhambat dan proses kehidupan sel akan terhenti, dengan demikian temperatur berpengaruh terhadap proses perombakan anaerob bahan organik dan produksi gas. Kondisi temperatur pada masing-masing digester tidak hanya berpengaruh terhadap tingginya produksi biogas namun berpengaruh juga terhadap kecepatan waktu untuk menghasilkan produksi pada nilai optimum (Darmanto et al., 2012).

Temperatur dapat menyebabkan bakteri metanogen tidak aktif. Produksi gas sangat bagus yaitu pada kisaran mesofilik, antara 25—30°C. Ketika temperature turun sampai 10°C produksi biogas menjadi terhenti. Penggunaan isolasi yang memadai pada digester membantu produksi gas khususnya di daerah dingin (Wahyuni, 2013). Menurut (Tuti, 2006), kondisi termofilik pembentukan biogas ideal pada kisaran 50—55°C.

2.9.2 pH

Derajat keasaman (pH) menunjukkan sifat asam atau basa pada suatu bahan. Derajat keasaman merupakan suatu ekspresi dari konsentrasi ion hidrogen, $[H^+]$ yang besarnya dinyatakan dalam minus logaritma dari konsentrasi ion hidrogen.

Faktor pH sangat berperan pada dekomposisi anaerob karena pada rentang pH yang tidak sesuai, mikroba tidak dapat tumbuh dengan maksimum dan bahkan dapat menyebabkan kematian. Pada akhirnya kondisi ini dapat menghambat perolehan gas metana. Derajat keasaman yang optimum bagi kehidupan mikroorganisme adalah 6,8—7,8 (Simamora et al., 2006).

2.9.3 Rasio C-N

Nilai atau bandingan antara unsur C (karbon) dengan unsur N (nitrogen) secara umum dikenal dengan nama rasio C/N. Perubahan senyawa organik menjadi gas metana dan gas karbondioksida memerlukan persyaratan rasio C/N antara 20–30. Bakteri anaerob mengkonsumsi karbon sekitar 30 kali lebih cepat dibanding nitrogen. Rasio optimum untuk digester anaerobik berkisar 20–30. Jika rasio C/N terlalu tinggi, nitrogen akan dikonsumsi dengan cepat oleh bakteri metanogen untuk memenuhi kebutuhan pertumbuhannya dan hanya sedikit yang bereaksi dengan karbon akibatnya gas yang dihasilkan menjadi rendah. Sebaliknya jika rasio C/N rendah, nitrogen akan dibebaskan dan berakumulasi dalam bentuk amonia (NH_4) yang dapat meningkatkan pH, jika pH lebih tinggi dari 8,5 akan menunjukkan pengaruh negatif pada populasi bakteri metanogen (Tuti, 2006). Sedangkan rasio C-N yang ideal untuk isian digester menurut (Wahyuni, 2011) adalah 25–30.

2.9.4 Laju Pembebanan atau *Loading Rate*

Laju pembebanan atau *loading rate* yaitu besaran yang menyatakan jumlah material organik dalam satu satuan volume yang diumpankan pada reaktor per satuan waktu. Pengaruh laju pembebanan terhadap produksi biogas yaitu bila

ditambahkan substrat pada digester maka substrat tersebut akan menjadi makanan bagi mikroorganisme sehingga biogas akan terus berproduksi. Perlakuan laju pembebanan berpengaruh terhadap produktivitas biogas, laju pembebanan yang lebih rendah menyebabkan waktu tinggal substrat lebih panjang sehingga dapat terdegradasi secara lebih maksimal dan menghasilkan produktivitas terbaik. (Wicaksono, 2016).

2.9.5 Jenis Substrat

Dalam pembuatan biogas dapat digunakan bahan-bahan organik yang tersedia melimpah di alam. Jenis substrat pembuatan biogas yang dapat digunakan bisa dari limbah peternakan, pertanian, industri dan limbah lainnya seperti sampah organik dan kotoran manusia. Pembuatan biogas yang umum dibuat dari limbah peternakan seperti sapi, babi, itik, domba dan lain sebagainya. Limbah pertanian sangat potensial sebagai bahan baku pembuatan biogas karena jumlahnya yang melimpah, seperti jerami padi, eceng gondok dan lain sebagainya. Meskipun kerap dianggap mencemarkan namun beberapa limbah industri dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku penghasil biogas, seperti limbah kelapa sawit dan limbah tahu. Selain limbah peternakan, pertanian, dan industri, masih ada limbah lainnya yang dapat diolah menjadi biogas, yaitu sampah organik dan kotoran manusia (Wahyuni, 2013). Potensi biogas dari berbagai limbah disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Produksi Biogas Dari Berbagai Macam Substrat

Kotoran Ternak	Produksi Biogas (L Per Kg Substrat)
Sapi	20 — 40
Babi	40 — 60
Ayam	65,5 — 115
Manusia	20 — 28
Sampah Sisa Panen	34 — 40
Eceng gondok (<i>Water Hyacinth</i>)	40 — 50

Sumber : (United Nations, 1984)

2.10 Bidang Ekonomi Biogas.

Indonesia mempunyai potensi ternak yang cukup banyak antara lain hewan besar seperti sapi potong dan sapi perah pada tahun 2011 populasinya mencapai 15.421.586 ekor (Direktorat Jendral, Peternakan, 2012). Mengingat ternak tersebut per ekor setiap hari dapat menghasilkan kotoran ternak sampai lebih dari 10 kg maka berpotensi menjadi sumber energi alternatif (biogas) untuk mengurangi ketergantungan masyarakat khususnya keluarga peternak terhadap bahan bakar minyak (BBM) dan listrik.

