

**PENGARUH FREKUENSI PENGUMPANAN TERHADAP PRODUKSI
DAN KUALITAS BIOGAS DARI CAMPURAN KOTORAN SAPI DAN
RUMPUT GAJAH (*Pennisetum purpureum*) PADA DIGESTER
SEMI KONTINYU**

(Skripsi)

Oleh

ARIF JUNAIDI



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

ABSTRAK

PENGARUH FREKUENSI PENGUMPANAN TERHADAP PRODUKSI DAN KUALITAS BIOGAS DARI CAMPURAN KOTORAN SAPI DAN RUMPUT GAJAH (*Pennisetum purpureum*) PADA DIGESTER SEMI KONTINYU

Oleh

ARIF JUNAIDI

Energi di Indonesia memiliki peran penting bagi kehidupan manusia. Terlebih, hampir semua setiap aktivitas manusia tergantung pada energi. pemakaian energi yang semakin meningkat akan menyebabkan berkurangnya cadangan energi. Kelangkaan energi saat ini membuat manusia memikirkan energi alternatif untuk menggantikan energi fosil yang semakin berkurang. Oleh karena itu dibutuhkan energi alternatif yang ramah lingkungan dan memiliki sumber yang dapat diperbaharui. Biogas merupakan salah satu alternatif sumber energi terbarukan yang dapat menjawab kebutuhan energi. Produksi biogas dipengaruhi oleh Rasio C/N, suhu, nilai pH, *total solid* (TS) dan laju pengumpanan. Penelitian ini bertujuan untuk Mengetahui Pengaruh Frekuensi Pengumpanan Terhadap Produksi dan Kualitas Biogas dari Campuran Kotoran Sapi dan Rumput Gajah (*Pennisetum Purpureum*) pada Digester Semi Kontinyu.

Penelitian ini menggunakan tipe semi kontinyu dengan volume kerja 30 L.

Rumput gajah yang diperoleh dari petani di kemiling (Bandar Lampung) dicacah

dan di haluskan menggunakan blender. Kotoran sapi segar diambil dari Laboratorium di Jurusan Peternakan, Universitas Lampung. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Daya dan Alat Mesin Pertanian (DAMP), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada bulan agustus sampai dengan desember 2017. Perlakuan pada penelitian ini menggunakan 5 perlakuan dengan *Loading Rate* 0,5 liter dan beda frekuensi yaitu P1 (0,5 ℓ/sehari), P2 (1 ℓ/2 hari), P3 (1,5 ℓ/3 hari), P4 (2 ℓ/4hari), P5 (2,5 ℓ/5 hari). Parameter yang diamati pada penelitian ini meliputi temperatur harian, pH awal dan akhir substrat, kandungan TS dan VS, volume biogas, produktivitas biogas dan komposisi biogas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai pH berturut-turut adalah 6,8, 7,0, 7,0, 6,8, 6,8. Suhu harian rata-rata hampir sama untuk semua perlakuan yaitu 28.33 °C, 28.05 °C, 28,11 °C, 28.34 °C dan 28.35 °C. Total dari produksi biogas adalah 311,9 ℓ, 172 ℓ, 254,7 ℓ , 344,3 ℓ dan 186,7 ℓ berturut-turut untuk P1, P2, P3, P4 dan P5 dengan produktivitas biogas secara berurutan adalah 15,76 ℓ/kgVS, 4,82 ℓ/kgVS, 10,55 ℓ/kgVS, 25,02 ℓ/kgVS dan 14,87 ℓ/kgVS . Hasil produktivitas metana adalah 6.24ℓ/kgVS, 1.91ℓ/kgVS, 3.88ℓ/kgVS, 12.96ℓ/kgVS dan 6.12ℓ/kgVS.

Keyword: Biogas, kotoran sapi, rumput gajah, Frekuensi pengumpanan.

ABSTRACT

**INFLUENCE OF FREQUENCY OF PRODUCTION AND QUALITY OF
BIOGAS FROM MIXED DAIRY SOFTWARE AND ELEPHANT GRASS
(*Pennisetum purpureum*) ON DIGESTER
SEMI KONTINYU**

By

ARIF JUNAIDI

Energy in Indonesia has an important role for human life. Moreover, almost every human activity depends on energy. the increased energy consumption will lead to reduced energy reserves. The current scarcity of energy makes people think of alternative energy to replace the fossil energy that is dwindling. Therefore, it needs alternative energy that is environmentally friendly and has a renewable source. Biogas is an alternative source of renewable energy that can answer the energy needs. Biogas production by C / N Ratio, Temperature, pH, total solids (TS), and feed rate. This study aims to determine the Effect of Feeding Frequency on Production and Quality of Biogas from Cowdung and Elephant Grass (*Pennisetum purpureum*) in Semi Continuous digester. This research used semi continuous digester type with volume of 30 L. The elephant grass obtained from farmer in kemiling (Bandar Lampung) then enumerated and blended using blender. Fresh cowdung from the Laboratory at the Livestock Department, University of Lampung. This was taken research was conducted at DAMP

Laboratory, Agricultural Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Lampung from August to December 2017. The treatment were 5 treatments namely 0,5 liter Loading Rate and P1 frequency (0.5 ℓ / day), P2 (1.5 ℓ / 3 days), P4 (2 ℓ / 4 days), P5 (2.5 ℓ / 5 days). Parameters that observed in this study include daily temperature, initial and substrate pH, TS and VS content, biogas volume, biogas productivity and biogas composition. The results of this research were pH values 6,8, 7,0, 7,0, 6,8, 6,8, respectively. The average daily temperature for all treatments, of 28,33 °C, 28,05 °C, 28,11 °C, 28,34 °C and 28,35 °C. Total of biogas production was 311,9 ℓ, 172 ℓ, 254,7 ℓ, 344,3 ℓ and 186,7 ℓ respectively for P1, P2, P3, P4 and P5 with biogas productivity respectively of 15,76 ℓ / kgVS, 4,82 ℓ / kgVS, 10,55 ℓ / kgVS, 25,02 ℓ / kgVS and 14,87 ℓ / kgVS. The yield of methane productivity of 6,24ℓ / kgVS, 1,91ℓ / kgVS, 3,88ℓ / kgVS, 12,96ℓ / kgVS and 6,12ℓ / kgVS.

Keyword : Biogas, cow dung, elephant grass, Frequency of feeding.

