

**PENGARUH LAJU PEMBEBANAN TERHADAP PRODUKTIVITAS  
BIOGAS BERBAHAN BAKU KOTORAN SAPI PADA DIGESTER SEMI  
KONTINYU**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**NUGROHO HARGO WICAKSONO**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDARLAMPUNG  
2016**

## **ABSTRACT**

### **EFFECT OF LOADING RATE ON BIOGAS PRODUCTIVITY FROM COW MANURE ON A SEMI CONTINUYUS DIGESTER**

*By*

**Nugroho Hargo Wicaksono**

The energy is a basic needs in all aspect of live. Average growth of energy in Indonesia reaches at 4,7 % annually (ESDM 2012), energy potential of biomass is estimated at 491,80 MW is simply utilized by 1.618 MW or about 3,25 % (ESDM, 2014). Referring to the issue, biogas as an alternative energy could be a promising solution. Advantages of biogas as a potential sustainable and lower cost can be applied in accordance with the conditions and the potential of waste biomass in Indonesia (Saputri, 2014). Efficiency of biogas establishment on a semi-continuous digester was influenced by the loading rate of feeding digester. This study aims to determine the effect of loading rate variations on the productivity of biogas.

Five variations of feed treatments of fresh cow dung with ratio to water by 1 : 1 used in this study, were P1 with loading rate of 3,33 kg/day/m<sup>3</sup>, P2 at 2,67 kg/day/m<sup>3</sup>, P3 at 1,90 kg/day/m<sup>3</sup>, P4 at 1,23 kg/day/m<sup>3</sup> and P5 at 0,33 kg/day/m<sup>3</sup>. Five semi-continuous digesters of two gallons each assembled and equipped with a feed input, digeste and biogas outlets were used in this study. Analysis of TS

(total solids) and VS (volatile solids) was performed on the feeding substrate and effluent once a week. Daily Observations included digester and environmental temperatures, substrate pH in digester, volume of biogas by the time it was ignitable.

The average content of the initial substrate, for the TS was in the range of 9,16 – 9,21% and VS was in the range of 34,53 – 36,72%. Some shortcomings in the digester was shown by the parameters  $TS_{out}$  and  $VS_{out}$ , which ranged from -5,08 – 13,55%. The pH value in each treatment tended to be normal, which was 6,8 to 7 while the temperature in each treatment relatively the same, which was from 28,7 to 29,1 °C in digester and 28,8 to 28,9 °C in environment. On the average biogas could be burned on the 4th week with steady state conditions formed on the 44th day. Result of the flame color was not much different to any treatment that is blue when it was burned. The best result of productivity was shown in P5 treatment with loading rate of 0,65 kg/day/m<sup>3</sup>, a productivity of 8,88 liters/gram  $TS_{in}$ /day and total volume of steady state gas production at 72,34 liters. The treatment of loading rate affected the productivity of biogas. High loading rate (shortter HRT) resulted in lower biogas production.

***Keywords*** : *biogas, loading rate, cow manure, semi-continuous digester*

## **ABSTRAK**

### **PENGARUH LAJU PEMBEBANAN TERHADAP PRODUKTIVITAS BIOGAS BERBAHAN BAKU KOTORAN SAPI PADA DIGESTER SEMI KONTINYU**

**Oleh**

**Nugroho Hargo Wicaksono**

Energi merupakan kebutuhan primer di segala aspek bidang kehidupan. Rata-rata pertumbuhan energi di Indonesia mencapai 4,7 % pertahun (ESDM, 2012) dengan potensi energi biomassa diperkirakan mencapai 491,80 MW dan hanya termanfaatkan sebesar 1.618 MW atau sekitar 3,25 % (ESDM, 2014). Berdasarkan isu tersebut, biogas sebagai salah satu energi alternatif dapat menjadi solusi yang menjanjikan. Keunggulan biogas seperti potensi berkelanjutan dan biaya yang lebih murah dapat diaplikasikan sesuai dengan kondisi dan potensi limbah biomassa di Indonesia (Saputri, 2014). Efisiensi dari pembentukan biogas pada digester semi kontinyu dipengaruhi oleh faktor laju pembebanan (*loading rate*) dari umpan digester. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh variasi laju pembebanan terhadap produktivitas biogas.

Lima variasi perlakuan laju pembebanan dengan kotoran sapi segar dan air berbanding 1 : 1 digunakan pada penelitian ini, yaitu pada P1 dengan laju pembebanan 3,33 kg/hari/m<sup>3</sup>, P2 2,67 kg/hari/m<sup>3</sup>, P3 1,90 kg/hari/m<sup>3</sup>, P4 1,23 kg/hari/m<sup>3</sup> dan P5 0,33 kg/hari/m<sup>3</sup>. Penelitian ini menggunakan digester semi

kontinyu dari dua buah galon yang dirakit dan diberi saluran input umpan, output pada digeste dan biogas. Analisis TS (*total solids*) dan VS (*volatile solids*) dilakukan pada substrat awal maupun umpan in dan digeste out setiap tujuh hari sekali. Pengamatan harian meliputi suhu digester dan lingkungan, pH substrat dalam digester, volume dan waktu biogas dapat dibakar.

Rata-rata kandungan substrat awal, yaitu pada  $TS_{in}$  berkisar 9,16 – 9,21 % dan  $VS_{in}$  berkisar 34,53 – 36,72 %. Beberapa kekurangan pada digester ditunjukkan oleh parameter  $TS_{out}$  dan  $VS_{out}$ , yaitu berkisar -5,08 – 13,55 %. Nilai pH pada setiap perlakuan cenderung mendekati normal, yaitu 6,8 – 7 sedangkan suhu pada setiap perlakuan terbilang sama, yaitu 28,7 – 29,1 °C pada digester dan 28,8 – 28,9 °C pada lingkungan. Biogas setiap perlakuan rata-rata dapat dibakar pada minggu ke-4 dengan kondisi kestabilan rata-rata terbentuk pada hari ke-44.

Warna nyala api yang dihasilkan setiap perlakuan tidak jauh berbeda, yaitu berwarna biru ketika terbakar. Hasil produktivitas terbaik ditunjukkan perlakuan P5 dengan laju pembebanan 0,65 kg/hari/m<sup>3</sup>, yaitu 3,16 ℓ/gram  $TS_{in}$ /hari dan total volume produksi gas stabil sebesar 72,34 liter. Perlakuan laju pembebanan berpengaruh terhadap produktivitas biogas. Laju pembebanan yang lebih tinggi (HRT lebih pendek) dapat menghasilkan produktivitas yang lebih rendah.

**Kata Kunci :** biogas, laju pembebanan (*loading rate*), kotoran sapi, digester semi kontinyu

**PENGARUH LAJU PEMBEBANAN TERHADAP PRODUKTIVITAS  
BIOGAS BERBAHAN BAKU KOTORAN SAPI PADA DIGESTER SEMI  
KONTINYU**

**Oleh**

**NUGROHO HARGO WICAKSONO**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK PERTANIAN**

**Pada**

**Jurusan Teknik Pertanian  
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDARLAMPUNG  
2016**

Judul Skripsi

**: PENGARUH LAJU PEMBEBANAN  
TERHADAP PRODUKTIVITAS BIOGAS  
BERBAHAN BAKU KOTORAN SAPI  
PADA DIGESTER SEMI KONTINYU**

Nama Mahasiswa

**: Nugroho Hargo Wicaksono**

Nomor Pokok Mahasiswa

**: 1114071057**

Program Studi

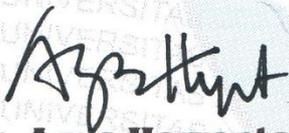
**: Teknik Pertanian**

Fakultas

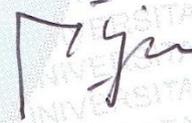
**: Pertanian**

**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

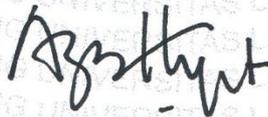


**Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.**  
NIP 19650527 199303 1 002



**Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc.**  
NIP 19611211 198703 1 004

**2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian**



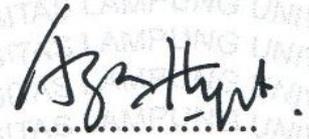
**Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.**  
NIP 19650527 199303 1 002

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

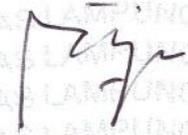
**Ketua**

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



**Sekretaris**

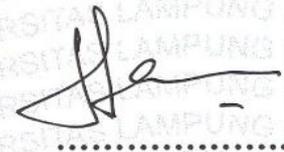
**: Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc.**



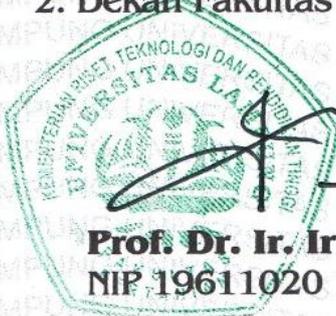
**Penguji**

**Bukan Pembimbing**

**: Dr. Ir. Tamrin, M.Sc.**



**2. Dekan Fakultas Pertanian**



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

**NIP. 19611020 198603 1 002**



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 5 September 2016**

## PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah Nugroho Hargo Wicaksono NPM 1114071057

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang saya tulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh komisi pembimbing, 1) **Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.** dan 2) **Dr. Ir. Sugeng Triyono, 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 (jurnal, buku, dll.) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandarlampung, 10 Oktober 2016  
Yang membuat pernyataan



(Nugroho Hargo Wicaksono)  
NPM : 1114071057

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Gunung Madu Plantations, Lampung Tengah pada tanggal 17 Agustus 1991, sebagai anak ketiga dari empat bersaudara, dari Bapak Tukirno dan Ibu Tri Hari Yuliati.

Penulis telah menyelesaikan Pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK) Satya Dharma Sudjana Gunung Madu

Plantations Lampung Tengah tahun 1997, Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SD Negeri 1 Gunung Madu Plantations pada tahun 2003, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Satya Dharma Sudjana, Gunung Madu Plantations pada tahun 2006, Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) di SMK Negeri 2 Terbanggi Besar pada tahun 2009, Kemudian Diploma 3 (D3) Mekanisai Bangunan Pertanian (MBP) di Politeknik Negeri Lampung, Bandar Lampung pada tahun 2012.

Selama pendidikan D3 penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT. GMP, Desa Gunung Batin Baru, Kecamatan Terusan Nunyai, Lampung Tengah dengan judul “Penggilingan dan Pemerahan Tebu”. Penulis pernah menjabat sebagai ketua dari organisasi olahraga PSHT Komisariat POLINELA pada tahun 2011.

Tahun 2011 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Mandiri (UM). Selama

menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten dosen praktikum Daya dan Alat Mesin Pertanian, Motor Bakar, dan Traktor Pertanian, selain itu penulis terdaftar sebagai anggota UKM KSR Unit Universitas Lampung sebagai angkatan XXIII dan UKM PSHT Komisariat Universitas Lampung pada tahun 2012. Penulis melaksanakan Kuliyah Kerja Nyata (KKN) tahun 2015 di Desa Bujuk Agung, Kecamatan Banjar Margo, Kabupaten Tulang Bawang.