Kesadaran masyarakat akan manfaat biogas akan mengurangi dampak pada lingkungan meskipun tidak menjadi dampak yang berbahaya, tetapi akan lebih baik bila hal tersebut menjadi barang yang bisa bermanfaat bagi orang banyak. Seperti diolah menjadi biogas dan pupuk untuk pertanian. Perilaku masyarakat ini yang merespon positif dengan menggunakan biogas yang ramah lingkungan harus menjadi contoh, sehingga dengan adanya kelangkaan minyak bumi dan gas serta naiknya harga minyak bumi dan gas. Biogas bisa menjadi substitusi dari gas LPG yang ramah lingkungan serta hemat dalam pembuatannya.

Setiap rumah tangga di pedesaan sudah memiliki karakter wawasan lingkungan yang bisa lebih ditingkatkan lagi, bisa menjadi contoh bagi masyarakat kota lain, dan bisa menjadi pendukung dalam kegiatan ekonomi yang ramah lingkungan dan memanfaatkan lingkungan sekitar.

Pemanfaatan biogas dari aspek pendidikan ekonomi dari beberapa warga dalam pengguna biogas, yang berprofesi sebagai peternak sapi ini memanfaatkan kotoran sapi yang diolah menjadi biogas. Pemanfaatan biogas ini sangat menguntungkan bagi warga karena pemanfaatan biogas ini hemat dalam penggunaannya sehari-hari. Pemanfaatan biogas ini mengurangi pengeluaran rumah tangga dibandingkan bila menggunakan LPG 3 kg yang bisa digunakan hanya selama 5 hari. Menurut warga, biogas dikatakan hemat karena biaya yang dikeluarkan sangatlah murah karena hanya memanfaatkan kotoran sapi yang hanya diisi dengan air lalu dimasukkan ke *digester*, hanya satu jam kemudian sudah menjadi biogas dan bisa dimanfaatkan untuk memasak atau digunakan sebagai lampu penerangan. Pemanfaatan biogas juga digunakan mendukung pekerjaan salah satu warga untuk berkegiatan berproduksi.

Menurut (Elizabeth, 2011) bahwa biogas merupakan sumber energi terbarukan penting sebagai substitusi unggul dan mampu menyumbang andil untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar rumah tangga sehingga dengan adanya biogas ini bisa membantu setiap rumah tangga menjadi bahan bakar yang mampu menunjang kebutuhan sehari-hari.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari sampai dengan bulan Mei 2019 di Laboratorium Daya Alat Mesin Pertanian (DAMP), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung dan Desa Rejomulyo Kecamatan Jati Agung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat pembuat *digester* yaitu bor listrik, kunci pas, gergaji besi, pisau, penggaris, pipa pvc, paku, dan korek api. Perangkat lain yang digunakan dalam penelitian ini antara lain ember atau bak, oven, karung, timbangan analitik, pengaduk, cangkul, troli bangunan, pH meter, thermometer dan flowmeter.

Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kotoran sapi, dan air.