**PENGARUH FREKUENSI PENGUMPANAN TERHADAP PRODUKSI
DAN KUALITAS BIOGAS DARI CAMPURAN KOTORAN SAPI DAN
RUMPUT GAJAH (*Pennisetum purpureum*) PADA DIGESTER**

SEMI KONTINYU

Oleh

Arif Junaidi

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
2018**

Judul Skripsi : **PENGARUH FREKUENSI PENGUMPANAN TERHADAP PRODUKSI DAN KUALITAS BIOGAS DARI CAMPURAN KOTORAN SAPI DAN RUMPUT GAJAH (*Pennisetum purpureum*) PADA DIGESTER SEMI KONTINYU**

Nama Mahasiswa : **Arif Junaidi**

No. Pokok Mahasiswa : 1214071013

Jurusan : Teknik Pertanian

Fakultas : Pertanian



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

Tri Wahyu Saputra, S.TP., M.Sc.
NIK 231704890629101

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

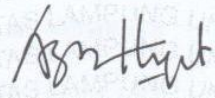
Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
NIP 19650527 199303 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

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



Sekretaris

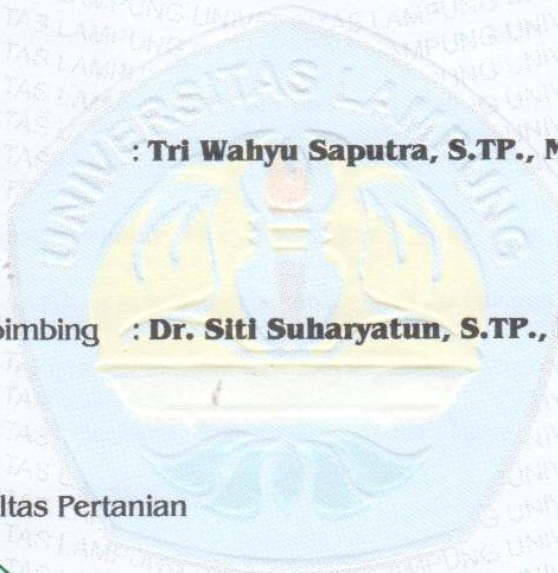
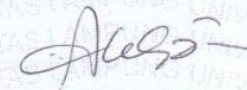
: Tri Wahyu Saputra, S.TP., M.Sc.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Dr. Siti Suharyatun, S.TP., M.Si.



2. Dekan Fakultas Pertanian



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

NIP. 19611020 198603 1 002

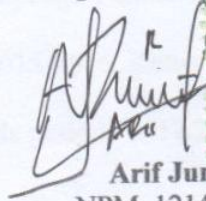


Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 7 Februari 2018

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah Arif Junaidi NPM 1214071013. 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) **Tri Wahyu Saputra, S.T.P., 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 dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, Februari 2018
Yang membuat pernyataan



Arif Junaidi
NPM. 1214071013



RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sumber Rejo pada tanggal 22 Juli 1993, sebagai anak pertama dari pasangan Bapak Edi Supryanto dan Ibu Yuli Ningsih. Penulis menempuh pendidikan di MII Darul Ulum 1 Karang Sari pada tahun 1999 sampai dengan tahun 2005.

Penulis menyelesaikan pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Belitang Madang Raya pada tahun 2008

dan sekolah menengah atas diselesaikan di SMAN 1 Belitang pada tahun 2011.

Pada tahun 2012, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur MANDIRI.

Penulis bergabung dalam organisasi tingkat jurusan yaitu Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP). Penulis bergabung dalam Unit Kegiatan Mahasiswa Fotografi ZOOM Universitas Lampung. Penulis menjabat sebagai Sekretaris Bidang Pendidikan pada periode 2015-2016, Ketua Umum pada periode 2016-2017 dan Dewan Penasehat pada periode 2017/2018.

Pada tahun 2015, penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di PUSBANG TTG LIPI Subang, Jawa Barat, dengan judul “Kinerja Mesin Kristalisator Jahe Di Pusat Pengembangan Teknologi Tepat Guna – LIPI Kabupaten Subang – Jawa Barat”. PU dilaksanakan selama 27 hari dimulai tanggal 27 Juli 2015 sampai tanggal 27 Agustus 2015. Pada 2016 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Bangun Rejo, Kecamatan Semaka, Kabupaten Tangga Mus selama 60 hari mulai tanggal 18 Januari 2016 sampai dengan 17 Maret 2016.

Penulis bergabung dalam Ikatan Mahasiswa Oku Timur (IKAM OKUT). Ikam Okut adalah wadah perkumpulan mahasiswa/i yang berdomisili di Oku Timur yang sedang menimba ilmu di Lampung. Penulis masuk ke dalam kepengurus sebagai Ketua Bidang PSDM pada tahun 2013, dan Dewan Penasehat pada tahun 2014

Ucapan Terima Kasih

**Penelitian Ini Didanai dari Penelitian Skim STRANAS
Atas Nama Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
Nomor Kontrak 071/SP2H/LT/DRPM/IV/2017585**

Bismillahirrahmanirrahim

ku persembahkan karya kecil ini untuk

Kedua orangtuaku tercinta

Bapak Edi Supryanto

Ibu Yuli Ningsih

Adikku tersayang

Kharisma Oktavia

Cinta Agustin Lestari

Serta

“Kepada Almameter Tercinta”

Teknik Pertanian Universitas Lampung 2012

UKM Fotografi ZOOM UNILA

Dan IKAM OKUT

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “**PENGARUH FREKUENSI PENGUMPANAN TERHADAP PRODUKSI DAN KUALITAS BIOGAS DARI CAMPURAN KOTORAN SAPI DAN RUMPUT GAJAH (*Pennisetum purpureum*) PADA DIGESTER SEMI KONTINYU**” sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian. Penulis menyadari bahwa terselesaikannya kuliah dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung sekaligus sebagai Dosen Pembimbing Utama yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing, memotivasi, dan memberikan saran dalam proses penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Tri Wahyu Saputra, S.T.P., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan saran dan masukan terbaiknya dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Ibu Dr. Siti Suharyatun, S.T.P., M.Si. selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan banyak masukan, bimbingan dan saran.

4. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
5. Kedua orang tua, adik-adik yang sangat saya cintai. Bapak Edi Supryanto, Ibu Yuli Ningsih, Adikku Kharisma Oktavia dan Cinta Agustin Lestari yang senantiasa mendengarkan keluh kesahku, memberikan dukungan, motivasi, dan doa.
6. Sahabat–sahabat terbaikku yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian khususnya Teknik Pertanian 2012.
7. Semua sahabat-sahabat UKM fotografi ZOOM UNILA, terkhusus angkatan 16 yang telah memberi motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Semua sahabat-sahabat IKAM OKUT, yang telah memberi motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Keluarga Besar Teknik Pertanian Universitas Lampung.

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 penulisharapkan.