*Kupersembahkan karya kecil ku ini untuk  
Ibu, Bapak, Kakak dan Adik ku tercinta  
Serta  
Galon pendamping hidup ku*

## SANWACANA

Puji Syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayahnya serta kesempatan, penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi yang berjudul “Pengaruh Laju Pembebanan Terhadap Produktivitas Biogas Berbahan Baku Kotoran Sapi pada Digester Semi Kontinyu” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian (S.TP) di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Dr. Ir. Agus Hartyanto, M.P. selaku pembimbing utama sekaligus pembimbing akademik dan ketua jurusan Teknik Pertanian, yang telah memberikan bimbingan dan saran serta kesabaran sehingga terselesaikannya skripsi ini.
2. Dr. Ir, Sugeng Triyono, M.Sc. selaku pembimbing kedua yang telah memberikan berbagai masukan dan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Dr. Ir, Thamrin. M.S. selaku pembahas yang telah memberikan saran dan masukan sebagai perbaikan selama penyusunan skripsi ini.

4. Bapak Prof. Dr. Ir. Sukri Banuwa, M.Si. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung, serta jajaran Wakil Dekan FP Unila yang telah membantu dalam administrasi skripsi ini.
5. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung.
6. Orang tuaku tercinta, Bapak dan Ibu, kakak, adik, dan seseorang terkasih yang tidak hentinya memberikan dukungan semangat, material, kasih sayang dan do'a sehingga penyusunan skripsi ini dapat selesai.

Bandar Lampung,  
Penulis,

**Nugroho Hargo Wicaksono**

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
I. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Tujuan.....	4
1.3 Manfaat.....	4
1.4 Hipotesis .....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Biogas .....	5
2.2 Proses Pembentukan Biogas.....	6
2.2.1 Tahap Hidrolisis .....	8
2.2.2 Tahap Pengasaman Acidogenesis .....	8
2.2.3 Tahap Pengasaman Acetogenesis .....	9
2.2.4 Tahap Metanogenesis.....	9
2.3 Faktor Pembentuk Biogas.....	11
2.3.1 Suhu .....	11
2.3.2 Derajat Keasaman atau pH dan Alkalinitas .....	14
2.3.3 Rasio C/N .....	16
2.3.4 Pencampuran .....	17
2.3.5 Laju Pembebanan atau <i>Loading Rate</i> .....	18

2.3.6 Waktu Tinggal atau <i>Retention Time</i> .....	20
2.3.7 Kandungan Bahan Kering atau <i>Total Solids</i> .....	22
2.4 Digester Biogas .....	23
2.4.1 Digester Tipe Batch.....	24
2.4.2 Digester Tipe Kontinyu.....	25
2.5 Bahan Kotoran Sapi.....	27
III. METODOLOGI.....	28
3.1 Waktu dan Tempat.....	28
3.2 Bahan dan Alat .....	28
3.3 Perlakuan .....	28
3.5 Persiapan Alat.....	29
3.4 Prosedur Penelitian .....	30
3.6 Persiapan Bahan .....	32
3.7 Parameter Pengamatan .....	32
3.7.1 Derajat Keasaman atau pH Substrat.....	32
3.7.2 Pengukuran Temperatur .....	33
3.7.3 Kandungan TS ( <i>total solids</i> ) dan VS ( <i>volatile solids</i> ) .....	33
3.7.4 Kadar C dan N.....	34
3.7.5 Volume Biogas Selama Kondisi Stabil.....	34
3.7.6 Produktivitas Biogas .....	35
3.8 Pengisian Substrat Awal.....	35
3.9 Pengisian Umpan dan Laju Pembebanan .....	35
3.10 Uji Nyala .....	36
3.11 Analisis Data.....	36
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 Karakteristik Bahan Awal .....	38

4.2	Kinerja Digester.....	39
4.2.1	Derajat Keasaman pH .....	40
4.2.2	Suhu .....	43
4.2.3	TS <sub>out</sub> ( <i>total solids</i> ) dan VS <sub>out</sub> ( <i>volatile solids</i> ) .....	45
4.2.4	Biogas yang Dihasilkan.....	47
4.3	Produktivitas Biogas.....	51
4.4	Uji Nyala Biogas .....	53
V.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	54
5.1.	Kesimpulan .....	54
5.2.	Saran .....	55
	DAFTAR PUSTAKA .....	56
	LAMPIRAN.....	58
	Metode Pengukuran Parameter .....	59
A.	pH Substrat.....	59
B.	Metode Pengambilan Sampel.....	59
C.	Metode Pengukuran TS dan VS .....	59

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi Biogas .....	6
2. Reaksi Kimia dan Jenis Mikroba .....	10
3. Suhu Proses Pembentukan Biogas .....	12
4. Perbandingan Digester Termofilik dan Mesofilik .....	13
5. Bahan Kimia Tambahan Alkalinitas .....	16
6. Kandungan C/N Rasio pada Berbagai Jenis Substrat .....	17
7. Perkiraan Waktu Generasi Bakteri pada Air Limbah .....	22
8. Kandungan Bahan Kotoran Sapi .....	27
9. Variasi Umpan dan Laju Pembebanan Kotoran Sapi Segar.....	29
10. Kandungan $TS_{in}$ , $VS_{in}$ , dan Air Bahan.....	38
11. Rata-rata $TS_{out}$ , $VS_{out}$ dan Kandungan Air pada digeste .....	45
12. Total Volume biogas setelah stabil, $VS_{in}$ dan Produktivitas Biogas.....	51

## LAMPIRAN

Tabel	Halaman
13. pH Harian Perlakuan .....	61
14. Suhu Harian di dalam Digester .....	62
15. Suhu Lingkungan Harian .....	63
16. Pertambahan Volume Produksi Biogas Harian.....	64
17. Pertambahan Volume Biogas (indikator moving average 10 hari).....	65
18. $TS_{in}$ dan $TS_{out}$ (gram).....	66
19. $VS_{in}$ dan $VS_{out}$ (gram) .....	67
20. $AIR_{in}$ dan $AIR_{out}$ (gram).....	68
21. Berat Sampel <sub>in</sub> dan $TS_{in}$ (gram).....	69
22. Berat $TS_{in}$ dan $VS_{in}$ Sampel(gram).....	70
23. Berat Sampel <sub>out</sub> dan $TS_{out}$ (gram).....	71
24. Berat $TS_{out}$ dan $VS_{out}$ (gram).....	72

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Skema yang Menggambarkan Empat Proses Pembentukan Biogas .....	7
2. <i>Singel Stage, Sequential, dan UASB Reaktor</i> (Verma,2002).....	25
3. Digester Tipe <i>Completely Mixed</i> (Burke, 2001).....	26
4. Digester Tipe <i>Plugflow</i> (Burke, 2001).....	26
5. Diagram Alir Penelitian .....	30
6. Digester Semi Kontinyu dan Galon Air.....	31
7. Nilai Rata-Rata pH Harian Proses Pembentukan Biogas.....	41
8. Nilai pH Harian pada Setiap Perlakuan .....	42
9. Perbandingan Suhu harian Digester dan Lingkungan.....	43
10. Produksi Biogas Kumulatif dan Hari Dimana Biogas Dapat Dibakar.....	48
11. Produksi Biogas dengan Indikator Moving Average.....	49
12. Produksi Biogas Selama Kondisi Stabil .....	51
13. Produktivitas Biogas .....	52
14. Hasil Uji Nyala Api pada Perlakuan P2.....	53

## LAMPIRAN

Gambar	Halaman
15. Digester .....	73
16. Proses Pencampuran dan Pengadukan Bahan .....	73
17. Proses Penakaran dan Pengisian (loading rate).....	74
18. Pengukuran pH Digester .....	74
19. Pengukuran Suhu di dalam Digester dan Lingkungan .....	75
20. Pengukuran Volume Biogas.....	76
21. Lapisan Substrat pada Digester .....	76
22. Hasil Digeste Cair .....	77
23. Hasil Digeste Padat .....	77
24. Sampel Kotoran dan Digeste.....	78
25. Sampel Kotoran Setelah Tanur .....	79

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan primer di segala aspek bidang kehidupan. Hal tersebut ditandai dengan penggunaannya pada berbagai bidang diantaranya, rumah tangga, transportasi, industri dan usaha produksi lainnya. Indonesia sebagai negara berkembang membutuhkan sejumlah pasokan energi untuk membangun dan menggerakkan perekonomian. Pertumbuhan tersebut diiringi dengan konsumsi energi yang juga terus menerus berkembang, dengan rata-rata kenaikan energi setiap tahunnya mencapai 4,7 % (ESDM, 2012). Kebutuhan energi di Indonesiadiantaranya masih dipenuhi oleh bahan bakar fosil, yaitu sebesar 49,7 % dari total kebutuhan, sedangkan pemanfaatan energi terbarukan hanya berkisar 6 %. Kedepan pada tahun 2025 pemerintah mengharapkan pertumbuhan energi terbarukan sebesar 17% (ESDM, 2012). Berdasarkan isu tersebut maka dapat diartikan bahwa pemerintah sesungguhnya lebih mengutamakan energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan konsumsi energi nasional dibandingkan dengan bahan bakar fosil.

Menanggapi isu permasalahan tersebut maka sudah selayaknya dilakukan pengembangan, atau pemanfaatan yang lebih efisien dalam pengolahan sumber-sumber energi terbarukan, sebagai bentuk dukungan atas langkah positif

pemerintah. Energi terbarukan merupakan energi ramah lingkungan karena bersumber dari bahan organik, ataupun sumber daya alam yang tidak memiliki titik kritis, seperti energi matahari, energi angin, energi panas bumi, energi air, energi biomassa dan lain sebagainya.

Dilihat dari segi potensial, sumber bioenergi Indonesia pada biomassa diperkirakan mencapai 491.80 MW, sedangkan besar pemanfaatan dari sumber tersebut hanya 1.618 MW atau sekitar 3,25 % dari potensi yang ada (ESDM, 2014). Biogas sebagai salah satu energi alternatif dapat menjadi solusi dari masalah tersebut. Biogas sebagai energi alternatif memiliki keunggulan berupa potensi berkelanjutan yang baik dan juga jauh lebih murah dibandingkan dengan sumber energi bahan bakar fosil (Saputri *et al.*, 2014). Teknologi biogas juga dapat diaplikasikan sejalan dengan kegiatan pertanian ataupun peternakan yang menjadi ciri khas negara agraris seperti Indonesia.

Efisiensi dari proses pembentukan biogas dipengaruhi oleh beberapa faktor yang berkaitan satu sama lain dan berfungsi sebagai parameter dari berbagai tahap pembentukan. Berbagai kendala dalam pengaplikasian teknologi biogas, menyebabkan produksi yang tidak maksimal dari degradasi atau fermentasi substrat organik sehingga menjadi kendala bagi pengguna untuk memaksimalkan produksi biogas, dan keengganan untuk memanfaatkan teknologi tersebut.

Berdasarkan kondisi tersebut maka diperlukan suatu informasi tentang pengaplikasian sistem biogas secara baik dan mudah, atau dapat langsung dimanfaatkan bagi pengguna. Negara-negara berkembang pada umumnya mengolah kotoran ternak, seperti kerbau, sapi, babi dan lain sebagainya, dengan cara mengumpalkan setiap hari kotoran ternak bercampur air secara

kontinyu, pada digester dan mengumpulkan gas yang dihasilkan pada kubah tetap atau mengambang (Abbasi *et al.*, 2012). Tipe aliran kontinyu sendiri sangatlah membutuhkan perhatian pada parameter laju pembebanan atau *loading rate* dari umpan bahan organik.