3.3 Metode Penelitian

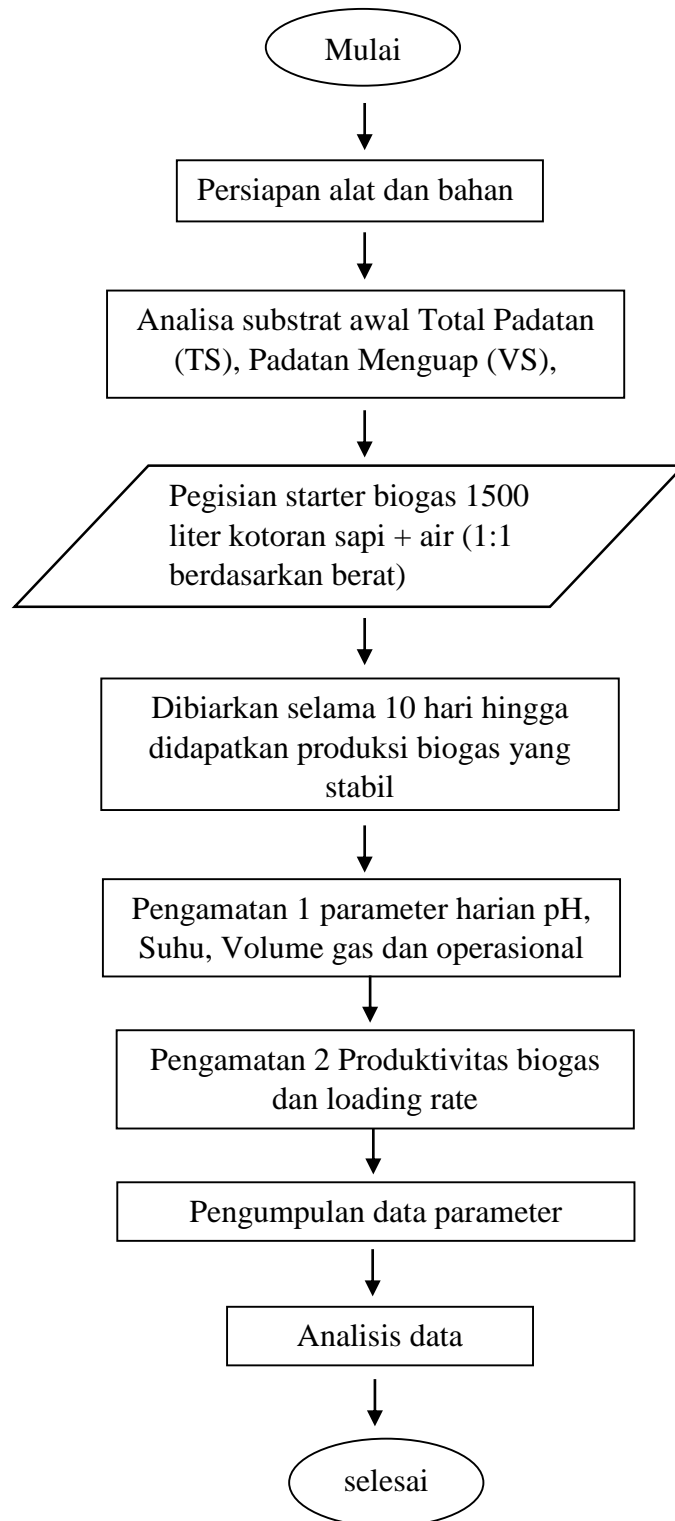
Bahan baku penelitian ini menggunakan kotoran sapi dan air. Untuk starter biogas dilakukan pengisian kotoran sapi dan air sebanyak kurang lebih 1500 liter

atau 75% dari drum yang berkapasitas 2000 L dengan perbandingan 1:1 berdasarkan TS. Pada biodigester memiliki diameter 139 cm dan ketinggian 173 cm, pada tinggi saluran pembuangan 140 cm dengan ukuran pipa pembuangan 3 inci dan ukuran pipa pada saluran instalasi biogas $\frac{1}{2}$ in.

Menurut hasil dari penelitian dengan perbandingan 1:2 pada kapasitas 200 liter. Pengambilan data dilakukan selama 37 hari dengan sebuah alat biodigester skala laboratorium tipe *floating drum* atau terapung yang terbuat dari bahan plastik dan *fiber glas* dengan diameter reaktor 52 cm dan tinggi 92 cm. Volume biogas yang dihasilkan selama 37 hari adalah 2,721 m³ dengan rata-rata pembentukan gas sebesar 0,074 m³/hari dan laju pembakaran 66,44 liter/jam (Mahardhian et al., 2017)

3.4 Prosedur Penelitian

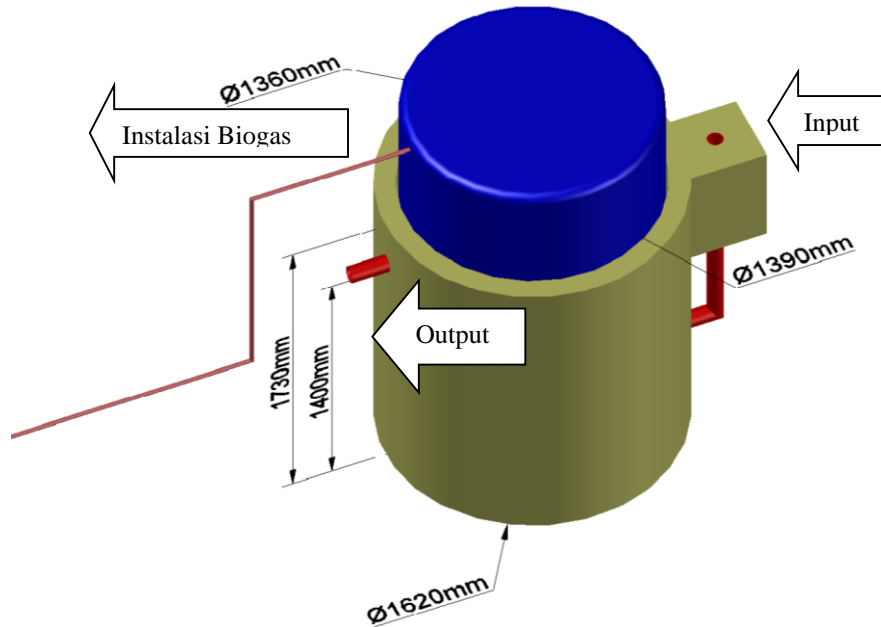
Prosedur penelitian dimulai dari langkah persiapan penelitian hingga mendapatkan data yang kemudian akan diolah untuk mendapatkan suatu kesimpulan dari penelitian yang akan dilakukan. Gambar 2 memperlihatkan prosedur yang telah disusun dan direncanakan dalam penelitian ini:



Gambar 2. Diagram alir Prosedur penelitian

3.4.1 Persiapan Alat

Digester yang digunakan merupakan jenis semi kontinyu dengan volume 2000 liter.



Gambar 3. Reaktor Biogas

3.4.2 Persiapan Bahan

Bahan yang digunakan berupa kotoran sapi, dan air. Bahan kotoran sapi didapatkan dari hasil ternak sapi warga masyarakat di Desa Rejomulyo Kecamatan Jati Agung.

3.5 Parameter Pengamatan

Pengamatan yang dilakukan meliputi kadar air (KA) *total solids* (TS), *volatile solids* (VS), C/N rasio, volume biogas, produktivitas biogas dan kualitas biogas. Kontrol digester juga diamati, meliputi parameter pH dan suhu dalam dan luar digester, dan volume biogas.

3.5.1. Pengukuran Kadar Air, TS dan VS

Analisa TS bertujuan untuk mengetahui komponen kering pada bahan, sedangkan VS dilakukan untuk mengetahui jumlah komponen organik dalam bahan. Analisa ini dilakukan pada substrat awal digester dan substrat keluaran setiap 7 hari sekali.

Pengukuran dilakukan di laboratorium Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kadar Air (KA)} = \frac{W1 - W2}{W2} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Total Solid (TS) sampel (gr)} = 100 \% - \text{KA} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{Volatile Solid (VS) sampel (gr)} = \frac{\text{TS} - W3}{\text{TS}} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

W1 = Berat basah (gr)

W2 = berat kering oven (gr)

W3 = Berat abu (gr)

Selisih dari VS awal dan akhir loading rate pada saat keadaan digester, diukur sebagai banyaknya bahan organik yang terdegradasi, dan dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{VS terdegradasi} = \text{VS}_{\text{in}} - \text{VS}_{\text{out}} \dots\dots\dots (5)$$

dimana :

VS_{in} = VS bahan isian

VS_{out} = VS bahan yang keluar dari digester

3.5.2 Pengukuran C/N ratio

Masing-masing bahan baku substrat juga dihitung rasio C/N nya. Perhitungan C/N bertujuan untuk mengetahui rasio C/N substrat pada setiap perlakuan.

Berikut adalah rumus rasio C/N substrat :

$$\text{Rasio C/N substrat} = \frac{(\text{TS}_{\text{KS}} \times \text{C}_{\text{KS}})}{(\text{TS}_{\text{KS}} \times \text{N}_{\text{KS}})} \dots\dots\dots(6)$$

dimana :