Bandar Lampung, Februari 2018

Penulis

Arif Junaidi

DAFTAR ISI

	Halaman
SANWACANA.....	i
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Biogas.....	4
2.2 Faktor Pembentuk Biogas	7
2.3 Digester Biogas	11
2.4 Rumput Gajah	12
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	14
3.1 Waktu dan Tempat	14
3.2 Alat dan Bahan	14
3.3 Perlakuan Penelitian.....	15
3.4 Prosedur Penelitian.....	15
3.4.1 Persiapan Digester.....	17
3.5 Parameter Pengamatan	18
3.5.1 Pengukuran Kadar Air, TS dan VS	18
3.5.2 Pengukuran pH dan Temperatur	19
3.5.3 Pengukuran Volume Biogas.....	20

3.5.4 Pengukuran Produktivitas Biogas	20
3.5.5 Pengukuran Komposisi biogas	21
3.5.6 Pengukuran C/N Rasio	21
3.6 Analisa Data	22
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1. Karakteristik Substrat.....	23
4.2. Periode Startup (Adaptasi)	24
4.3. Derajat Keasaman atau pH	25
4.4. Temperatur	26
4.5. Penurunan <i>Volatile Solid</i> (VS)	29
4.6. Produksi Biogas.....	30
4.7. Produktivitas Biogas	33
4.8. Kualitas Biogas	34
4.9. Produktivitas Metana.....	37
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	40
5.1. Kesimpulan	40
5.2. Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Karakteristik Substrat.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2. Periode Startup.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3. Penurunan <i>Volatile Solid</i> atau VSremoval.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. Produktivitas Biogas	Error! Bookmark not defined.
Tabel 5. Suhu Harian Pada Pagi Hari.....	45
Tabel 6. Suhu Harian Pada Siang Hari.....	47
Tabel 7. . Suhu Harian Pada Sore Hari	49
Tabel 8. Rata-rata pH Harian Digester.....	51
Tabel 9. Volume Biogas Harian.....	53
Tabel 10. Volume Biogas Kumulatif	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Diagram alir proses fermentasi anaerobik.....	5
Gambar 2. Diagram alir proses pembentukan biogas.	16
Gambar 3. Reaktor biogas.....	17
Gambar 4. Grafik pH rata-rata	Error! Bookmark not defined.
Gambar 5. Nilai pH harian	Error! Bookmark not defined.
Gambar 6. Grafik suhu rata-rata.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 7. Grafik suhu rata-rata harian pada (a) pagi, (b) siang dan (c) sore	Error! Bookmark not defined.
Gambar 8. Grafik volume biogas harian	Error! Bookmark not defined.
Gambar 9. Grafik pergerakan rata-rata produksi biogas (<i>moving average</i>) 5 harian	Error! Bookmark not defined.
Gambar 10. Grafik kumulatif biogas.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 11. Grafik produktivitas biogas (ℓ/kgVS).	Error! Bookmark not defined.
Gambar 12. Uji nyala api	Error! Bookmark not defined.
Gambar 13. Grafik uji gas metan	Error! Bookmark not defined.
Gambar 14. Grafik produktivitas metana.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 15. Cacahan rumput gajah.....	57
gambar 16. Penghalusan rumput gajah	57

Gambar 17. Bahan kotoran sapi.....	58
Gambar 18. Pencampuran bahan.....	58
Gambar 19. Pengukuran pH.....	59
Gambar 20. Pengukuran suhu	59
Gambar 21. Pengukuran volume biogas	60
Gambar 22. Uji nyala api	60

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi di Indonesia memiliki peran penting bagi kehidupan manusia. Terlebih, hampir semua setiap aktivitas manusia tergantung pada energi. Bertambahnya jumlah penduduk di Indonesia akan menyebabkan terjadinya peningkatan kebutuhan energi. Meskipun Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak, namun dengan pemakaian yang semakin meningkat akan menyebabkan berkurangnya cadangan minyak. Dampak pengambilan minyak yang berlangsung secara terus-menerus akan menyebabkan krisis pasokan minyak di Indonesia.

Pada kurun waktu 2013-2050 kebutuhan minyak mentah diperkirakan akan meningkat lebih dari 3 kali lipat dengan pertumbuhan rata-rata 3,3% per tahun dari 297 juta barel menjadi 980 juta barel. Apabila tidak menemukan cadangan baru yang cukup besar, maka impor minyak akan meningkat 8 kali lipat (BPPT, 2015). Jika keadaan ini dibiarkan dan manusia terpaksa pada penggunaan energi fosil, maka energi fosil akan habis dan menyebabkan kerusakan pada kehidupan manusia dan alam sekitar.

Kelangkaan energi saat ini membuat manusia memikirkan energi alternatif untuk menggantikan energi fosil yang semakin berkurang. Ada yang menggunakan energi matahari, energi air maupun energi angin. Selain itu, ada sumber energi alternatif yang sederhana dan cocok untuk masyarakat. Yaitu biogas (Wahyuni, 2013). Biogas adalah proses produksi gas bio dari material organik dengan bantuan bakteri. Proses degradasi material organik ini tidak melibatkan oksigen yang disebut *anaerobic digestion*. Gas yang dihasilkan sebagian besar berupa metana. Lebih dari 50% biogas sebagian besar mengandung metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2), serta beberapa kandungan yang jumlahnya kecil diantaranya *hydrogen sulfide* (H_2S), *amonia* (NH_3) dan *hydrogen* (H) (Saputri dkk., 2014).

Salah satu bahan baku dalam memproduksi biogas dari sektor pertanian dan peternakan adalah kotoran sapi. Kotoran sapi difermentasi menjadi biogas menggunakan digester (Wahyuni, 2013).

Produksi biogas sendiri sudah mulai berkembang dengan berbagai pengetahuan dan teknologi dengan memanfaatkan campuran dari berbagai bahan organik (Sanjaya, 2014). Salah satu campuran untuk memproduksi biogas yaitu rumput gajah (Ayub, 2014). Rumput gajah merupakan jenis bahan organik yang banyak tumbuh di Indonesia. Rumput gajah mudah dibudidayakan dan memiliki banyak kandungan protein dan karbohidrat yang tinggi. Rumput gajah juga memiliki produktivitas yang tinggi sebesar 87 ton/ha/tahun. Sehingga, rumput gajah berpotensi untuk campuran produksi biogas (Sawasdee dan Nipon, 2014).

Zealand (2017) Pada produksi biogas dengan kinerja frekuensi pengumpanan yang berbeda, akan menghasilkan biogas yang baik dan dapat menghasilkan lebih dari 50% gas metana. Kemungkinan tersebut membutuhkan pengkajian lebih lanjut sehingga perlu adanya penelitian yang terkait dengan frekuensi pengumpanan pada biogas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh frekuensi pengumpanan terhadap produksi dan kualitas biogas dari campuran kotoran sapi dan rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) pada digester semi kontinyu.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh frekuensi pengumpanan terhadap produksi dan kualitas biogas dari campuran kotoran sapi dan rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) pada digester semi kontinyu.
2. Mengetahui frekuensi pengumpanan terbaik dari campuran kotoran sapi dan rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) pada digester semi kontinyu.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat menghasilkan biogas yang optimal dalam penggunaan input berupa kotoran sapi dan rumput gajah.
2. Dapat memaksimalkan produksi biogas dari campuran kotoran sapi dan rumput gajah dengan frekuensi pengumpanan yang tepat.