Digester semi kontinyu memiliki karakteristik yang hampir sama dengan kontinyu, yaitu faktor laju pembebanan atau *loading rate* pada sistem pengisian. Faktor tersebut merupakan parameter penting dalam proses pembentukan biogas dan dapat mempengaruhi jumlah kandungan substrat tercerna menjadi gas metana ( $\text{CH}_4$ ). Laju pembebanan berkaitan dengan faktor pembentuk dari biogas, yaitu *hidrolik retention time* (HRT) pada substrat dan juga kapasitas volume isi digunakan pada digester sehingga dengan mengetahui rentang atau nilai pada kedua parameter tersebut, maka tingkat variasi laju pembebanan dapat ditentukan.

Pengoperasian digester pada rentang suhu mesofilik memiliki rentang HRT dari 10 sampai dengan 40 hari (Demitriades, 2008 ; Abbasi *et al.*, 2012). Laju pembebanan yang sesuai dapat memberikan produksi maksimal dari biogas sehingga sudah selayaknya dilakukan sebuah pengamatan atas parameter tersebut. Pengamatan pada faktor laju pembebanan dapat memberikan informasi guna membantu meningkatkan produksi biogas bagi pengguna dan operator pertanian skala rumah tangga melalui aplikasi teknologi sederhana yang mudah dipraktikkan.

## **1.2 Tujuan**

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui pengaruh laju pembebanan terhadap produktivitas biogas yang dihasilkan dari kotoran sapi.

## **1.3 Manfaat**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Memberikan informasi tentang aplikasi biogas pada parameter laju pembebanan bagi pengguna.
2. Memaksimalkan produksi biogas yang dapat dicapai dari bahan baku kotoran sapi dengan digester sistem semi kontinyu.

## **1.4 Hipotesis**

Proses dan jumlah hasil pembentukan biogas pada digester anaerob tipe semi kontinyu dipengaruhi oleh parameter laju pembebanan bahan organik.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Biogas

Biogas merupakan hasil perubahan secara mikrobiologi pada bahan organik menjadi metana ( $\text{CH}_4$ ) melalui proses pencernaan anaerob, atau dengan kondisi tanpa adanya ketersediaan oksigen ( $\text{O}_2$ ). Selama proses anaerob terdapat hasil lain dari bahan organik tercerna pada biogas dinamakan sebagai digeste, atau biomassa tercerna (Ford, 2012). Contoh bahan organik tersebut, yaitu sisa makanan, sisa-sisa tanaman, kotoran hewan, limbah lumpur, bagian organik limbah padat perkotaan, dan lain sebagainya. Materi tersebut akan terdekomposisi menghasilkan komposisi gas metana ( $\text{CH}_4$ ) sebesar 40% sampai dengan 70% dari total volume gas yang dihasilkan, sedangkan sisanya sebagian besar merupakan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan gas lainnya. Biogas terbakar secara sempurna tanpa meninggalkan jelaga dan bau (Abbasi *et al.*, 2012). Komposisi dari gas penyusun tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Terdapat tiga sistem dalam mendapatkan biogas baik secara alami atau industri. Sistem tersebut melibatkan berbagai jenis bahan baku pembentuk dan digunakan secara umum untuk menghasilkan listrik skala lokal oleh operator pertanian. Sistem tersebut dijelaskan sebagai berikut :

Tabel1. Komposisi Biogas

<b>Komponen Gas</b>	<b>% Volume Total Gas</b>
Metana	50 – 75
Karbon dioksida	25 – 50
Nitrogen	00 – 10
Hidrogen	00 – 01
Hidrogen Sulphida	00 – 03
Oksigen	00 – 02

Sumber:*Pira International Ltd.* dalam Ford (2012)

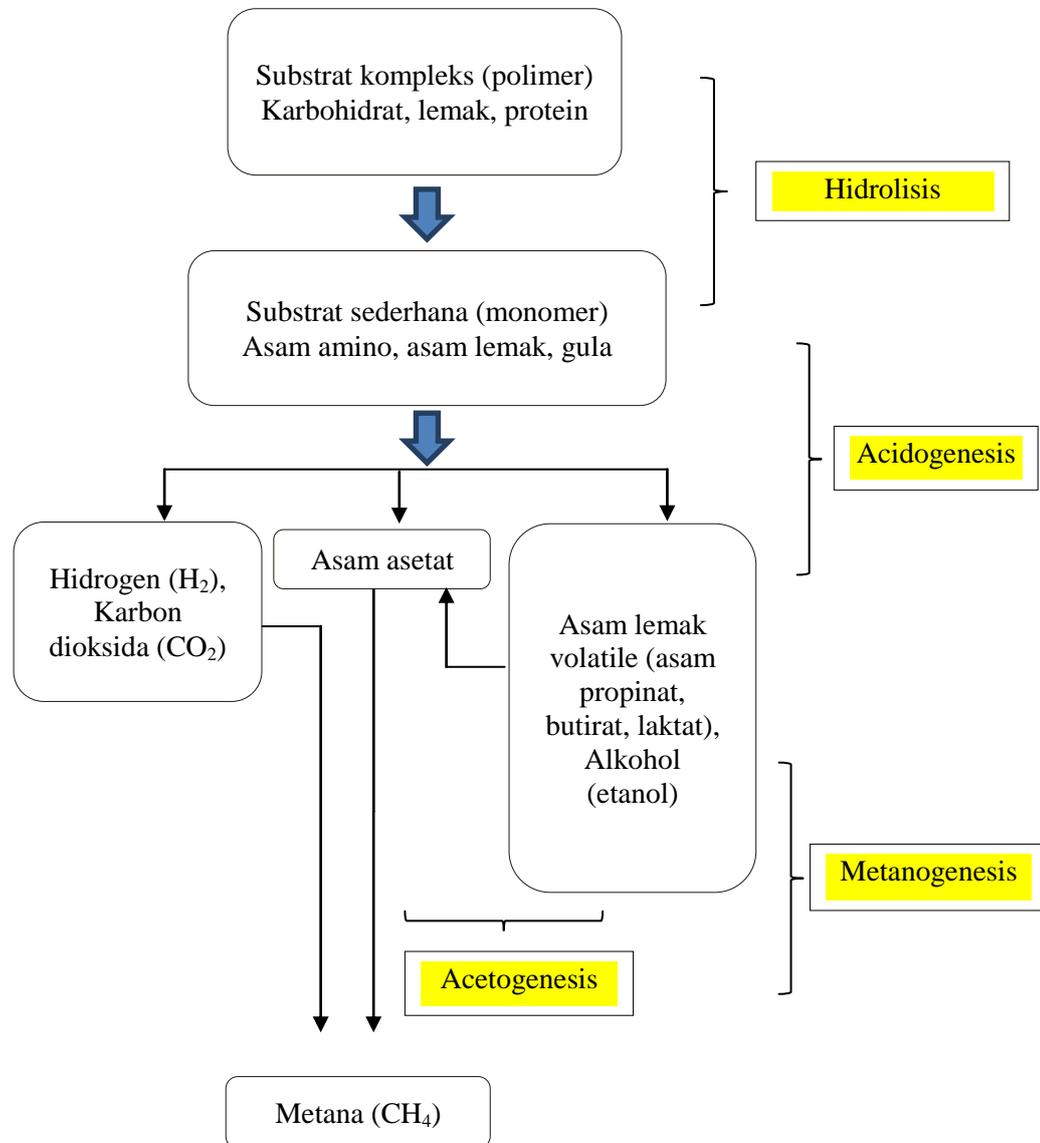
1. Sistem digester anaerobik yang dikonfigurasi dengan jenis bahan pembentuk gas metana ( $\text{CH}_4$ ).
2. Sistem digester anaerobik yang dioperasikan bersamaan dengan sistem pengolahan air limbah.
3. Sistem sumur bor, yaitu dengan cara membuat atau mengebor bagian yang mengandung metana, pada timbunan sampah yang berasal dari bagian biodegradable sampah kota (Ford, 2012).

Karakteristik biogas dengan kandungan metana standar sebesar 50% memiliki nilai kalor sebesar  $21 \text{ MJ/Nm}^3$ , kerapatan  $1,22 \text{ kg/Nm}^3$  dan massa yang setara dengan udara, yaitu sebesar  $1,29 \text{ kg/Nm}^3$  (Al Seadi *et al.*, 2008).

## 2.2 Proses Pembentukan Biogas

Proses pembentukan biogas memiliki beberapa tahapan yang berpengaruh satu sama lain. Proses degradasi dari substrat yang mengandung berbagai komposisi bahan organik terbagi menjadi beberapa tahapan. Secara garis besar hasil degradasi dari proses awal akan berpengaruh terhadap hasil proses degradasi

selanjutnya sehingga hasil akhir produk dapat ditentukan dari komposisi substrat awal. Skema proses pembentukan biogas dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar1. Skema yang Menggambarkan Empat Tahap Proses Pembentukan Biogas

Pada degradasi substrat organik proses pembentukan biogas dibagi menjadi beberapa tahap yang dijelaskan sebagai berikut.

### **2.2.1 Tahap Hidrolisis**

Hidrolisis merupakan proses penguraian senyawa melalui air. Senyawa terkandung dalam partikulat dan limbah, seperti karbohidrat, lemak, dan protein koloid akan mengalami proses hidrolisis di dalam digester anaerob. Senyawa terkandung tersebut merupakan molekul berukuran besar tak terlarut, terdiri dari gabungan molekul-molekul kecil dan terikat oleh ikatan kimia unik. Gabungan dari molekul-molekul kecil disebut juga sebagai senyawa polimer (Gerardi, 2003). Senyawa polimer kemudian terurai menjadi senyawa monomer sederhana terlarut, melalui exoenzyme yang dihasilkan oleh mikroba (Al Seadi *et al.*, 2008). Makromolekul besar, yaitu protein, lemak, dan karbohidrat polimer, seperti selulosa dan pati akan terurai melalui tahap hidrolisis menjadi asam amino, asam lemak rantai panjang, dan gula (Abbasi *et al.*, 2012).

### **2.2.2 Tahap Pengasaman Acidogenesis**

Produk dari tahap hidrolisis akan tercerna secara fermentasi oleh mikroba acidogenic menjadi bahan baku substrat pada pembentukan metana, tahap ini disebut sebagai acidogenesis. Hasil produk dari tahap tersebut berupa asam asetat, hidrogen, dan karbon dioksida yang berkisar 70%, serta asam lemak volatile (VFA) dan alkohol berkisar 30% dari total hasil fermentasi (Al Seadi *et al.*, 2008). Asam asetat pada asam lemak volatile (VFA) merupakan produk utama yang digunakan sebagai bahan baku oleh mikroba dalam pembentukan metana. Asam asetat tidak hanya dihasilkan dari proses

fermentasi acidogenesis, tetapi dihasilkan juga dari pemrosesan produk sampingan lainnya (Gerardi, 2003).

### **2.2.3 Tahap Pengasaman Acetogenesis**

Asam asetat juga diproduksi dari produk yang tidak dapat langsung digunakan oleh mikroba pembentuk metana ( $\text{CH}_4$ ), yaitu etanol pada alkohol dan asam propinat, butirat pada asam lemak volatile (VFA). Tahap ini disebut sebagai acetogenesis (Gerardi, 2003).