C_{KS} = Karbon Kotoran Sapi

N_{KS} = Nitrogen Kotoran Sapi

TS_{KS} = Total Solid Kotoran Sapi

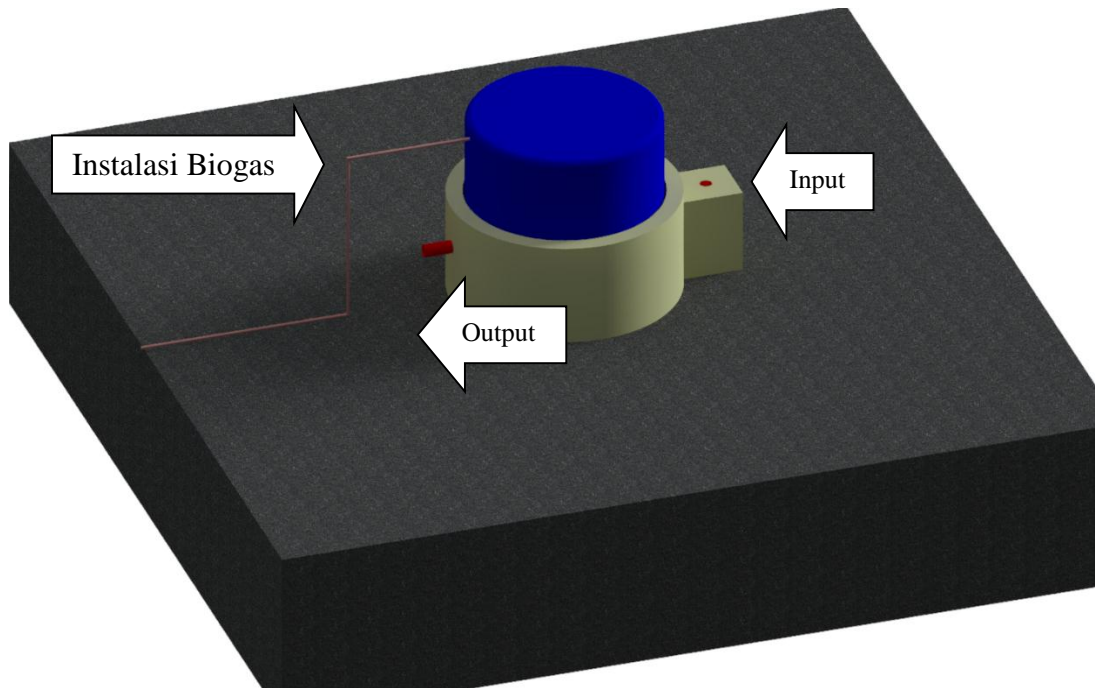
3.5.3. Pengukuran pH dan Temperatur

Pengukuran pH dan temperatur dilakukan setiap hari dan setiap pengamatan dilakukan pada waktu yang sama. Pengukuran pH substrat menggunakan pH meter, dengan cara mengambil sampel substrat, kemudian dilakukan pengukuran. Parameter temperatur yang diamati adalah temperature dalam digester dan di luar digester. Temperature dalam digester diamati dengan menggunakan alat *thermometer*. Cara mengukur temperature adalah *thermometer* dan ph meter dimasukkan ke dalam reaktor.

3.5.4. Pengukuran Volume Biogas

Pengukuran mulai ketika biogas telah terbentuk dan dilakukan setiap dua hari sekali semenjak pengisian awal. Cara mengukur volume biogas pada tipe *floating drum* ini yaitu dengan cara menggunakan alat Flow meter. Flow meter merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui aliran matrial (*liquid, gas, powder*) dalam suatu jalur aliran, yang meliputi kecepatan aliran atau flow rate dan total massa atau volume dari matrial dalam jangka waktu tertentu. Adapun caranya ialah dengan menyambungkan saluran dari instalasi biogas ke kompor disambungkan ke flowmeter maka volume yang terdapat dalam biogas akan terdeteksi dan

diketahui serta pada kompor akan menyala api. Cara melihat volume pada biogas dengan tipe ini ialah dengan cara melihat *drum* yang terapung dikarenakan adanya gas dapat dilihat dari Gambar 4.



Gambar 4. Pengukuran volume biogas

3.5.5. Pengukuran Produktivitas Biogas

Produktivitas biogas diukur sebagai hasil volume biogas per VS terdegradasi.

Pengukuran menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Produktivitas Biogas} = \frac{\text{Volume Biogas}}{\text{VS isian}} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana VS_{isian} adalah *volatile solid* isian

Pengukuran volume biogas pada tipe *floating drum* ini yaitu dengan cara menggunakan alat flow meter. Flow meter merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui aliran material (*liquid, gas, powder*) dalam suatu jalur aliran, yang meliputi kecepatan aliran atau flow rate dan total massa atau volume dari material

dalam jangka waktu tertentu. Setelah itu dibagi dengan VS_{isian} maka akan didapatkan produktivitas biogas.

3.5.6. Kualitas Biogas

Biogas yang dihasilkan diuji kandungan metananya di Laboratorium Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Pengujian kandungan metana dilakukan sebanyak dua kali pengujian untuk mengetahui kandungan metana yang terdapat dalam biogas.

3.5.7 Jumlah Substrat

Pemanfaatan biogas di masyarakat pedesaan merupakan suatu hal yang sangat bermanfaat bagi masyarakat peternak sapi dengan memanfaatkan kotoran ternak. Masyarakat dapat menghemat dengan menggunakan digester biogas, hal ini dapat mengurangi pengeluaran rumah tangga dibandingkan bila menggunakan LPG 3 kg yang bisa digunakan hanya selama 5 hari. Menurut warga, biogas dikatakan hemat karena biaya yang dikeluarkan sangatlah murah, karena hanya memanfaatkan kotoran sapi yang hanya diisi dengan air lalu dimasukkan ke dalam *digester* yang diisi disetiap harinya dengan perbandingan 1:1 kotoran sapi dan air, menunggu sekitar 1 jam kemudian sudah menjadi biogas dan bisa dimanfaatkan untuk memasak atau digunakan sebagai lampu penerangan. Hampir 75% produk biogas mengandung metana yang dapat digunakan sebagai bahan bakar (Widodo, 2006).