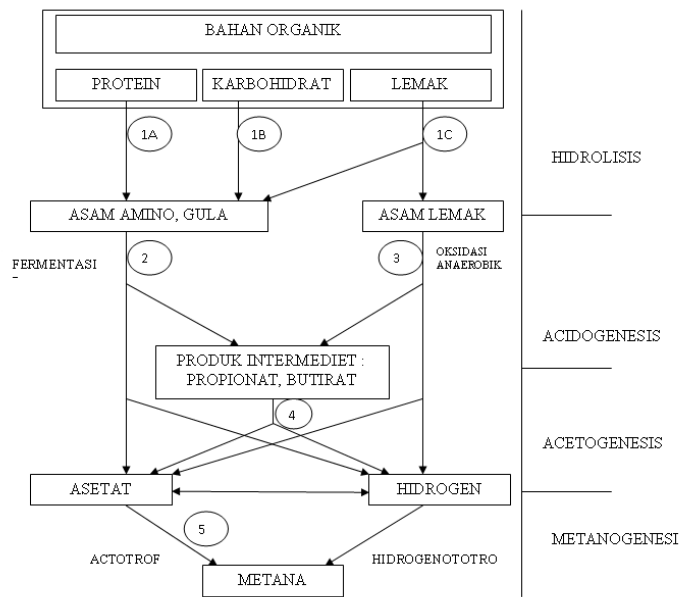
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biogas

Biogas merupakan gas yang dihasilkan pada kondisi aerob dan kondisi anaerob. Kondisi aerob terjadi segera setelah pembuangan limbah karena terjebak udara atmosfer. Tahap awal adalah proses aerob yang berumur pendek dan menghasilkan gas yang sebagian besar terdiri dari karbon dioksida (CO_2). Sejak oksigen habis, terjadi proses anaerob yang berupa 55% metana (CH_4) dan 45% karbondioksida (CO_2) dengan sedikit konsentrasi gas lainnya (Zamorano dkk., 2007). Biogas terbentuk pada hari ke 4 - 5 sesudah biodigester terisi penuh dan mencapai puncak pada hari ke 20 – 25 (Widjajanto, 2010)..

Biogas memiliki berat sekitar 20% lebih ringan dibandingkan dengan udara. Biogas memiliki suhu pembakaran antara 650 -750 °C, tidak berbau dan tidak berwarna. Apabila dibakar, akan menghasilkan nyala api biru cerah seperti gas LPG. Nilai kalor CH_4 adalah 35,8 MJ/Nm³ sehingga biogas dengan kandungan CH_4 sebesar 60% memiliki nilai kalor 21,5 MJ (Hasanudin dkk., 2015).

Secara keseluruhan terdapat tiga proses utama dalam pembentukan biogas, yaitu proses hidrolisis, pengasaman, dan metanogenesis. Proses pembentukan biogas dapat dilihat pada Gambar 1.

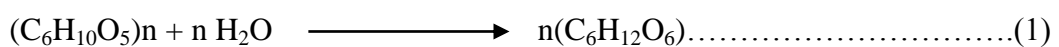


Gambar 1. Diagram alir proses fermentasi anaerobik (Jagadabhi, 2013).

1. Hidrolisis

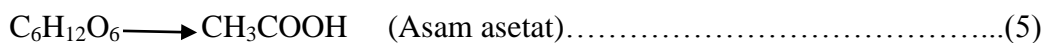
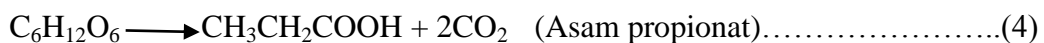
Hidrolisis merupakan tahap awal dari proses fermentasi. Tahap ini merupakan penguraian bahan organik dengan senyawa kompleks yang memiliki sifat mudah larut seperti lemak, protein, karbohidrat menjadi senyawa yang lebih sederhana. Tahap ini juga dapat diartikan sebagai perubahan struktur dari bentuk polimer menjadi monomer.

Senyawa yang dihasilkan dari proses hidrolisis diantaranya senyawa asam organik, glukosa, etanol, karbondioksida (CO₂), dan senyawa hidrokarbon lainnya. Senyawa ini akan dimanfaatkan mikroorganisme sebagai sumber energi untuk melakukan aktivitas fermentasi. Seperti pada Persamaan 1.



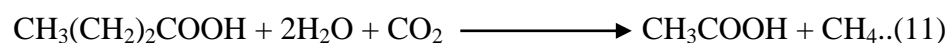
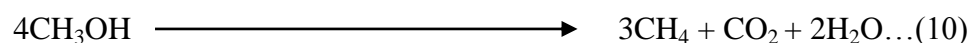
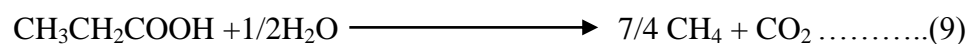
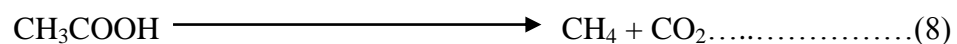
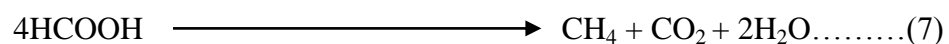
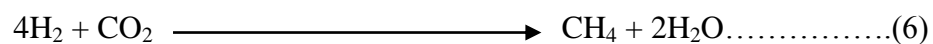
2. Pengasaman (Asidifikasi)

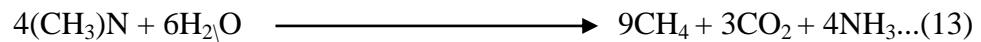
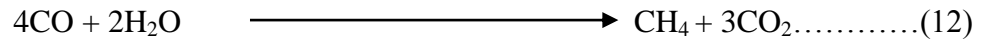
Pada tahap pengasaman (asidifikasi), senyawa-senyawa yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan dijadikan sumber energi bagi mikroorganisme untuk tahap selanjutnya pada tahap ini, bakteri akan menghasilkan senyawa-senyawa asam organik seperti asam asetat, asam propionat, asam butirat, dan asam laktat beserta produk sampingan berupa alkohol, CO₂, hidrogen, dan zat amonia. Seperti pada Persamaan 2, 3, 4, dan 5.



3. Metanogenesis

Bakteri metanogen seperti *methanococcus*, *methanosarcina*, dan *methanobacterium* akan mengubah produk lanjutan dari tahap pengasaman menjadi gas metan, karbondioksida, dan air yang merupakan komponen penyusun biogas. Reaksi perombakan yang terjadi pada tahap metanogenesis. Diperlihatkan pada persamaan 6 sampai 13.





Jumlah energi yang dihasilkan dalam pembentukan gas biogas sangat bergantung pada konsentrasi gas metana yang dihasilkan. Semakin tinggi konsentrasi gas metana yang dihasilkan maka makin besar pula energi yang terbentuk.

Sebaliknya, apabila konsentrasi gas metana yang dihasilkan rendah maka energi yang dihasilkan juga semakin rendah (Wahyuni, 2013 a).

2.2 Faktor Pembentuk Biogas

Variasi dari sifat-sifat biokimia menyebabkan produksi biogas yang bervariasi.