### **2.2.4 Tahap Metanogenesis**

Pembentukan gas metana ( $\text{CH}_4$ ) sebagian besar didasarkan pada asam asetat, hidrogen dan karbon dioksida, dan sebagian lainnya terbentuk dari alkohol dan asam organik. Alkohol dan asam organik akan terlebih dahulu diubah sebagai asam asetat sebelum mengalami tahap metanogenesis (Gerardi, 2003). Sebanyak 70 % dari gas metana pada metanogenesis dibentuk dari bahan baku asam asetat, sedangkan sisanya berasal dari perubahan hidrogen dan karbon dioksida (Al Seadi *et al.*, 2008).

Reaksi kimia dan mikroba yang terlibat pada berbagai tahapan di atas ditunjukkan pada Tabel 2. sebagai berikut:

Tabel2. Reaksi Kimia dan Jenis Mikroba

<b>Reaksi Pembentukan</b>	<b>Jenis Mikroba</b>
Tahap hidrolisis $(C_6H_{10}O_5)_n + n H_2O = n C_6H_{12}O_6$ (Polisakarida, disakarida) (monosakarida)	
Tahap acidogenesis $C_6H_{12}O_6 + 2H_2O = 2CH_3COOH + 4H_2 + CO_2$ (asam asetat)	<i>Bacteriodes,</i> <i>clostridium</i> <i>Butyrivibrie,</i> <i>eubacterium</i> <i>Bifidobacterium,</i> <i>lactobacillus</i>
$C_6H_{12}O_6 + 2H_2 = 2CH_3CH_2COOH + 2H_2O$ (asam propinat)	
$C_6H_{12}O_6 = CH_3CH_2CH_2COOH + 2CO_2 + 2H_2$ (asam butirat)	
$C_6H_{12}O_6 = 2CH_3CHOHCOOH$ (asam laktat)	
$C_6H_{12}O_6 = 2CH_3CH_2OH + 2CO_2$ (etanol)	
Tahap acetogenesis $CH_3CHOHCOOH + H_2O = CH_3COOH + CO_2 + 2H_2$ (asam asetat)	<i>Desulfovibrio,</i> <i>syntrophobacter</i> <i>Wolinii,</i> <i>syntrophomonas</i>
$CH_3CH_2OH + H_2O = CH_3COOH + 2H_2$ (etanol) (asam asetat)	
$CH_3CH_2CH_2COOH + 2H_2O = 2CH_3COOH + 2H_2$ (asam asetat)	
$CH_3CH_2COOH + 2H_2O = CH_3COOH + CO_2 + 3H_2$ (asam asetat)	
Tahap metanogenesis $4H_2 + CO_2 = CH_4 + 2H_2O$ (metana)	<i>Methanobacterium</i> <i>formicum,</i> <i>Methanobacterium</i> <i>bryantii,</i> <i>Methanobrevibacter,</i> <i>Ruminantium,</i> <i>Methanobrevibacter</i> <i>Arboriphilus,</i> <i>Methanospirillum</i> <i>hungatei</i> <i>Methanosarcina</i> <i>barkeri</i>
$2CH_3CH_2OH + CO_2 = 2CH_3COOH + CH_4$ (asam asetat) (metana)	
$2CH_3(CH_2)_2COOH + 2H_2O + CO_2 = 4CH_3COOH + CH_4$ (asam asetat) (metana)	
$CH_3COOH = CH_4 + CO_2$ (metana)	

Sumber:Abbasi *et al.* (2012)

## **2.3 Faktor Pembentuk Biogas**

Aktivitas mikroba di dalam digester membutuhkan kesesuaian kondisi operasional, seperti komposisi gas, waktu retensi hidrolis, dan konsentrasi asam volatil. Kondisi operasional tersebut harus terpantau dan terpelihara secara berkala dalam rentang atau kisaran yang optimal. Hal ini dikarenakan mikroba pembentuk metana sangatlah sensitif terhadap berbagai perubahan kondisi operasional tersebut, selain kondisi di atas terdapat beberapa faktor lain yang berpengaruh terhadap aktivitas mikroba pembentuk metana, yaitu pH, suhu, dan perubahan alkalinitas (Gerardi, 2003). Faktor-faktor pengaruh tersebut dijelaskan di bawah ini.

### **2.3.1 Suhu**

Perubahan suhu lingkungan maupun suhu di dalam digester sangatlah berpengaruh terhadap hasil dari produksi biogas (Zamri, 2013). Proses pembentukan biogas dapat terjadi pada tiga rentang suhu yang berbeda (Tabel 3). Pemilihan rentang suhu didasarkan pada kebutuhan suhu operasional pada digester akan bahan baku pengisian yang digunakan. Proses pembentukan biogas ditentukan oleh kestabilan suhu yang dapat disediakan selama proses pencernaan berlangsung (Angelidaki dan Abbasi *et al.*, 2012).

Tabel3. Suhu Proses Pembentukan Biogas

<b>Tahapan Thermal</b>	<b>Suhu Proses</b>	<b>Waktu Retensi Minimum</b>
Psychrophilic	<20 °C	70 sampai 80 hari
Mesofilik	30 – 42 °C	30 sampai 40 hari
Termofilik	43 – 55 °C	15 sampai 20 hari

Sumber :Abbasi *et al.* (2012)

Suhu berpengaruh terhadap toksinitas atau kadar racun dari amonia, semakin tingginya kadar racun amonia disebabkan oleh kenaikan suhu, efek ini dapat dikurangi melalui penurunan suhu pada pengoprasian digester. Pada suhu termofilik apabila penurunan suhu terjadi pada 50 °C atau lebih rendah lagi maka akan terjadi efek pada mikroba berupa *wash out*, efek ini disebabkan dari penurunan pertumbuhan populasi mikroba dibandingkan waktu tinggal sebenarnya(Angelidaki, 2004 dalam Abbasi *et al.*, 2012).Viskositas pada substrat terlarut juga dapat mempengaruhi tingkat reaksi kimia dari proses pencernaan, viskositas rendah pada suhu tinggi dapat mempercepat rekasi kimia sehingga efisiensi pembentukan metana menjadi lebih tinggi, kelarutan ataupun difusi dari larutan juga menjadi lebih tinggi seperti pada suhu termofilik (Abbasi et al., 2012).

Suhu pada digester anaerob berbanding lurus dengan tingkat pencernaan anaerob dan hasil produksi metana. Oleh karena itu, tingkat pencernaan anaerob dan hasil produksi metana pada termofilik lebih cepat dan tinggi dibandingkan dengan mesofilik. Akan tetapi, kinerja digester dapat terganggu oleh beberapa karakteristik mikrobiologi, seperti rendahnyajumlah populasi mikroba, tingginya tingkat kematian endogen mikroba, dan keberagaman mikroba yang terlalu sedikit.Karakteristik gangguan tersebut menyebabkan residu dari asam volatiledan

jugagangguan fluktuasi pada mikroba termofilik. Toleransi dari mikroba termofilik sangatlah kecil, yaitu kurang dari 1 °C sehingga sangatlah rentan terhadap fluktuasi, sedangkan mikroba mesofilik lebih dapat mentoleransi fluktuasi suhu, yaitu antara 2 – 3 °C (Gerardi, 2003).

Berikut ini perbandingan antara digester dengan suhu termofilik dan mesofilik ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel4. Perbandingan Digester Termolik dan Mesofilik

<b>Fitur</b>	<b>Digester mesofilik</b>	<b>Digester termofilik</b>
Laju Pembebanan	Rendah	Tinggi
Penghancuran Patogen	Rendah	Tinggi
Kepekaan Terhadap Racun	Rendah	Tinggi
Biaya Operasional	Rendah	Tinggi
Kontrol Suhu	Sedikit Sulit	Lebih Sulit

Sumber : Gerardi, M. H.(2003)

Perubahan suhu berpengaruh secara berbeda terhadap berbagai kelompok jenis mikroba anaerob. Mikroba acetogenesis akan menunjukkan peningkatan produksi asam volatil dan alkohol terhadap kenaikan suhu sehingga produksi metana (CH<sub>4</sub>) oleh mikroba metanogenesis terhenti. Akan tetapi, pada mikroba hidrolisis tidak terjadi pengaruh secara signifikan dikarenakan sifatnya yang tidak se-sensitif jenis mikroba lain terhadap pengaruh suhu. Kontrol pada suhu dapat dilakukan dengan pemanas air, yaitu berupa pemanasan sekeliling (*water jacket*) pada reaktor.

Penggunaan *water jacket* menghasilkan rerata suhu yang lebih stabil dan produksi lima kali lebih banyak dibandingkan tanpa perlakuan kontrol tersebut (Zamri, 2013). Dengan demikian, pengaruh suhu dapat memberikan dampak positif maupun negatif yang sangat mempengaruhi kinerja digester anaerob secara keseluruhan (Gerardi, 2003).

### 2.3.2 Derajat Keasaman dan pH dan Alkalinitas

Pertumbuhan mikroorganisme metanogen dan kelarutan dari berbagai senyawa, seperti amonia, sulfida, dan asam organik pada pencernaan anaerob dipengaruhi oleh nilai pH substrat dalam digester. Nilai pH pada substrat dapat meningkat dengan kehadiran amonia yang terdegradasi dari substrat protein, sedangkan keberadaan asam volatile dapat menurunkan pH pada pencernaan anaerob (Al Seadi *et al.*, 2008). Proses pembentukan gas metana dari degradasi bahan organik dapat dicapai dalam rentang pH berkisar antara 5,5 – 8,5, sedangkan gas metana akan terproduksi secara stabil ketika nilai pH berkisar antara 7,2 – 8,2 (Abbasi *et al.*, 2012). Tingkat aktivitas pada setiap jenis kelompok mikroba ditentukan oleh pH yang tepat. Aktivitas enzimatik mikroba pembentuk asam membutuhkan nilai pH di atas 5, sedangkan mikroba pembentuk metana membutuhkan pH yang lebih tinggi, yaitu di atas nilai pH 6,2. Pada kondisi pH berkisar antara 6,8 – 7,2, sebagian besar dari bakteri anaerob akan bekerja dengan baik, termasuk bakteri pembentuk metana dalam merubah asam volatil menjadi gas metana ( $\text{CH}_4$ ) dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Akumulasi karbon dioksida dari proses tersebut juga berdampak secara signifikan pada perubahan pH digester (Gerardi, 2003).

Perubahan secara cepat dan tiba-tiba pada pH digester dapat mempengaruhi tingkat aktivitas enzimatik mikroba. Oleh karena itu, alkalinitas diperlukan sebagai sistem penyangga (*buffer*) untuk mencegah perubahan tersebut sehingga pH pada digester dapat terkontrol secara tepat. Pelepasan gugus amino ( $-\text{NH}_2$ ) dan produksi amonia ( $\text{NH}_3$ ) dari degradasi substrat protein pada limbah, akan

menghasilkan alkalinitas pada digester anaerob. Pada pH tertentu kebanyakan alkalinitas berada dalam bentuk bikarbonat dan setimbang dengan karbon dioksida (Gerardi, 2003).

Degradasi dari bahan organik menghasilkan pelepasan karbon dioksida, sedangkan pada degradasi asam amino dan protein akan melepaskan karbon dioksida dan amonia. Pelepasan karbon dioksida akan menghasilkan asam karbonat, alkalinitas karbonat dan bikarbonat, sedangkan pelepasan amonia menghasilkan ion amonium. Hasil pelepasan tersebut disetimbangkan oleh pH di dalam digester, sesuai dengan fungsi dari pH. Alkalinitas juga dibentuk melalui degradasi senyawa organik yang menghasilkan karbon dioksida dan degradasi pada senyawa nitrogen, yaitu asam amino dan protein. Degradasi dari senyawa nitrogen menghasilkan pelepasan kelompok amino sehingga terproduksi amonia, setelah itu amonium bikarbonat ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ) akan terbentuk dari pelarutan amonia ( $\text{NH}_3$ ) bersama air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dari hasil degradasi senyawa organik.