3.5.8 Analisis Ekonomi Teknologi Pengolahan limbah (Biogas)

Analisis ekonomi dilakukan untuk mengetahui besarnya pengaruh dengan adanya penerapan teknologi pengolahan ternak dengan menggunakan analisis margin

kotor layak atau tidaknya suatu teknologi diterapkan bisa dilihat melalui besar manfaat yang diterima dengan adanya teknologi ini dibandingkan dengan besar biaya tambahan atau kerugian dengan adanya teknologi tersebut. Manfaat yang diperoleh dapat dilihat dengan penghematan biaya penggunaan LPG yang harus dikeluarkan. Data yang diperlukan yaitu jenis bahan bakar yang digunakan oleh peternak sebelum menggunakan biogas, biaya yang dikeluarkan oleh peternak untuk membeli bahan bakar tersebut, serta lama penggunaan setiap bulannya. Kemudian membandingkan hal yang sama setelah menggunakan biogas. Penghematan biaya pengeluaran saat menggunakan bahan bakar sebelum dan sesudah menggunakan biogas. Perhitungan mengukur penghematan pengeluaran untuk konsumsi bahan bakar peternak dapat dimodelkan sebagai berikut :

$$\Delta P = C_0 - C_1$$

Keterangan :

ΔP = Penghematan pengeluaran untuk konsumsi bahan bakar (Rp/Bulan);

C_0 = Biaya untuk membeli bahan bakar sebelum biogas (Rp/Bulan); dan

C_1 = Biaya yang dikeluarkan setelah menggunakan biogas (Rp/Bulan)

Formula yang digunakan untuk menghitung margin kotor ialah sebagai berikut:

$$\text{Keuntungan Tambahan} = B - A$$

Keterangan:

A : Kerugian total

B : Keuntungan total

Keuntungan total : Biaya yang dihemat + penghasilan tambahan

Kerugian total : Biaya tambahan + penghasilan yang hilang

Biaya yang dihemat : Pengeluaran atau biaya yang dihemat akibat perubahan

Penghasilan tambahan : Tambahan pendapatan kotor atau penghasilan yang timbul akibat perubahan

Biaya tambahan : Perubahan atau biaya tambahan yang terjadi karena adanya perubahan metode produksi

Penghasilan yang hilang : Pendapatan yang hilang dan tidak diterima lagi sebagai akibat terjadinya perubahan metode produksi

Tabel 2 Format analisis margin kotor

Tambahan Keuntungan	Tambahan Kerugian
Biaya yang dihemat	Biaya tambahan
Penghasilan tambahan	Penghasilan yang hilang
Keuntungan total	Kerugian total
Keuntungan tambahan = Keuntungan total – Kerugian total	

Pengeluaran (output) kotoran sapi dari digester biogas tidak dibuang begitu saja akan tetapi dapat diolah menjadi pupuk pertanian (organik). Limbah biogas ini mempunyai nilai ekonomis yang jika diolah akan menjadi bahan baku untuk produk lain, paling tidak meskipun peternak hanya memakai sendiri limbah biogas untuk kebutuhan pupuk tanamannya pengaruh yang langsung terasa adalah makin rendahnya biaya tanam karena masyarakat tidak perlu membeli pupuk kimia yang yang cukup mahal.

3.6 Analisis Data

Dalam memudahkan pembaca memahami penelitian yang dilakukan, data yang diperoleh kemudian di analisa dengan menggunakan aplikasi microsoft excel dengan menggunakan Grafik *scatter* untuk mengetahui naik turunnya data yang diteliti pada produktivitas biogas.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian biogas skala rumah tangga dengan tipe *floating drum* ialah sebagai berikut :

1. Kinerja teknis yang dihasilkan pada digester ialah pada analisis metana (CH_4) yang dihasilkan cukup baik sebesar 50,278% dan (CO_2) sebesar 38,846%, dan VS_r % sebesar 56,39 %. Rata-rata volume penggunaan biogas dengan pengumpanan 30 kg/hari ialah 1,3 m^3 atau sama dengan 1300 L yang menghasilkan produktivitas biogas sebesar 466,44 L/Kg VS_r dengan hasil metana 234,52 L/Kg VS_r .
2. Kinerja ekonomis yang dihasilkan dari digester biogas tipe *Floating Drum* ini telah menghemat 2 tabung gas 3 kg LPG dengan nilai Rp. 50.000/bulan serta pada bagian output dapat dijadikan pupuk tanaman atau dapat diperjual belikan dengan harga 1000/ember dalam 1 ember berisi 6 L dapat diasumsikan pendapatan perbulan sebesar Rp. 300.000 dengan 1800 L/bulan dan biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan instalasi biogas sebesar 4.489.500.