Sejumlah bahan organik dapat digunakan bersama-sama dengan beberapa persyaratan produksi gas atau pertumbuhan normal bakteri metan yang sesuai. Beberapa sifat bahan organik tersebut mempunyai pengaruh yang nyata pada tingkat produksi gas. Faktor pembentuk biogas yaitu:

1. Rasio C/N

Hubungan antara jumlah karbon dan nitrogen yang terdapat pada bahan organik dinyatakan dalam terminologi rasio karbon/nitrogen (C/N). Nilai optimum C/N rasio pada biogas berada pada kisaran rasio C/N 20-30. Apabila rasio C/N sangat tinggi, nitrogen akan dikonsumsi sangat cepat oleh bakteri metan sampai batas persyaratan protein dan selanjutnya bereaksi pada kandungan karbon pada bahan.

Sebagai akibatnya, produksi metana akan menjadi rendah. Sebaliknya, apabila rasio C/N sangat rendah, nitrogen akan bebas dan berakumulasi dalam bentuk amoniak (NH_4). NH_4 akan meningkatkan derajat pH bahan dalam digester. Apabila pH lebih tinggi dari 8,5, maka akan meracuni populasi bakteri metan (Dioha dkk., 2013).

2. Kotoran Hewan

Kotoran hewan, khususnya kotoran sapi, mempunyai rata-rata rasio C/N sekitar 24. Bahan dengan rasio C/N tinggi dicampur dengan bahan dengan rasio C/N-nya rendah akan menghasilkan rata-rata rasio campuran input pada tingkat yang dikehendaki.

3. Pengadukan

Pengadukan dilakukan untuk menjaga total partikel padat tidak mengendap pada dasar digester. Jika terlalu pekat, partikel-partikel menghambat aliran gas yang terbentuk pada bagian bawah digester. Sebagai akibatnya, produksi gas lebih sedikit dari perolehan optimum.

4. Kandungan Padatan Total (TS)

Berat padatan organik yang terbakar habis pada suhu $538\text{ }^\circ\text{C}$ didefinisikan sebagai padatan tak stabil. Potensi produksi biogas dari bahan-bahan organik dapat dikalkulasi berdasarkan kandungan padatan tak stabil dalam satu unit volume kotoran sapi segar. Konsentrasi total padatan (TS) limbah mempengaruhi pH, suhu dan efektivitas Mikroorganisme dalam proses dekomposisi.

Kandungan TS yang optimum berada disekitar 8-10%. Kandungan padatan total bahan baku mempengaruhi kinerja pencernaan anaerobik dan perubahan kandungan padatan total yang menyebabkan perubahan morfologi mikroba dalam sistem (Khoiyangbam dkk., 2011).

5. Nilai pH

Produksi biogas secara optimum dapat dicapai jika nilai pH dari campuran input di dalam digester berada pada kisaran 6-7. Derajat keasaman (pH) dalam digester juga merupakan fungsi waktu di dalam digester tersebut. Pada tahap awal proses fermentasi, asam organik dalam jumlah besar diproduksi oleh bakteri pembentuk asam, yang mengakibatkan pH mencapai di bawah 5. Keadaan ini cenderung menghentikan proses pencernaan atau proses fermentasi, karena bakteri-bakteri metanogenik sangat peka terhadap pH dan tidak bertahan hidup di bawah pH 6. Kemudian proses pencernaan berlangsung dan meningkatkan konsentrasi NH_4 yang menyebabkan nilai pH di atas 8. Ketika produksi metana dalam kondisi stabil, kisaran pH sebesar 7,2-8,2.

6. Suhu

Bakteri metanogen dalam keadaan tidak aktif pada kondisi ekstrem tinggi maupun rendah. Ketika suhu udara turun sampai 10°C , maka produksi gas berhenti. Produksi gas yang bagus yaitu pada kisaran mesofilik (25°C - 30°C).

7. Laju pengumpanan

Laju pengumpanan adalah jumlah bahan yang dimasukkan kedalam digester per unit kapasitas perhari.

Pada umumnya, 6 kg kotoran sapi per m³ volume digester direkomendasikan pada suatu jaringan pengolah kotoran sapi. Apabila bahan yang dimasukkan secara berlebihan, akan terjadi akumulasi asam dan produksi metana akan terganggu. Sebaliknya, bila pengumpanan kurang dari kapasitas digester, produksi gas menjadi rendah.

8. Waktu tinggal dalam digester

Waktu tinggal dalam digester adalah rata-rata periode waktu saat input masih berada dalam digester dan terjadi proses fermentasi oleh bakteri metanogen. Pada digester dengan input berupa kotoran sapi, waktu tinggal dihitung dengan pembagian volume total dari digester oleh volume input yang ditambah setiap hari. Waktu tinggal juga tergantung pada suhu. Suhu 35⁰C atau lebih akan mempersingkat waktu tinggal.

9. *Toxicity*

Ion mineral, logam berat, dan detergen adalah beberapa material racun yang mempengaruhi pertumbuhan normal bakteri patogen di dalam digester. Ion mineral dalam jumlah kecil seperti sodium, potasium, kalsium, amonium dan belerang akan merangsang pertumbuhan bakteri. Apabila ion-ion ini konsentrasi dalam jumlah yang tinggi akan meracuni (Wahyuni, 2013 b).

10. Substrat Bahan Organik

Jenis substrat bahan organik yang digunakan sebagai bahan baku merupakan faktor yang sangat penting. Hal ini sangat berpengaruh terhadap lamanya waktu dekomposisi bahan sehingga menghasilkan gas metana yang diperlukan.

Campuran yang digunakan untuk pembuatan biogas berasal dari limbah bahan organik (Sanjaya, 2014). Salah satu campuran untuk memproduksi biogas yaitu rumput gajah (Ayub, 2014).

2.3 Digester Biogas

Untuk memproduksi biogas, diperlukan reaktor atau digester. Prinsip bangunan digester adalah menciptakan suatu ruang kedap udara (anaerobik) yang menyatu dengan saluran input dan saluran output (Wahyuni, 2013 b).

Bak pemasukan berfungsi untuk melakukan homogenisasi dari bahan baku limbah cair dan padat. Apabila limbah padat dalam kondisi menggumpal maka diperlukan pengadukan supaya lebih mudah masuk ke dalam digester dan proses degradasi lebih mudah.

Berdasarkan cara pengisiannya terdapat jenis-jenis digester yaitu:

a. Batch Feeding

Batch feeding adalah jenis digester yang pengisian bahan organik (campuran bahan organik dan air) dilakukan sekali sampai penuh, kemudian ditunggu sampai biogas dihasilkan. Setelah biogas tidak berproduksi lagi atau produksinya sangat rendah, isian digeternya dibongkar lalu diisi kembali dengan bahan organik yang baru.

b. Countinues feeding

Countinues feeding adalah jenis digester yang pengisian bahan organiknya dilakukan setiap hari dalam jumlah tertentu. Pada pengisian awal, digester diisi penuh, lalu ditunggu sampai biogas diproduksi.