Kestabilan alkalinitas dicapai melalui pengkonsumsian asam volatil secara cepat oleh mikroba pembentuk metana pada HRT di atas hari ke-5. Penurunan alkalinitas disebabkan beberapa hal, seperti terakumulasinya asam organik, keluarnya asam organik ke dalam digester, dan terdapatnya limbah penghambat aktivitas mikroba pembentuk metana. Alkalinitas berkaitan dengan komposisi dan konsentrasi organik pengisi digester, semakin tinggi laju pembebanan (*loading rate*) bahan organik mengandung protein maka konsentrasi dari alkalinitas akan relatif tinggi (Gerardi, 2003). Laju produksi asam-asam organik yang dihasilkan dari degradasi senyawa organik dapat merusak alkalinitas, apabila lebih

tinggi dibandingkan laju pembentukan metana. Tingkat laju produksi dari asam-asam organik menjadi berlebih disebabkan oleh beberapa hal, seperti suhu yang tidak tercukupi, penghambatan alkalinitas, hilangnya alkalinitas, dan pembebanan berlebih, peristiwa ini biasanya terjadi selama proses awal atau *start-up* (Gerardi, 2003). Beberapa bahan kimia yang digunakan untuk mengatur nilai pH dan alkalinitas ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Bahan Kimia Tambahan Alkalinitas

<b>Bahan Kimia</b>	<b>Rumus Kimia</b>	<b>Kation bufer</b>
Sodium bikarbonat	NaHCO <sub>3</sub>	Na <sup>+</sup>
Potasium bikarbonat (abu soda)	KHCO <sub>3</sub>	K <sup>+</sup>
Sodium karbonat	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na <sup>+</sup>
Potasium karbonat	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	K <sup>+</sup>
Kalsium karbonat (kapur)	CaCO <sub>3</sub>	Ca <sup>2+</sup>
Kalsium hidroksida (kapur cepat)	Ca(OH) <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>
Amonia anhidrat	NH <sub>3</sub>	NH <sup>4+</sup>
Sodium nitrat	NaNO <sub>3</sub>	NH <sup>+</sup>

Sumber: Gerardi M.H. (2003)

### 2.3.3 Rasio C/N

Rasio C/N merupakan perbandingan relatif dari karbon dan nitrogen terkandung dalam bahan substrat. Rasio optimal untuk perbandingan tersebut berkisar antara 20 – 30. Kisaran rasio C/N yang terkandung pada substrat dapat mempengaruhi produksi dari biogas, yaitu pada kondisi di atas nilai optimal maka produksi dari biogas akan mengalami penekanan. Kondisi tersebut terbentuk sebagai akibat dari tidak tersedianya nitrogen untuk bereaksi terhadap sisa karbon pada substrat. Hal ini terjadi karena nitrogen telah dikonsumsi secara cepat oleh mikroba metana. Kisaran rasio yang terlalu rendah di bawah nilai optimal dapat

menyebabkan akumulasi amonia dari sejumlah nitrogen yang terbebaskan sehingga menyebabkan efek toksik (racun) pada mikroba pembentuk metana.

Rasio C/N yang terkandung dari setiap bahan memiliki kisaran nilai yang berbeda, pencampuran substart dengan kandungan rasio C/N berbeda biasanya dilakukan untuk mendapatkan rasio C/N yang diinginkan (Abbasi *et al.*, 2012).Hal tersebut terbukti dengan pencampuran bahan baku kotoran sapi dan bahan lainnya, seperti sekampadi dengan hasil rasio C/N sebesar 65:1. Komposisi pencampuran yang tepatdapat mengoptimalkan rasio C/N hingga mendekati kisaran optimum kebutuhan degradasi biogas sehingga berdampak pada peningkatan produksi biogas yang lebih tinggi (Wiratmana*et al.*, 2012). Kandungan C/N rasio dari berbagai substrat ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel6. Kandungan C/N Rasio pada Berbagai Jenis Substrat

<b><i>Raw Material</i></b>	<b>C/N rasio</b>
<i>Duck dung</i>	08
<i>Human excreta</i>	08
<i>Chicken dung</i>	10
<i>Goat dung</i>	12
<i>Pig dung</i>	18
<i>Cow dung</i>	24

Sumber:Abbasi *et al.*(2012)

### **2.3.4 Pencampuran**

Proses pencernaan dapat ditingkatkan melalui pencampuran kandungan atau isi dalam digester anaerob.Akibat dari pencampuran berupa keseragaman suhu,penyebaran bakteri, substrat,dan nutrisi keseluruh bagian digester sehingga menyebabkan peningkatan proses pencernaan. Pencampuran memberikan

keuntungan, seperti menghilangkan atau mengurangi penumpukan sampah, menghilangkan stratifikasi termal, dan mencegah pengendapan grit. Pencampuran harus dilakukan secara lambat dan lembut, untuk memastikan aktivitas mikroba pembentuk asetat dan pembentuk metana dalam digester berjalan dalam kontak ruang yang dekat (Gerardi, 2003).

Pencampuran dapat dicapai melalui beberapa cara, yaitu dengan cara mekanis berupa resirkulasi gas, atau dengan *mixer*. Pada resirkulasi gas meliputi penggunaan pompa eksternal, injeksi gas atau resirkulasi dari lantai maupun atap kubah digester, baling-baling atau turbin, dan tabung rancangan. Pencampuran dengan menggunakan cara *mixer* lebih sering terjadi penyumbatan atau terkotori oleh padatan dalam digester, tetapi apabila dibandingkan dengan resirkulasi gas cara ini lebih efektif. Pencampuran tidak perlu dilakukan secara kontinyu karena membutuhkan biaya berlebih dan membutuhkan fasilitas pemisahan untuk padatan yang telah tercerna dari fase cair. Pencampuran secara rutin dapat dilakukan, sebagai contoh, yaitu 3 sampai 6 kali periode selama sehari, dengan waktu setiap periode selama 1 sampai 3 jam, cara tersebut dimungkinkan dapat menjadi pilihan alternatif untuk pencampuran secara terus menerus (Gerardi, 2003).

### **2.3.5 Laju Pembebanan atau *Loading Rate***

Laju pembebanan atau *loading rate* adalah suatu ukuran dari kemampuan perubahan biologis dalam sistem digester anaerob (Verma, 2002). Faktor ini merupakan parameter kontrol yang sangat penting apabila pencernaan dilakukan

dalam digester sistem kontinyu. Laju pembebanan berlebih pada digester dapat menyebabkan kegagalan sistem karena secara signifikan asam lemak volatile akan meningkat dan menyebabkan penurunan pada pH secara tajam. Kondisi ini dapat ditanggulangi dengan mengurangi laju pembebanan sampai kestabilan proses kembali dicapai (Abbasi *et al.*, 2012). Laju pembebanan ulang bahan organik dilakukan dalam periode tertentu untuk menjaga kerja mikroba dalam menfermentasi substrat agar tetap kontinyu. Pengisian bertujuan agar rasio C/N tetap pada angka kebutuhan mikroba. Pengisian dilakukan setiap hari dengan memperhitungkan waktu dekomposisi, jenis, dan volume digester.

Laju pengisian yang terlalu rendah dapat mengakibatkan rendahnya produksi biogas (Wahyuni, 2013). Laju pembebanan organik merupakan parameter yang menunjukkan berapa banyak bahan kering organik dapat dimasukkan ke digester per volume dan satuan waktu dan ditunjukkan sesuai dengan Persamaan 1. di bawah ini (Al Seadi *et al.*, 2008).

$$BR = \frac{M \times C}{VR} \dots\dots\dots (1)$$

dimana Br adalah beban organik (kg/d/m<sup>3</sup>), M adalah massa umpan substrat per satuan waktu (kg/d), C adalah konsentrasi bahan organik (%), dan VR adalah volume reaktor atau digester (m<sup>3</sup>). Dalam proses pembentukan biogas laju pembebanan bahan organik secara umum dinyatakan dengan VS (*volatile suspended*) dalam kilogram meter kubik dan hari, atau juga dinyatakan dengan COD (*chemical oxygen demand*) (Demitriades, 2008).

### 2.3.6 Waktu Tinggal atau *Retention Time*

Jangka waktu ketika mikroorganisme dan substrat harus berada dalam kondisi bersama, untuk mencapai tingkat degradasi yang diinginkan merupakan faktor yang menunjukkan tingkat dari efisiensi digester yang baik. Akan tetapi, dalam keadaan tersebut diperlukan jumlah populasi mikroorganisme yang tinggi. Waktu tinggal substrat dalam digester untuk mencapai tahap degradasi anaerob disebut sebagai *hydraulic retention time* (Abbasi *et al.*, 2012). HRT memiliki hubungan timbal balik erat dengan volume digester dan umpan yang dapat ditunjukkan oleh Persamaan 2. berikut:

$$\text{HRT} = \frac{V_R}{V} \dots\dots\dots (2)$$

dimana HRT adalah waktu retensi hidrolik (hari),  $V_R$  adalah volume reaktor atau digester ( $\text{m}^3$ ) dan  $V$  adalah volume umpan substrat persatuan waktu ( $\text{m}^3/\text{d}$ ).

Menurut persamaan di atas dengan meningkatkan kandungan bahan dapat menyebabkan pengurangan pada HRT. Waktu retensi yang diterapkan harus cukup panjang, untuk memastikan bahwa jumlah mikroorganisme yang hilang bersamaan limbah (digeste) tidak lebih tinggi dari jumlah mikroorganisme yang diproduksi ulang (Al Seadi *et al.*, 2008).

Kondisi tersebut merupakan suatu keadaan batas kemampuan sejumlah mikroba untuk mendegradasi suatu substrat setiap harinya, atau dapat dikatakan sebagai perbandingan antara jumlah substrat dan kapasitas konsumsi substrat dari sejumlah mikroba pada digester (*food-to-micro-organism ratio*). Kondisi ini merupakan faktor pengendali setiap tahap pengolahan biologis didalam digester.

Persentase dari jumlah substrat terkonversi menjadi biogas akan semakin besar apabila kondisi *food-to-micro-organism ratio (F/M)* dalam keadaan rendah.

Untuk mendapatkan kondisi tersebut maka waktu tinggal substrat harus lebih cepat melewati proses pengolahan, dibandingkan waktu tinggal mikroba yang harus tertahan lebih lama didalam digester (Abbasi *et al.*, 2012).

Waktu yang dibutuhkan untuk memperbanyak jumlah populasi dari mikroba pembentuk metana jauh lebih panjang dibandingkan dengan mikroba aerob atau anaerob fakultatif. Kondisi ini disebut sebagai waktu generasi. Oleh sebab itu, umumnya waktu yang dibutuhkan lebih dari 12 hari, dan tidak disarankan apabila terjadi di bawah kondisi 10 hari karena berpotensi menimbulkan *wash out*.