5.2 Saran

Pada penelitian tipe *floating drum* ini digester sering mengalami kebocoran pada saluran digester ke instalasi yang disebabkan karena keteledoran saat pemasangan

digester tidak teliti dan digester mengalami pengendapan pada bagian luar. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah membuat rancang bangun digester secara teliti dan optimal sehingga mengurangi pembocoran pada digester serta pada saluran instalasi tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Adityawarman, A.C. 2015. Pengolahan Limbah Ternak Sapi Secara Sederhana di Desa Pattalassang Kabupaten Sinjai Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan*, 3: 7.
- Afrian, C., Haryanto, A., Hasanudin, U. & Zulkarnain, I. 2011. The Production Of Biogas From A Mixture Of Cow Dung And Elephant Grass (Pennisetum Purpureum). *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 6: 12.
- BPPT. 2015. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
<https://bppt.go.id/outlook-energi/bppt-outlook-energi-indonesia-2015> 13 September 2019.
- Budiyanto, M.A.K. 2013. Tipologi pendayagunaan kotoran sapi dalam upaya mendukung pertanian organik di Desa Sumpersari Kecamatan Poncokusumo Kabupaten Malang. *Jurnal Gamma*, 7(1): 42–49.
- Budiyono, F., Amalin, N., Matin, H.H.A. & Sumardiono, S. 2018. Production of Biogas from Organic Fruit Waste in Anaerobic Digester using Ruminant as The Inoculum. *MATEC Web of Conferences*, 156: 03053.
- Burke, D.A. 2001. Agricultural Manure Anaerobic Digester Compendium - Background Information. http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://agrienvarchive.ca/bioenergy/man_digesters_back.html 18 September 2019.
- Darmanto, A., Soeparman, S. & Widhiyanuriawan, D. 2012. Pengaruh Kondisi Temperatur Mesophilic (35°C) Dan Thermophilic (55°C) Anaerob Digester Kotoran Kuda Terhadap Produksi Biogas. *Rekayasa Mesin*, 3(2): 317–326.
- DelRisco, M.L., Normak, A. & Orupõld, K. 2011. Biochemical methane potential of different organic wastes and energy crops from Estonia. *Agronomy Research*, 331–342. [2d7bba4758136830a9a02caf3ecd997173bb.pdf](https://doi.org/10.15666/AR.331-342).
- Deshmukh, A. 2015. assessment of Biogas Generation Potential of Napier Grass Proceeding International Conference on Emerging Trends in Engineering dan Technology. : 68–71.

- Direktorat Jendral, Peternakan. 2012. *Statsitik Peternakan dan Kesehatan Hewan*. Jakarta: Direktorat Jendral Peternakan dan Kesehatan Hewan Kementerian Pertanian.
- Elizabeth, R. 2011. Biogas Utilization Effectiveness to Lessen Rural Households' Expenditure. : 15.
- Fachry, H.A.R. 2004. Penentuan Nilai Kalorofik Yang Dihasilkan Dari Proses Pembentukan Biogas. *Jurnal Teknik Kimia*, 5(2): 6.
- Fauzi, A. 2004. *Ekonomi sumber daya alam dan lingkungan: teori dan aplikasi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Hamidi, N., Wardana, I.N.G. & Widhiyanuriyawan, D. 2011. Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Zeolit Alam. *Rekayasa Mesin*, 2(3): 227–231.
- Haryanto, A. 2017. *Energi Terbarukan*. Yogyakarta: Innosain.
- Ihsan, A., Bahri, S. & Musafira, M. 2013. Produksi Biogas Menggunakan Cairan Isi Rumen Sapi Dengan Limbah Cair Tempe. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 2(2). <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/ejurnal/mipa/article/view/1644> 18 September 2019.
- Junaidi, A. 2018. Pengaruh Frekuensi Pengumpanan Terhadap Produksi dan Kualitas Biogas dari Campuran Kotoran Sapid an Rumpun Gajah (Pennisetum purpureum) Pada Digester Semi Kontinyu. : 46.
- Kadir, A. 1982. *Energi*. UI-Press.
- Kapdi, S.S., Vijay, V.K., Rajesh, S.K. & Prasad, R. 2006. Upgrading biogas for utilization as a vehicle fuel. *As. J. Energy Env*, 387–393(4): 7.
- Karki, A.B. & Dixit, K. 1984. Biogas Fieldbook. *Sahayogi Press*.
- Khaerunnisa, G., Rahmawati, I. & Budiyo, B. 2013. Pengaruh pH Dan Rasio COD:N Terhadap Produksi Biogas Dengan Bahan Baku Limbah Industri Alkohol (Vinasse). *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*, 2(2): 1–7.
- Khan, M.Z., Sarkar, M.A.R. & Ali, S.M. 2013. Original Article Development of Biogas Processing from Cow dung, Poultry waste, and Water Hyacinth.
- Maamri, S. & Amrani, M. 2014. Biogas Production from Waste Activated Sludge Using Cattle Dung Inoculums: Effect of Total Solid Contents and Kinetics Study. *Energy Procedia*, 50: 352–359.
- Mahardhian, D.P., Haji Abdullah, S., Priyati, A., Ajeng Setiawati, D. & Abdul Muttalib, S. 2017. Rancang Bangun Reaktor Biogas Tipe Portable Dari Limbah Kotoran Ternak Sapi. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 5(1): 369–374.