Pengisian bahan organik dilakukan secara kontinu setiap hari dengan jumlah tertentu. Setiap pengisian bahan organik yang baru akan selalu diikuti pengeluaran bahan sisa (*sludge*).

c. *Semi Continues feeding*

jenis digester yang pengisian bahan organiknya dilakukan setiap hari dalam jumlah tertentu. Pada pengisian awal, digester diisi penuh, lalu ditunggu sampai biogas diproduksi. Pengisian bahan organik dilakukan secara kontinu setiap hari dengan jumlah tertentu. Setiap pengisian bahan organik yang baru tidak selalu diikuti pengeluaran bahan sisa (*sludge*) (Wahyuni, 2013 b).

2.4 Rumput Gajah

Rumput gajah merupakan salah satu pakan hijauan berkualitas untuk ternak sapi. Tanaman ini memiliki respon yang tinggi terhadap tanah yang subur. Bila dirawat dengan baik dan dilakukan pemotongan secara rutin maka pertumbuhan cepat (Yulianto, 2010). Produktivitas biogas sebesar 87 ton / ha / tahun dengan kandungan protein dan karbohidrat yang tinggi (Sawasdee dan Nipon, 2014). Rumput gajah (*elephant grass*) disebut juga naper (*naper grass*) atau rumput Uganda (*Uganda grass*). Karakteristik morfologi rumput gajah adalah tumbuh tegak, merumpun lebar, tinggi tanaman dapat mencapai 7 m, berbatang tebal dan keras, daun panjang, dan berbunga seperti es lilin. Kandungan gizi rumput gajah terdiri atas 19,9% bahan kering (BK), 10,2% protein kasar (PK), 1,6% lemak, 34,2% serat kasar, 11,7% abu dan 42,3 % bahan ekstrak tanpa nitrogen. Rumput gajah memiliki beberapa varietas, antara lain varietas Afrika dan varietas Hawaii:

- a. Varietas Afrika ditandai dengan batang dan daun kecil, tumbuh tegak, berbunga dan produksi lebih rendah daripada varietas hawai.
- b. Varietas Hawaii ditandai dengan batang dan daun lebar, pertumbuhan rumpun sedikit melebar, produksi cukup tinggi dan berbunga.

Panen pertama rumput gajah dilakukan pada umur 90 hari setelah tanam. Panen selanjutnya setiap 40 hari sekali pada musim hujan dan 60 hari pada musim kemarau (Rukmana, 2005).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus sampai dengan Desember 2017 di Laboratorium Daya dan Alat Mesin Pertanian (DAMP), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Lima unit digester berkapasitas 30 liter.
- b. pH meter
- c. *thermocouple*
- d. blender
- e. ember atau bak
- f. botol mineral berukuran 1,5 liter
- g. oven
- h. alat tanur

Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. kotoran sapi
- b. rumput gajah
- c. air

3.3 Perlakuan Penelitian

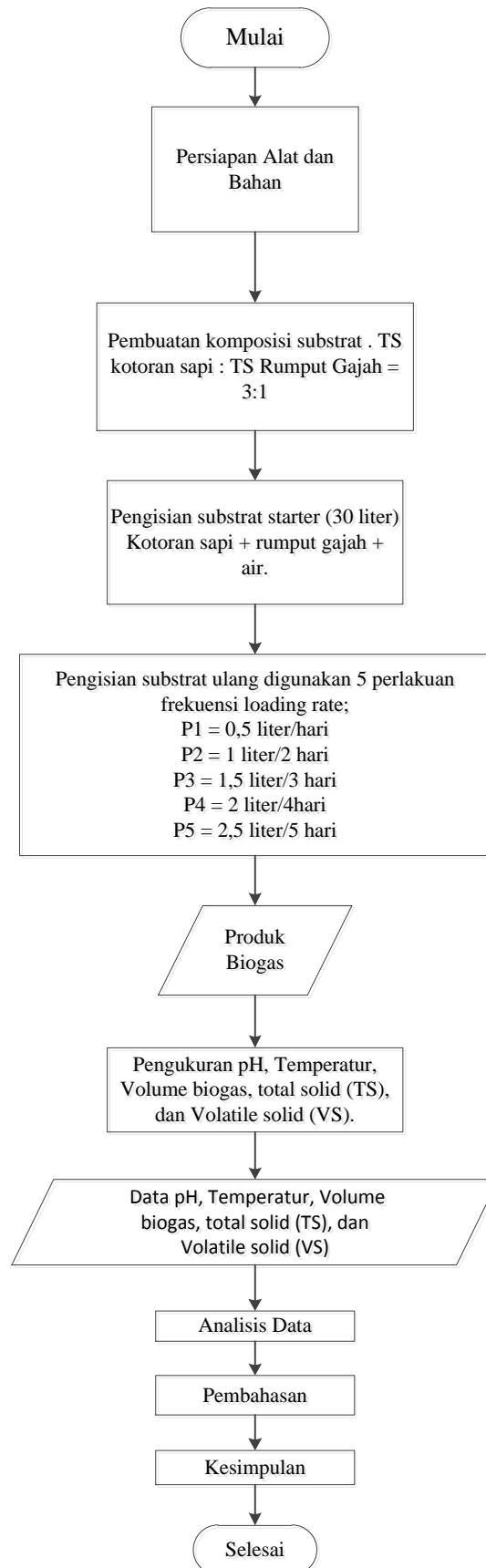
Bahan baku pembentuk biogas pada penelitian ini adalah kotoran sapi dan rumput gajah dengan perbandingan 3:1. Rumpur gajah dihaluskan terlebih dahulu menggunakan blender. Campuran tersebut kemudian ditambah air dengan perbandingan 1:1. Penelitian ini menggunakan 5 digester berkapasitas 30 liter dengan 5 variasi frekuensi pembebanan yaitu:

- a. P1=0,5 liter/hari;
- b. P2=1 liter/2hari;
- c. P3=1,5 liter/3hari;
- d. P4=2 liter/4hari ;
- e. P5=2,5 liter/5hari.

Pengambilan data produksi biogas dilakukan selama 60 hari yang dihitung dari mulai keluarnya biogas.