Kondisi waktu tinggal mikrobayang lebih tinggi, dapat membantu terjadinya aklimatisasi biologis pada senyawa beracun didalam digester sehingga menimbulkan keuntungan tersendiri bagi pencernaan anaerob. Kondisi tersebut dapat dicapai dengan memperbesar kapasitas pengisian atau volume, dan meningkatkan jumlah populasi padatan mikroba didalam digester. Peningkatan pada HRT dalam waktu penahanan lebih dari 12 hari tidak memberikan kontribusi signifikan untuk meningkatkan penghancuran padatan volatile. Perkiraan waktu generasi untuk berbagai jenis mikroba disajikan dalam Tabel 7. (Gerardi, 2003).

Perubahan pada konversi asam volatile menjadi produk gas dikendalikan oleh HRT (Gerardi, 2003). Pada kondisi suhu mesofilik HRT pencernaan anaerob dapat terjadi 10 sampai 30 hari (Demitriades, 2008). Nilai tahanan HRT dapat mempengaruhi laju dan tingkat produksi metana. HRT dimungkinkan parameter yang sangat berpengaruh pada konversi padatan volatil menjadi gas dari semua parameter yang ada (Gerardi, 2003).

Tabel 7. Perkiraan Waktu Generasi Bakteri pada Air Limbah

<b>Kelompok Bakteri</b>	<b>Fungsi</b>	<b>Perkiraan Waktu Generasi</b>
Organotrophs Aerobik	Pembentukan flok dan degradasi organik larut dalam lumpur aktif dan proses penyaringan trickling	15 – 30 menit
Organotrophs Anaerobik Fakultatif	Pembentukan flok dan degradasi organik larut dalam lumpur aktif dan proses filter trickling, hidrolisis dan degradasi organik dalam digester anaerobik	15 – 30 menit
Bakteri Nitrifikasi	Oksidasi $\text{NH}_4^+$ dan $\text{NO}_2^-$ dalam lumpur aktif dan proses penyaring trickling	02 – 03 hari
Bakteri Pembentuk Metana	Produksi metana pada digester anaerobik	03 – 30 hari

Sumber : Gerardi, M. H. (2003)

### 2.3.7 Kandungan Bahan Kering atau *Total Solids*

Kandungan padatan pada suatu bahan disebut kandungan bahan kering atau *total solids* dan biasa disingkat TS. Berdasarkan konsentrasi TS sistem pencernaan anaerob terbagi menjadi tiga tingkatan, yaitu pada komponen TS kurang dari 10% disebut sebagai sistem padatan rendah (*low solids sistem*), kemudian padatan menengah (*medium solids sistem*) dengan kandungan TS sekitar 15 – 20 %, dan padatan tinggi (*high solids sistem*) berkisar dari 22% sampai 40% (Tchobanoglous, 1993 dalam Verma, 2002). Pengurangan volume produksi biogas dapat terjadi apabila kandungan TS pada digester ditingkatkan (Verma, 2002). Pada fermentasi basah kandungan TS yang baik bagi pencernaan anaerob adalah sebesar 7 % sampai dengan 9 % (Paimin, 1995 dalam Sanjaya, 2015) sehingga apabila kandungan diatas nilai tersebut maka diberikan tambahan

perlakuan, yaitu berupa pengenceran dengan air. Perbandingan yang biasa digunakan pada kotoran sapi bercampur air yaitu 1:1 (Wahyuni, 2013).

## **2.4 Digester Biogas**

Limbah terlarut maupun yang tak dapat terlarut dapat diolah oleh digester anaerob. Limbah tak terlarut digambarkan dengan limbah berkekuatan tinggi seperti partikulat dan koloid organik. Limbah tak terlarut membutuhkan waktu pengolahan yang lebih panjang dibandingkan terlarut, karena membutuhkan waktu untuk proses hidrolisis. Secara umum waktu hidrolisis bagi limbah tak terlarut terjadi selama 10 sampai dengan 20 hari, sedangkan pengolahan limbah terlarut dalam digester anaerob dapat terjadi kurang dari 8 jam. Konfigurasi pada digester memiliki dampak terhadap waktu tinggal mikroba dan bahan. Waktu tinggal bahan secara minimal diharapkan akan mengurangi biaya dan volume digester, sedangkan waktu tinggal mikroba maksimal diharapkan akan meminimalkan lumpur pada digester dan waktu pencapaian stabilisasi proses degradasi (Gerardi, 2003).

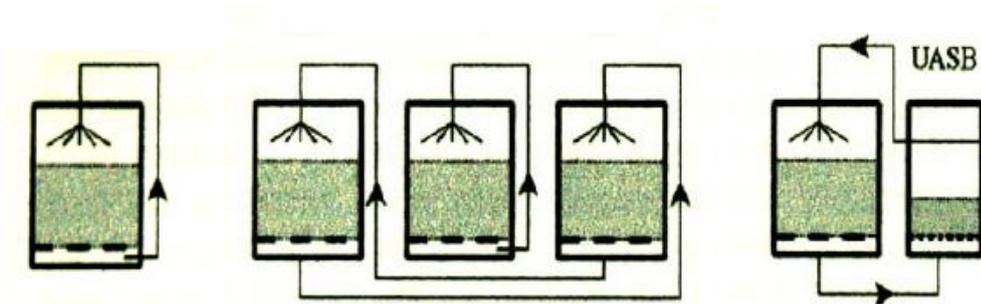
Digester berfungsi untuk menampung dan lokasi untuk memfermentasi bahan organik oleh mikroba sampai biogas terproduksi. Pembuatan atau disain dari pembangkit biogas ditentukan oleh komposisi kandungan kering substrat tercerna (*dry matter*). Penggunaan fermentasi basah akan dilakukan apabila kandungan tersebut lebih rendah dari 15 %, dan biasanya digunakan pada substrat basah seperti kotoran dan lumpur limbah. Pencernaan kering diterapkan pada nilai antara 20 – 40 % dan digunakan untuk substrat, seperti kotoran hewan

padat dengan kandungan tinggi jerami, limbah rumah tangga, sampah organik padat perkotaan, potongan hijau, dan rumput dari pemeliharaan lanskap atau tanaman energi (Al Seadi *et al.*, 2008). Terdapat berbagai tipe digester berdasarkan beberapa kriteria, salah satunya pada kriteria teknik pengisian bahan baku, seperti di bawah ini.

#### **2.4.1 Digester Tipe *Batch***

Jenis digester *batch* pada umumnya digunakan dalam pencenaan fermentasi kering. Sistem penggunaan digester dilakukan dengan mengisi bahan baku segar pada porsi *batch* yang sama, kemudian bahan baku tersebut dibiarkan tercerna dan dipindahkan atau dibongkar secara keseluruhan. Proses tersebut diulang dengan mengisi kembali bahan baku segar dengan porsi yang sama. Contoh dari jenis digester ini adalah digester jenis garasi. Digester jenis garasi terbuat dari bahan beton, dan digunakan untuk penanganan sumber sampah organik dari rumah tangga, potongan rumput, kotoran padat dan tanaman energi. Proses pencernaan pada digester ini tidak memerlukan proses pencampuran bahan, melainkan menggunakan proses inokulasi dengan digeste. Inokulasi dilakukan dengan cara menyemprotkan mikroba ke bagian atas bahan baku secara terus menerus. Penyemprotan terjadi melalui proses resirkulasi dari perembesan zat cair menggunakan bakteri biomassa. Sistem pemanas dan *heat exchanger* dibangun pada lantai di dalam digester untuk mengatur suhu proses dan menampung rembesan zat cair. Sistem pencernaan *batch* memiliki keuntungan dibandingkan dengan sistem lainnya, yaitu pada biaya penggunaan dan teknologi mekanik yang

lebih rendah. Kelemahan sistem batch berupa konsumsi energi proses dan biaya pemeliharaanyang tinggi(Al Seadi *et al.*, 2008). Terdapat tiga jenis sistem batch yaitu *single stage batch system*, *sequential batch system* dan *uplow anaerobik sludge blanket reaktor*atau disebut UASB, ketiga sistem tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.

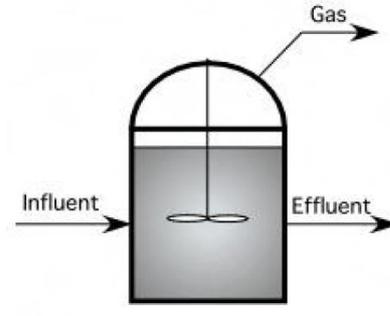


Gambar 2. *Single Stage, Sequential, dan UASB Reaktor* (Verma, 2002)

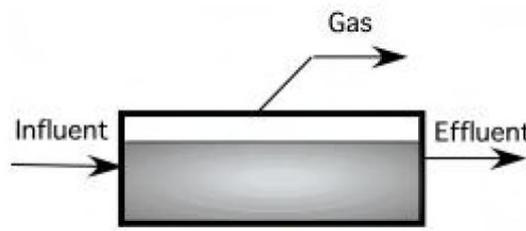
#### 2.4.2 Digester Tipe Kontinyu

Digester ini memiliki keunggulan dari sistem *batch* berupa sistem pengisian yang tidak memerlukan pembongkaran sehingga produksi biogas tidakakan terganggu masalah tersebut, selain itu jumlah produksi biogas terjadi secara konstan dan dapat diprediksi. Sistem pengisian bahan baku dilakukan secara terus-menerus ke dalam tangki digester. Bahan baku yang diisikan bergerak melewati digester disebabkan oleh gerakan mekanis ataupun dorongan dari bahan baru yang diumpankan ke dalam tangki. Sistem dapat terbagi menjadi vertikal, horizontal atau berganda. Biasanya sistem vertikal digunakan pada jenis digester campuran substrat secara menyeluruh dan lebih dikenal dengan *completely mixed digesters*. Pada sistem horizontal pencampuran bahan baku dilakukan tipe aliran *plug flow*

*digesters*(Al Seadi *et al.*, 2008). Kedua sistem digester ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4.



Gambar3. Digester Tipe *Completely Mixed* (Burke, 2001)



Gambar4. Digester Tipe *Plugflow* (Burke, 2001)

Digester tipe kontinyu dapat diberi umpan secara terus menerus, dalam sistemnya penambahan substrat bersamaan dengan keluarnya residu dari digester. Digester dapat diberi umpan antara 1 sampai dengan 8 kali perharinya, substrat pada sistem ini tidak terdegradasi sepenuhnya akibat dari *outtake* secara bersamaan. Tingkat degradasi substrat berkisar 50% sampai dengan 70%. Pengumpanan digester dengan ukuran lebih kecil dapat dilakukan satu sampai dua kali, sedangkan untuk yang lebih besar dapat diumpankan secara terus menerus dengan interval di bawah satu jam (Demitriades, 2008).