- Marchaim, U. 1992. *Biogas processes for sustainable development*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Mayasari, H.D., Riftanto, I.M., Nur 'Aini, L. & Ariyanto, M.R. 2010. *Pembuatan Biodigester Dengan Uji Coba Kotoran Sapi Sebagai Bahan Baku*. other. Universitas Sebelas Maret Surakarta. <https://eprints.uns.ac.id/3732/> 18 September 2019.
- Ni'mah, L. 2014. Biogas from solid waste of tofu production and cow manure mixture: Composition effect. *Chemica*, 1: 1–9.
- Padang, Y.A., Nurchayati & Suhandi. 2011. Meningkatkan Kualitas Biogas dengan Penambahan Gula. *jurnal Teknik Rekayasa*: 53–622.
- Paimin, F.B. 1995. Alat Pembuat Biogas dari Drum. *Penebar Swadaya*: 49.
- Puspitasari, R. 2015. Rancang Bangun Sistem Analisis Finansial Pada Pembuatan Digester Tipe Fixed Dome Berbasis WEB. *Departemen Teknik Mesin dan Biosistem*: 16–59.
- Ratnaningsih, R., Widyatmoko, H. & Yananto, T. 2009. Potensi Pembentukan Biogas Pada Proses Biodegradasi Campuran Sampah Organik Segar Dan Kotoran Sapi Dalam Batch Reaktor Anaerob. *Jurnal Teknologi Lingkungan Universitas Trisakti*, 5(1): 19–26.
- Sawasdee, V. & Pisutpaisal, N. 2014. Feasibility of Biogas Production from Napier Grass. *Energy Procedia*, 61: 1229–1233.
- Schmid, L.A. & Lipper, R.I. 1969. Swine Wastes, Characterization and anaerobic digestion. In Proceedings Animal Waste Management Cornell University Conference on Agricultural Waste management. : 50–57.
- Simamora, S., Salundik, wahyuni, S. & Surajudin. 2006. *Membuat Biogas Pengganti Minyak Dan Gas Dari Kotoran Ternak*. Jakarta: AgeroMedia Pustaka.
- Sonbait, L.Y. & Wambrauw, Y.L. d. 2011. Permasalahan dan Solusi Pemberdayaan Masyarakat Melalui Program Biogas Sebagai Energi Alternatif di Kabupaten Manokwari Papua Barat (Problems and Solutions Program for Community Empowerment through Biogas as an Alternative Energy at Manokwari Regency We. *Jurnal Ilmu Ternak Universitas Padjadjaran*, 11(2). <http://jurnal.unpad.ac.id/jurnalilmuternak/article/view/381> 18 September 2019.
- Stren, D. I. 2003. Economic Growth and Energy. <http://sterndavidi.com/Publications/Growth>.
- Suyitno, Sujono, A. & Dharmanto. 2010. *Teknologi Biogas*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

- Tuti, H. 2006. Biogas Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif. *wartazoa*, 3(16): 160–169.
- United Nations. 1984. *Update Guidebook on Biogas Development Energy Resources Development Series*. New York: Usa.
- Uwar, N.A., Wardana, I.N.G. & Widhiyanuriyawan, D. 2012. Karakteristik Pembakaran CH₄ Dengan Penambahan Co₂ Pada Model Helle- Shaw Cell Pada Penyalaan Bawah. *Rekayasa Mesin*, 3(1): 249–257.
- Wahyuni, S. 2011. *Menghasilkan biogas dari aneka limbah*. Jakarta: AgeroMedia Pustaka.
- Wahyuni, S. 2013. *Panduan Praktis Biogas*. AgeroMedia Pustaka.
- Wicaksono, N.H. 2016. Pengaruh Laju Pembebanan Terhadap Produktivitas Biogas Berbahan Baku Kotoran Sapi Pada Digester Semi Kontinyu. *Jurusan Teknik Pertanian. Fakultas Pertanian. Universitas Lampung*.
- Widodo, T.W. 2006. Rekayasa Dan Pengujian Reaktor Biogas Skala Kelompok Tani Ternak. <https://docplayer.info/69993494-Rekayasa-dan-pengujian-reaktor-biogas-skala-kelompok-tani-ternak.html> 18 September 2019.
- Winanti, W.S., Prasetyadi, P. & Wiharja, W. 2019. Pengolahan Palm Oil Mill Effluent (POME) menjadi Biogas dengan Sistem Anaerobik Tipe Fixed Bed tanpa Proses Netralisasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 20(1): 143–150.
- Yahya, Y., Tamrin, T. & Triyono, S. 2018. Produksi Biogas Dari Campuran Kotoran Ayam, Kotoran Sapi, DAN Rumput Gajah Mini (*Pennisetum Purpureum* cv. Mott) Dengan Sistem Batch. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 6(3): 151.
- Yuan, X.Z., Pan, G., Tian, B.H. & Chen, H. 2007. [Study on phosphorus(P) fixation in the sediment of lake using the clays modified by LaCl₃]. *Huan jing ke xue = Huanjing kexue*, 28(2): 403–406.