3.4 Prosedur Penelitian

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

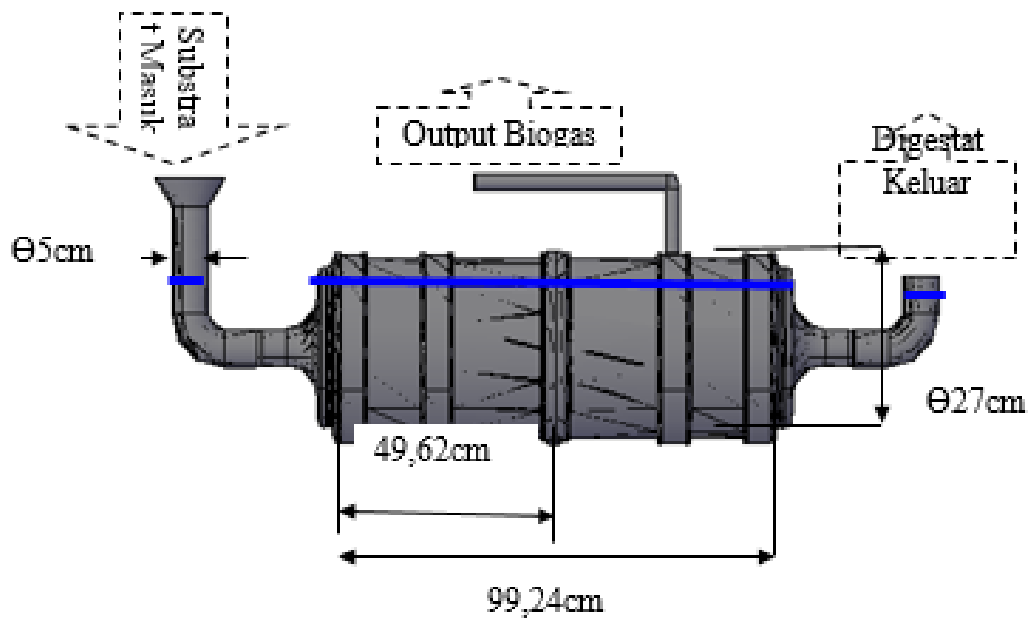


Gambar 2. Diagram alir proses pembentukan biogas

3.4.1 Persiapan Digester

Digester yang digunakan merupakan jenis semi kontinyu dengan volume 30 liter.

Desain digester disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Reaktor biogas

Digester terdiri dari bagian tabung tempat substrat, lubang masukan atau inlet, saluran keluaran outlet dan penampung biogas. Setiap digester menggunakan 2 buah galon, resin 1 kaleng, aibon 1 kaleng, pipa 1 ½ inchi, sambungan pipa bentuk L ukuran 1½ inchi, corong, dop ban motor, kran gas 0,5 inchi, balon penampung. Alat yang digunakan untuk membuat digester terdiri dari gergaji besi, bor listrik dan kunci pas ukuran 12. Perakitan digester semi kontinyu dijelaskan sebagai berikut:

1. Bagian dasar galon dipotong, sehingga membentuk lubang sesuai diameter galon.

2. Bagian sisi dinding galon dilubangi dengan bor sesuai ukuran dop ban motor, pada bagian dalam digester dilapisi karet dan direkatkan dengan lem aibon. Dop ban motor dikencangkan dengan ring dan mur ukuran 12 inchi menggunakan kunci pas 12.
3. Kedua buah galon direkatkan dengan resin selama ± 1 jam pada suhu ruangan yang dilakukan pada siang hari.
4. Bagian input dan output diberi pipa ukuran 1 ½ dan direkatkan dengan lem resin.

3.5 Parameter Pengamatan

3.5.1 Pengukuran Kadar Air, TS dan VS

Analisis total solid (TS) bertujuan untuk mengetahui presentase padatan pada bahan, sedangkan analisis volatil solid (VS) dilakukan untuk mengetahui presentase komponen organik pada bahan. Analisis ini dilakukan pada substrat awal yang dimasukkan dan substrat keluaran. Pengukuran TS dilakukan dengan cara mengeringkan bahan selama 24 jam menggunakan oven. Pengukuran VS dilakukan setelah bahan dioven lalu bahan ditanur dengan suhu 550°C selama 4 jam. Kadar TS dan VS dihitung dengan Persamaan 14, 15 dan 16.

$$\text{Kadar Air (KA) (\%)} = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100\% \dots\dots\dots(14)$$

$$\text{Total Solid (TS) sampel (\%)} = 100\% - \text{KA} \dots\dots\dots(15)$$

$$\text{Volatile Solid (VS) sampel (\%)} = \frac{W3 - W4}{W3} \times 100\% \dots\dots\dots(16)$$

dimana :

W_1 = Berat basah (gr)

W_2 = berat kering oven (gr)

W_3 = Berat sampel yang diabukan

W_4 = Berat abu (gr)

Nilai VS dapat digunakan untuk menghitung nilai VSremoval yaitu presentase VS yang terdegradasi akibat pembentukan biogas. Nilai VSremoval dihitung dengan Persamaan 17.

$$VS_{removal} = VS_{in} - VS_{out} \dots\dots\dots(17)$$

dimana :

VS_{in} = VS bahan isian (influent)

VS_{out} = VS bahan yang keluar dari digester (effluent)

3.5.2 Pengukuran pH dan Temperatur

Pengukuran pH dilakukan untuk mengukur derajat keasaman bahan pembentuk biogas yang diukur setiap hari. Pengukuran pH dilakukan dengan cara mengambil sampel substart, lalu diukur menggunakan pH meter. Pengukuran temperatur juga dilakukan setiap hari pada temperatur di dalam digester dan di luar digester.

Temperatur dalam digester diamati menggunakan alat *thermocopple*.

Temperatur diukur dengan cara memasukkan kabel sensor pada alat *thermocopple* dimasukkan ke dalam digester. Nilai temperatur akan muncul pada layar *thermocopple*.

3.5.3 Pengukuran Volume Biogas

Pengukuran volume dimulai ketika biogas telah terbentuk pertama kali (ditandai dengan mulai teisinya penampung gas) dan dilakukan setiap hari. Pengukuran volume biogas dijelaskan sebagai berikut:

- a. Botol air mineral berukuran 1,5 liter yang telah diberi penanda ukuran. Botol diisi penuh dengan air dan diletakkan terbalik di dalam bak yang juga terisi penuh dengan air.
- b. Selang pada balon yang telah terisi biogas dimasukkan pada lubang botol air mineral 1,5 liter.
- c. Balon ditekan hingga biogas dalam balon habis. Biogas di dalam balon akan mengalir ke dalam botol dan mendorong air keluar dari botol.
- d. Volume biogas diukur dari penanda ukuran di dalam botol yaitu bagian yang tidak terisi air.

Uji nyala api dilakukan sebelum pengukuran volume biogas dengan cara sebagai berikut :

- a. Pada biogas dari balon ditekan keluar
- b. Pada ujung selang tempat keluaran biogas tersebut diberi nyala api
- c. Adanya biogas dilihat dari hidupnya api yang berasal dari pembakaran api.

3.5.4 Pengukuran Produktivitas Biogas

Produktivitas biogas merupakan hasil volume biogas per VSremoval. Pengukuran menggunakan perhitungan pada Persamaan 18.

$$\text{Produktivitas Biogas} = \frac{\text{Volume rata-rata Biogas}}{\text{VSremoval}} \dots\dots\dots(18)$$

3.5.5 Pengukuran Komposisi biogas

Pengukuran komposisi biogas dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Pengukuran tersebut dilakukan dengan cara memasukkan hasil biogas pada setiap perlakuan ke dalam kantong sampel. Komposisi biogas yang diukur adalah karbondioksida (CO₂), gas metana (CH₄) dan Nitrogen (N₂).