## 2.5 Bahan Kotoran Sapi

Bahan isian dipilih kotoran sapi dikarenakan berbagai keunggulan yang dimiliki seperti potensi energi listrik yang dihasilkan. Setiap harinya kotoran yang dihasilkan dari seekor sapi dapat mencapai 25 kg sehingga potensi dari 4000 ekor sapi dapat menghasilkan sejumlah 3.760 kWh/hari atau 12,8297 mega Btu energi listrik. Dilihat dari hal tersebut kotoran sapi memiliki keunggulan dibandingkan bahan lain, seperti kotoran gajah dengan hasil energi listrik sejumlah 2.538 kWh/hari, babi sejumlah 698,79 kWh/hari, itik sejumlah 281,76 kWh/hari, dan manusia sejumlah 48,4 kWh/hari (Saputriet *al.*, 2014). Selain itu kebutuhan akan penelitian kedepan pada faktor pengaruh tingkat pembebanan organik (*loading rate*) dalam mode semi kontinyu merupakan faktor penting pada biogas berbahan baku kotoran sapi (Abubakar and Ismail, 2012). Berikut kandungan yang terdapat pada lumpur kotoran sapi dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Kandungan Bahan Kotoran Sapi

<b>Jenis Komponen</b>	<b>Kandungan tersedia</b>
Kandungan organik	Karbohidrat, protein, lipid
C: N rasio	6 – 20
DM%	80
VS% dari DM	5 – 12
Hasil biogas m <sup>3</sup> * kg <sup>-1</sup> VS	0,20 – 0,30
Kotoran fisik yang tidak diinginkan	Bulu, tanah, air, jerami, kayu
Hal yang tidak diinginkan lainnya	Antibiotik, disinfektan, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>

Sumber: Al Sadi *et al.* (2001)

### **III. METODOLOGI**

#### **3.1 Waktu dan Tempat**

Penelitian ini dilaksanakan bulan November tahun 2015 sampai dengan selesai.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Daya dan Alat Mesin Pertanian dan Laboratorium Rekayasa Sumber Daya Air Lahan Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

#### **3.2 Bahan dan Alat**

Bahan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu kotoran sapi, air, dan aquades sedangkan alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu digester tipe semi kontinyu volume 38 liter dan balon 5 buah, ember dan bak 5 buah, termokopel, pH meter, timbangan analitik, gelas ukur 150 ml, oven, cawan petri, nampan 5 buah, tanur, dan desikator.

#### **3.3 Perlakuan**

Penelitian dilakukan dengan mengisikan 5 variasi loading rate ke dalam digester biogas tipe semi kontinyu, variasi loading rate didasarkan pada kondisi suhu

lingkungan, yaitu mesofilik dimana HRT atau waktu tinggal substrat berkisar antara 10 sampai dengan 40 hari (Demitriades, 2008 ; Abbasi *et al.*, 2012).

Volume isian yang digunakan pada digester yaitu 25 liter. Sehingga didapat variasi umpan sebagai berikut:

Tabel9. Variasi Umpan dan Laju Pembebanan Kotoran Sapi Segar

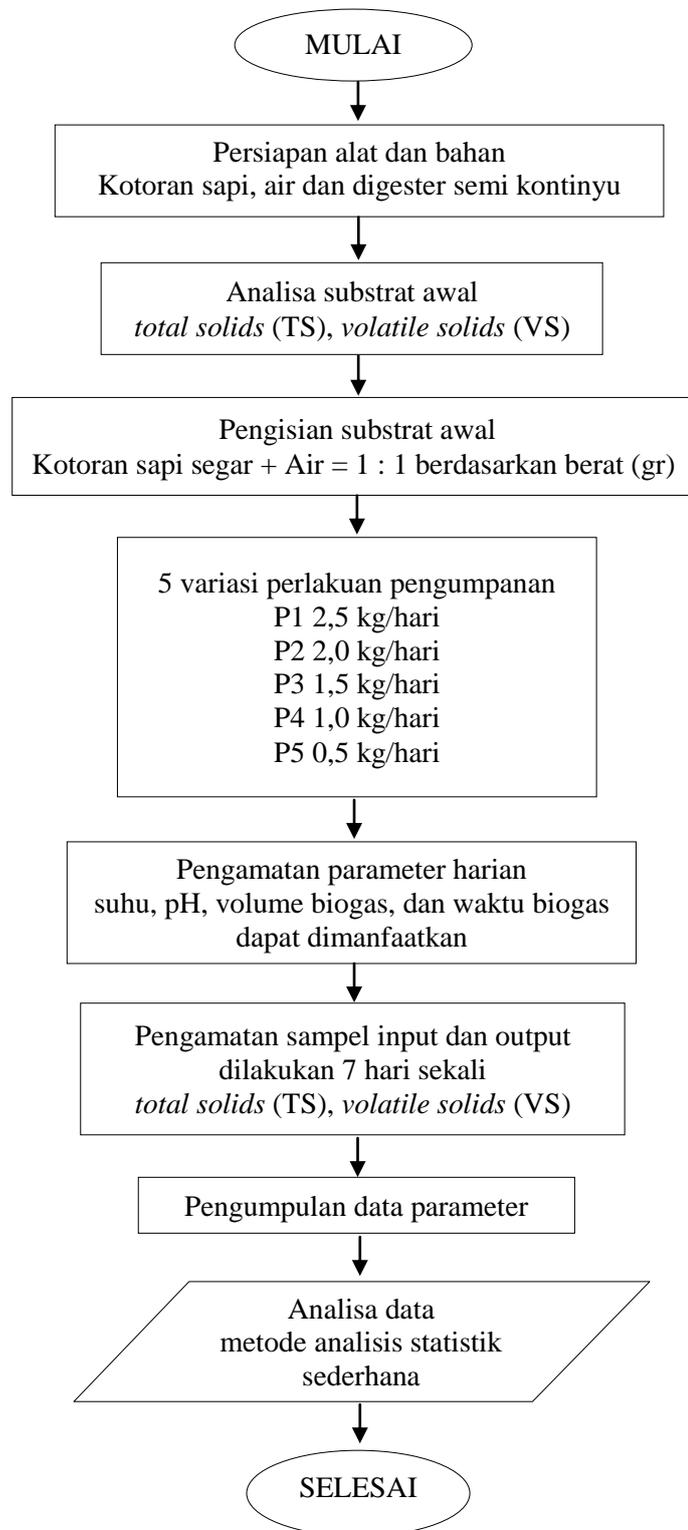
<b>Volume Digester (ℓ)</b>	<b>Hydraulic Retention Time (hari)</b>	<b>Umpan (kg/hari)</b>	<b>Laju Pembebanan (kg/hari/m<sup>3</sup>)</b>
25	10,0	1,25	3,33
25	12,5	1,00	2,67
25	16,7	0,75	1,90
25	25,0	0,50	1,23
25	50,0	0,25	0,65

### 3.5 Persiapan Alat

Digester yang digunakan merupakan jenis semi kontinyu dengan kapasitas volume 36 liter. Digester terdiri dari dua bagian galon yang dipotong dan disambungkan, corong masukan (*inlet*), saluran keluaran (*outlet*), dan penampung biogas. Bahan yang digunakan berupa 2 buah galon, resin 3 kaleng, aibon 1 kaleng, pipa 1 ½ inchi, corong, dop ban motor, kran gas 0,5 inchi, balon penampung. Alat yang digunakan terdiri dari gergaji besi, bor listrik, kunci pas ukuran 12. Peletakan dilakukan merebah dikarenakan pada posisi tersebut digester lebih baik dibandingkan posisi berdiri (Sholeh *et al.*, 2012).Perakitan digester semi kontinyu dijelaskan sebagai berikut:

1. Pemotongan pada bagian dasar galon sehingga membentuk lubang sesuai diameter galon.

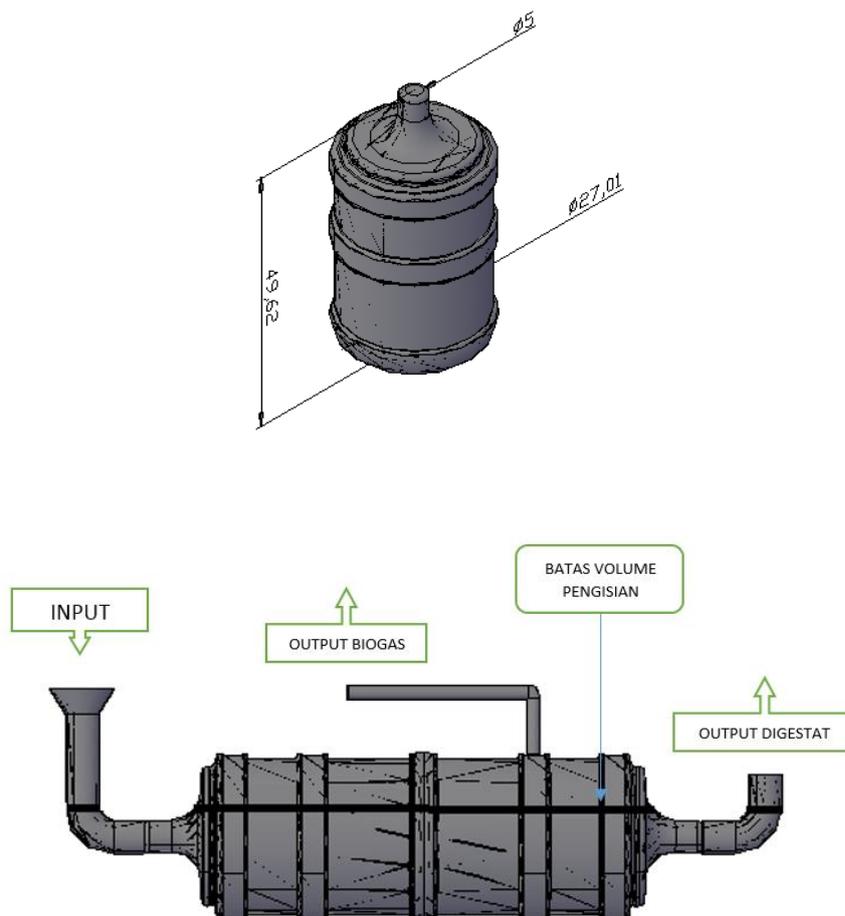
### 3.4 Prosedur Penelitian



Gambar5.Diagram Alir Penelitian

2. Pelubangan pada bagian sisi dinding galon dengan bor, sesuai ukuran dop ban motor. Dop motor dipasang dilapisi karet dan direkatkan dengan lem aibon. Dipasang ring, mur ukuran 12 inchi dikencangkan dengan kunci pas 12.
3. Penyambungan kedua buah galon dan direkatkan dengan resin selama  $\pm 1$  jam pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  dilakukan pada siang hari.
4. Penyambungan pipa pada bagian ujung galon dengan resin.

Bahan galon dan digester yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 6. sebagai berikut.



Gambar 6. Digester Semi Kontinyu dan Bahan Galon Air

### **3.6 Persiapan Bahan**

Bahan umpan berupa kotoran sapi segar didapat dari wilayah Desa Pancasila, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan. Bahan kotoran sapi diambil pada pagi atau sore hari sebelum dilakukan pengisian.

### **3.7 Parameter Pengamatan**

Pengamatan kandungan bahan meliputi TS (*total solids*), VS (*volatile solids*). Kontrol digester juga diamati meliputi parameter pH dan suhu, sedangkan untuk produksi biogas meliputi parameter volume, waktu pembentukan dan produktivitas biogas. Pengamatan dilakukan selama  $\pm 54$  hari terhitung semenjak digester digunakan. Penelitian ini menggunakan 5 variasi perlakuan dengan parameter pengukuran yang dijelaskan di bawah ini.

#### **3.7.1 Derajat Keasaman atau pH Substrat**

Pengukuran dilakukan setiap hari sejak awal pengisian dan dilakukan pada pagi, siang dan sore hari, bertujuan mengetahui kondisi alkalinitas substrat dalam digester. Pengukuran pH substrat dilakukan menggunakan alat pH meter merek PHMETER tipe pen, model PH\_009(I).

### 3.7.2 Pengukuran Temperatur

Metode pengukuran yang digunakan yaitu dengan cara mengukur temperatur setiap harinya semenjak bahan diisikan, yaitu pada waktu pagi, siang dan sore hari. Pengukuran dilakukan pada temperatur ruang dan temperatur pada digester. Alat yang digunakan yaitu thermokopel. Satuan yang digunakan adalah °C.