3.5.6 Pengukuran C/N Rasio

Pengukuran C/N Ratio dilakukan pada output biogas. Analisis C/N Rasio dilakukan di Laboratorium, Ilmu Tanah, Jurusan Agroteknologi & Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Pengukuran C/N rasio campuran dilakukan dengan perhitungan pada Persamaan 19.

$$C:N = \frac{(C_c \times m_c) + (C_s \times m_s)}{(N_c \times m_c) + (N_s \times m_s)} \dots\dots\dots(19)$$

dimana:

C_c = Karbon Kotoran Sapi

C_s = Karbon Rumput Gajah

N_c = Nitrogen Kotoran Sapi

N_s = Nitrogen Rumput Gajah

M_c = Total Solid Kotoran Sapi

M_s = Total Solid Rumput Gajah

3.6 Analisis Data

Data hasil penelitian disajikan dalam bentuk grafik dan tabel. Kemudian dibahas dan disimpulkan. Pembahasan berdasarkan fenomena yang terjadi dan keterkaitannya dengan sumber-sumber pustaka.

.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Frekuensi pengumpanan campuran kotoran sapi dan rumput gajah berpengaruh pada produksi biogas dan kandungan gas metana.
2. Perlakuan frekuensi pengumpanan 2 liter/4hari menghasilkan produksi biogas yang paling optimal dengan kandungan metana lebih tinggi dibandingkan dengan frekuensi pengumpanan.
3. Produksi biogas optimum terdapat pada frekuensi pengumpanan substrat 4 hari sekali yang menghasilkan volume biogas sebesar 344,3 liter dengan kandungan metana mencapai 51,79 %.

5.2. Saran

Pada penelitian ini periode startup terlalu lama yang mungkin disebabkan oleh rendahnya kualitas bakteri yang ada. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah mengubah strategi pencampuran substrat dan atau menggunakan bibit bakteri yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayub. 2015. Produksi biogas dari rumput gajah (*Pennisetum Purpureum*) melalui proses fermentasi kering. *Skripsi*. Jurusan Teknik Pertanian. Universitas Lampung.
- BPPT. 2015. Outlook energi Indonesia 2015. Jakarta : Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi. 93 hal.
- Candra, P.A. 2016. Pengaruh laju pembebanan dan penambahan urea terhadap produksi biogas dari campuran kotoran sapi dengan rumput gajah (*Pennisetum Purpureum*) pada digester tipe semi kontinyu. *Skripsi*. Jurusan Teknik Pertanian. Fakultas Pertanian. Universitas Lampung.
- Dioha, I.J., Ikeme, C. H., Nafi'u , T., Soba, N. I. and Yusuf, M.B.S. 2013. Effect of carbon to nitrogen ratio on biogas production. *International Research Journal of Natural Sciences*. Vol. 1 No. 3, pp.1 -10.
- Griffin, M.E., McMahon, K.D., Mackle, R.I., Raskin, L. 1997. Methanogenic population dynamis during start-up of anaerobic digesters treating municipal solid waste and biosolid. *Biotechnology and bioengineering*. Vol 57:3.
- Haryanto, A. 2017. *Energi Terbarukan*. Innosain. Yogyakarta
- Haryanto, A., Cahyani, D., Triyono, S., Murdapa, F., Haryono, D. 2017. Economy benefit and greenhouse gas emission reduction potential of a family-scale cowdung anaerobic biogas digester. *Int. Journal of Renewable Energy Development*. Vol 6:29-36.
- Hasanudin, U., Sugiharto, R., Haryanto, A., Setiadi, T., and Fujie, K. 2015. Palm oil mill effluent treatment and utilization to ensure the sustainability of palm oil industries. *Water Sci Technol*. (7):1089-95
- Igoni, A.H., Abowei, M.F.N., Ayotamuno, M.J and Eze, C.L. 2008. Effect of total solids concentration of municipal solid waste on the biogas produced in an anaerobic continuous digester. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript EE 07 010. Vol. X.

- Jagadabhi, P.S. 2011. Methods to enhance hydrolysis during one and two-stage anaerobic digestion of energy crops and crop residues. *Faculty of Mathematics and Science of the University of Jyväskylä*.
- Khoiyanbam, R.S., Gupta, N., Kumar, S. 2011. *Biogas technology: towards sustainable development*. The Energy and Resources Institute (TERI). New Delhi.
- Rekha, B.N. and Aniruddha, B.P. 2013. Performance enhancement of batch anaerobic digestion of napier grass by alkali pre-treatment. *International Journal of ChemTech Research* : Volume 5(2) : 558-564.
- Rukmana, H.R. 2005. *Budidaya Rumput Unggul*. Kanisius : Yogyakarta.
- Sanjaya, D. 2015. Produksi biogas dari campuran kotoran sapi dengan kotoran ayam. *Jurnal Teknik Pertanian. Lampung*. Vol. 4 No. 2: 127-136.
- Saputri, Y. F., Yuwono, T., dan Mahmudsyah, S. 2014. Pemanfaatan kotoran sapi untuk bahan bakar PLT Biogas 80 KW di Desa Babadan Kecamatan Ngajum Malang. *Jurnal Teknik Pomits*. 1(1) : 1-6.
- Sawasdee, S. and Nipon, P. 2014. Feasibility of biogas production from napier grass. *Energy Procedia* 61: 1229 – 1233.
- Uzodinma, E. O. U., Ofoefule, A.U., Eze, J.I., and Onwuka, N. D. 2007. Optimum mesophilic temperature of biogas production from blends of agro-based wastes. *Trends in Applied Sciences Research* 2 (1): 39-44.
- Wahyuni, S. 2013 a. *Biogas Energi Alternatif Pengganti BBM, gas Dan Litrik..* Penebar PT AgroMedia Pustaka : Jakarta.
- Wahyuni, S. 2013 b. *Panduan Praktis Biogas*. Penebar Swadaya : Jakarta.
- Wicaksono, N.H. 2016. Pengaruh laju pembebanan terhadap produktivitas biogas berbahan baku kotoran sapi pada digester semi kontinyu. *Skripsi*. Jurusan Teknik Pertanian. Fakultas Pertanian. Universitas Lampung.
- Widjajanto, D. W., Kusumayanti, H., Rejeki, S. 2010. Produksi biogas dari limbah kotoran sapi perah dengan reaktor biogas sistem Batch di Desa Lerep Kabupaten Ungaran. *skripsi*. Jurusan nutrisi dan makanan ternak, Fakultas Peternakan, Universitas Diponegoro.
- Yulianto, P. dan Saporinto, C. 2010. *Pembesaran potong sapi secara intensif*. Penebar Swadaya: Jakarta.

- Zamorano, M., Perez, J.I.P., Paves, I.A., Ridaio, A.I. 2007. Study of the energy potential of the biogas produced by an urban waste landfill in southern Spain. *Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 11 (2007) 909–922.
- Zealand, A. M., Roskilly, A. P., Graham, D. W. 2017. The effect of feeding frequency and organic loading rate on the anaerobic digestion of Chinese rice straw. *International Conference on Applied Energy*. Volume 105 (2017) 62-67.