### 3.7.3 Kandungan TS (*total solids*) dan VS(*volatile solids*)

Karakteristik bahan substrat awal dianalisa, yaitu pada TS (*total solids*) dan VS (*volatile solid*). Analisa TS bertujuan untuk mengetahui komponen kering pada bahan, sedangkan VS dilakukan untuk mengetahui jumlah komponen organik dalam bahan. Analisa ini dilakukan pada awal pengisian digester dan setiap 7 hari sekali, yaitu pada umpan substrat bahan segardan hasil digesteyang terbuang. Pengukuran dilakukan di labolatorium Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. TS dan VS diukur secara metode gravimetri menggunakan oven merek Memmert tipe UM 500 dan tanur merek Barnstead International model FB1310M-33. Metode pengambilan sampel dan pengukuran ditunjukan pada lampiran. TS dan VS dihitung menggunakan Perhitungan<sup>3</sup> sampai dengan 5.sebagai berikut:

Total Solid atau TS sampel (gram)

$$TS = W_2 - W_0 \dots\dots\dots (3)$$

Kadar Abu atau TFS (gram)

$$TFS = W_3 - W_0 \dots\dots\dots (4)$$

Volatile Solid atau VS sampel (gram)

$$VS = TS - TFS \dots\dots\dots (5)$$

dimana  $W_0$  adalah berat cawan (gram),  $W_1$  adalah berat sampel dan cawan (gram),  $W_2$  adalah berat kering dan cawan (gram),  $W_3$  adalah berat abu dan cawan (gram).

### 3.7.4 Kadar C dan N

Kadar C dan N bahandiambil berdasarkan dari penelitian sebelumnya (Sanjaya, 2015). Rasio C/N bahan dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\text{Rasio C/N} = \frac{\text{Kadar C organik}}{\text{Kadar N organik}} \dots\dots (6)$$

### 3.7.5 Volume Biogas Selama Kondisi Stabil

Besarnya hasil laju produksi biogastotal selama kondisi stabil dapat dihitung pada Persamaan 7, seperti di bawah ini.

$$P_b = \sum \text{Volume biogas } (\ell) \dots\dots\dots (7)$$

dimana  $P_b$  adalah total volume produksi biogas ( $\ell$ ), Volume gas merupakan jumlah total gas yang diukur setiap hari semenjak biogas pada kondisi stabil terbentuk sampai batas akhir pengamatan.

### 3.7.6 Produktivitas Biogas

Produktivitas biogas ( $\ell$ /gr  $TS_{in}$ /hari) diukur sebagai hasil volume biogas per  $TS_{in}$  (gram). Pengukuran dilakukan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Produktivitas} = \frac{P_b}{TS_{in}} \dots\dots\dots (8)$$

dimana  $P_b$  adalah total volume produksi biogas ( $\ell$ ) dan  $TS_{in}$  (gram/hari) merupakan TS umpan pada perlakuan laju pembebanan.

### 3.8 Pengisian Substrat Awal

Pengisian substrat awal dilakukan dengan mencampurkan kotoran sapi dan air berbanding 1: 1, pencampuran dilakukan secara perlahan dan merata dengan menambahkan air ke dalam kotoran sapi. Campuran yang telah siap kemudiandimasukan ke dalam digester dengan volume pengisian sebesar 25 liter untuk setiap digester.

### 3.9 Pengisian Umpan dan Laju Pembebanan

Pengisian bahan organik dilakukan setiap sore hari, semenjak hari bahan diisikan dan dilakukan dengan interval satu kali sehari, dengan variasi pengumpanandan laju pembebanan sesuai dengan prosedur.

### 3.10 Uji Nyala

Uji nyala dilakukan setelah gas terproduksi dengan cara membakar biogas tersebut menggunakan burner. Hal ini bertujuan untuk mengetahui hasil biogas dapat dimanfaatkan atau tidak.

### 3.11 Analisis Data

Percobaan ini menggunakan rancangan percobaan analisis statistik sederhana, dengan perbandingan parameter pengamatan sebagai berikut:

1. Tingkat pH dan suhu pada perlakuan P1 dengan laju pembebanan 3,33 kg/hari/m<sup>3</sup>, P2 dengan laju pembebanan 2,67 kg/hari/m<sup>3</sup>, P3 dengan laju pembebanan 1,90 kg/hari/m<sup>3</sup>, P4 dengan laju pembebanan 1,23 kg/hari/m<sup>3</sup> dan P5 dengan laju pembebanan 0,65 kg/hari/m<sup>3</sup>.
2. Komponen dari bahan yang dinyatakan dengan TS, VS in dan out pada perlakuan P1 dengan laju pembebanan 3,33 kg/hari/m<sup>3</sup>, P2 dengan laju pembebanan 2,67 kg/hari/m<sup>3</sup>, P3 dengan laju pembebanan 1,90 kg/hari/m<sup>3</sup>, P4 dengan laju pembebanan 1,23 kg/hari/m<sup>3</sup> dan P5 dengan laju pembebanan 0,65 kg/hari/m<sup>3</sup>.
3. Produksi biogas yang dihasilkan pada saat kondisi stabil pada perlakuan P1 dengan laju pembebanan 3,33 kg/hari/m<sup>3</sup>, P2 dengan laju pembebanan 2,67 kg/hari/m<sup>3</sup>, P3 dengan laju pembebanan 1,90 kg/hari/m<sup>3</sup>, P4 dengan laju pembebanan 1,23 kg/hari/m<sup>3</sup> dan P5 dengan laju pembebanan 0,65 kg/hari/m<sup>3</sup>.

4. Produktivitas dan waktu pemanfaatan biogas yang dihasilkan pada perlakuan P1 dengan laju pembebanan  $3,33 \text{ kg/hari/m}^3$ , P2 dengan laju pembebanan  $2,67 \text{ kg/hari/m}^3$ , P3 dengan laju pembebanan  $1,90 \text{ kg/hari/m}^3$ , P4 dengan laju pembebanan  $1,23 \text{ kg/hari/m}^3$  dan P5 dengan laju pembebanan  $0,65 \text{ kg/hari/m}^3$ .
5. Data yang didapat kemudian disajikan dalam bentuk grafik dan tabel, untuk kemudian dibandingkan, dibahas dan ditarik kesimpulan.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari variasi perlakuan laju pembebanan umpan kotoran sapi pada digester semi kontinyu adalah sebagai berikut :

1. 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. Hasil terbaik ditunjukkan oleh laju pembebanan  $0,65 \text{ kg/hari/m}^3$ , yaitu  $3,16 \text{ l/gram TS}_{in}/\text{hari}$ .
2. Hasil produksi biogas dapat dibakar pada hari berbeda bergantung pada laju pembebanan yang diberikan, yaitu hari ke-22 pada perlakuan laju pembebanan  $3,33 \text{ kg/hari/m}^3$  dan  $2,67 \text{ kg/hari/m}^3$ , hari ke-27 pada beban  $1,90 \text{ kg/hari/m}^3$ , hari ke-24 pada beban  $1,23 \text{ kg/hari/m}^3$  dan hari ke-26 pada beban  $0,65 \text{ kg/hari/m}^3$ . Warna nyala api yang dihasilkan setiap perlakuan tidak jauh berbeda yaitu berwarna biru ketika terbakar.
3. Menggunakan pendekatan *indikator simple moving average* kestabilan setiap perlakuan rata-rata tercapai sekitar hari ke-44 dengan kestabilan dan total produksi terbaik diperoleh pada laju pembebanan  $0,65 \text{ kg/hari/m}^3$ , yaitu sebesar 72,34 liter.

## 5.2 Saran

Pada digester semi kontinyu, kondisi bahan di dalam digester mengalami penumpukan dan terjadinya lapisan substrat. Penambahan sistem pengaduk dapat dijadikan solusi, karena keuntungan yang diperoleh berupa penyebaran substrat yang lebih merata sehingga kondisi tersebut dapat dihindari.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, T., S. M. Tauseef, and S. A. Abbasi. 2012. *Biogas Energy*. Springer Briefs in Environmental Science: New York. 184 Hlm.
- Abubakar, B. S. U. I., and N. Ismail. 2012. Anaerobic Digestion Of Cow Dung For Biogas Production. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 7 (2) : 169-172.
- Al Seadi, T., D. Rutz, H. Prassl, M. Köttner, T. Finsterwalder, S. Volk, and R. Janssen. 2008. *Biogas Handbook*. University of Southern Denmark: Esbjerg. 126 Hlm.
- Burke, D. A. 2001. *Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook*. Environmental Energy Company: Olympia. 57 Hlm.
- Chen, Y., B. Röbber, S. Zielonka, A. M. Wonneberger, and A. Lemmer. 2014. Effects of Organic Loading Rate on the Performance of a Pressurized Anaerobic Filter in Two-Phase Anaerobic Digestion. *Jurnal energi*. 7: 736-750.
- Demetriades, P. 2008. *Thermal Pre-Treatment Of Cellulose Rich Biomass For Biogas Production*. Master thesis for the Program in Natural Resources – Biology and Soil. Swedish University of Agricultural Sciences: Uppsala.
- Sanjaya, D. 2015. *Produksi Biogas Dari Campuran Kotoran Sapi Dengan Kotoran Ayam*. Skripsi Sarjana pada Fakultas Pertanian Universitas Lampung: tidak diterbitkan.
- Saputri, Y. F., T. Yuwono, dan S. Mahmudsyah. 2014. Pemanfaatan Kotoran Sapi untuk Bahan Bakar PLT Biogas 80 KW di Desa Babadan Kecamatan Ngajum Malang. *Jurnal Teknik Pomits*. 1(1) : 1-6.
- Sholeh, A. Sunyoto, dan A. H. Dony. 2012. Analisis Komposisi Campuran Air Dengan Limbah Kotoran Sapi Dan Peletakan Posisi Digester Terhadap Tekanan Gas Yang Dihasilkan. *Journal of Mechanical Engineering Learning*. 1(1) : 14-20.
- Kementrian Energi Sumber Daya Mineral. 2012. Kajian Indonesia Energi Outlook, Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral Kementrian Energi Dan Sumber Daya Alam Mineral. 95 Hlm.
- Ford, S. 2012. *Advances in Biogas*. Pira International Ltd: Leatherhead. 66 Hlm.

- Gerardi, M. H. 2003. *The microbiology of anaerobic digesters*. John Wiley & Sons, Inc:Pennsylvania. 188 Hlm.
- Verma, S. 2002. Anaerobic Digestion Of Biodegradable Organics In Municipal Solid Wastes. *Submitted in partial fulfillment of the requirements for Master of Science Degree in Earth Resources Engineering*.Columbia University.
- Wahyuni, S. 2013. *Biogas Energi Alternatif Pengganti BBM, Gas dan Listrik*. Edisi Pertama. PT Agro Media Pustaka: Jakarta. 110 Hlm.
- Wiratama, I. P. A., I. G. K. Sukadana,dan I. G. N. P. Tenaya.2012. Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Bahan Kering Terhadap Produksi dan Nilai Kalor Biogas Kotoran Sapi. *Jurnal Energi dan Manufaktur*.5 (1) : 1-97.
- Zamri, A. 2013.Pengaturan Suhu Terhadap Produksi Gas Metan Pada Reaktor Biogas. *Jurnal Elektron*. 5 (1) : 63-70.