

**PRODUKSI BIOGAS DARI TONGKOL JAGUNG (*Zea Mays L.*) DENGAN
KOTORAN SAPI**

(Skripsi)

Oleh

SINTA AKNESA



JURUSAN TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2018

ABSTRACT

BIOGAS PRODUCTION FROM A MIXTURE OF CORN COB (*Zea Mays L*) AND COW DUNG

by

SINTA AKNESA

The use of fossil energy as an increasing source of energy causes serious problems for Indonesia. To overcome this problem, renewable alternative energy is needed, namely biogas. Biogas is an alternative energy that can be made from organic waste and livestock manure. One of the organic wastes that has not been fully utilized is corn cobs. This study aims is to determine the biogas production of a mixture of corn cobs with cow dung with a batch system and obtain an optimum form of corn cobs with cow dung in biogas production.

The research was carried out in two stages, namely the characterization of corn cobs and cow dung followed by biogas production using batch digester. The composition of corn cobs, cow dung and water used consisted of 4 levels, namely P0 (0: 0.5: 1), P1 (0.08: 0.5: 1), P2 (0.1: 0.5: 1), P3 (0.12: 0.5: 1) While the incubation period consists of 3 levels, namely 60 days, 75 days and 90 days. The parameters included TS and VS content, pH, C / N ratio, gas volume, methane content, biogas productivity and methane productivity. The data obtained were

analyzed descriptively presented in tables and graphs. The results of the research show that the optimum biogas production of the corncob mixture substrate is best produced in P1 treatment (0.08: 0.5: 1) with total cumulative gas production of 4442.9 mL, biogas productivity 46.33 mL / gTS or 60.89 mL / gVS, methane productivity 25.29 mL / gTS or 33.34 mL / gVS, methane content 60.06%, C / N ratio 29.13, initial TS value 8.68% and initial VS value 7.08%.

Keywords: Biogas, Corn Cob, Cow Dung, Productivity.

ABSTRAK

PRODUKSI BIOGAS DARI CAMPURAN TONGKOL JAGUNG (*Zea Mays L.*) DENGAN KOTORAN SAPI

Oleh

SINTA AKNESA

Penggunaan energi fosil sebagai sumber energi yang semakin meningkat menimbulkan persoalan serius bagi Indonesia. Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan energi alternatif yang dapat diperbaharui yaitu biogas. Biogas merupakan salah satu energi alternatif yang dapat dibuat dari limbah organik dan kotoran ternak. Salah satu limbah organik yang belum dimanfaatkan secara maksimal adalah tongkol jagung. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi energi dari campuran tongkol jagung dengan kotoran sapi dengan sistem *batch*. dan mendapatkan formulasi tongkol jagung dengan kotoran sapi yang optimum dalam produksi biogas.

Penelitian dilakukan dua tahap yaitu karakterisasi bahan tongkol jagung dan kotoran sapi dilanjutkan produksi biogas menggunakan digester *batch*. Komposisi tongkol jagung, kotoran sapi dan air yang digunakan terdiri dari 4 taraf yaitu P0 (0 : 0.5: 1), P1 (0.08 : 0.5: 1), P2 (0.1 : 0.5: 1), P3 (0.12 : 0.5: 1). Sedangkan

lama inkubasi terdiri dari 3 taraf yaitu 60 hari, 75 hari, dan 90 hari. Parameter pengamatan yang dilakukan meliputi kandungan TS dan VS, pH, C/N rasio, volume gas, kandungan metan, produktivitas biogas dan produktivitas metan. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif yang disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Hasil penelitian menunjukkan Produksi biogas optimum substrat campuran tongkol jagung yang terbaik dihasilkan pada perlakuan P1 (0.08 : 0.5: 1) dengan total produksi gas kumulatif sebesar 4442.9 mL, produktivitas biogas 46.33 mL/gTS atau 60.89 mL/gVS, produktivitas metan 25.29 mL/gTS atau 33.34 mL/gVS, kandungan metan 60.06 %, C/N ratio 29.13, nilai TS awal 8.68 % dan nilai VS awal 7.08 %.

Kata kunci : Biogas, Tongkol Jagung, Kotoran Sapi, Produktivitas

**PRODUKSI BIOGAS DARI CAMURAN TONGKOL JAGUNG (*Zea mays*
L.) DENGAN KOTORAN SAPI**

Oleh

SINTA AKNESA

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

Judul Skripsi : **PRODUKSI BIOGAS DARI CAMPURAN
TONGKOL JAGUNG (*Zea mays L.*)
DENGAN KOTORAN SAPI**

Nama Mahasiswa : **Sinta Aknesa**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1414051089

Jurusan : Teknologi Hasil Pertanian

Fakultas : Pertanian



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Prof. Dr. Eng. Ir. Udin Hasanudin, M.T.
NIP 19640106 198803 1 002


Ir. Otik Nawansih, M.P.
NIP 19650503 199010 2 001


2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian

Ir. Susilawati, M.Si.
NIP 19610806 198702 2 001

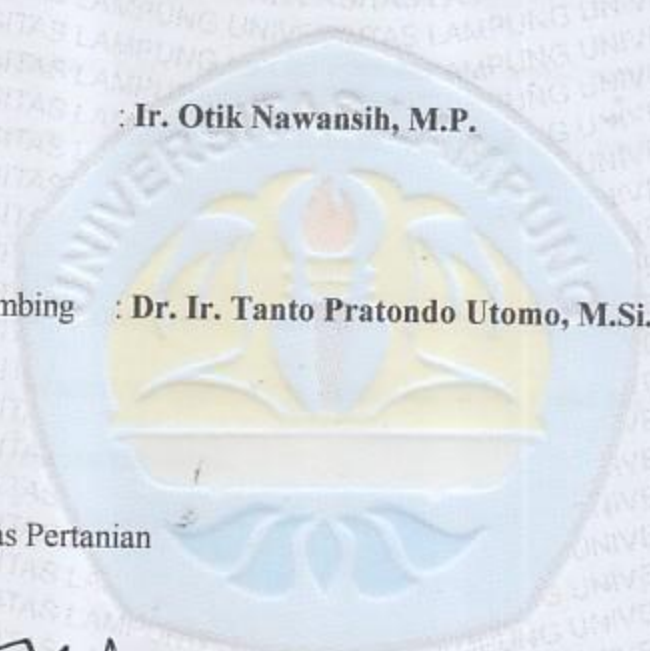
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji


Ketua : **Prof. Dr. Eng. Ir. Udin Hasanudin, M.T.** 

Sekretaris : **Ir. Otik Nawansih, M.P.** 

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si.** 



2. Dekan Fakultas Pertanian


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

NIP 19611020 198603 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 03 Oktober 2018

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah Sinta Aknesa NPM. 1414051089

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja saya sendiri yang berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini tidak berisi material 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, 08 Oktober 2018

Yang membuat pernyataan



Sinta Aknesa
NPM. 1414051089

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahir di Gunungdoh, Tanggamus pada tanggal 08 Juli 1997, sebagai anak kedua dari empat bersaudara pasangan Bapak Alfiyan Syah dan ibu Siti Marwiyah. Penulis memiliki 1 orang Kakak bernama Medi Zulyat dan 2 orang adik bernama Candra Firnando dan Clara Fresh Cia Valenza. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SDN 1 Gunungdoh pada tahun 2008, kemudian melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Bandar Negeri Semuong dan lulus pada tahun 2011. Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Kotaagung dan lulus pada tahun 2014. Penulis diterima di Universitas Lampung (UNILA) melalui jalur Undangan Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dengan mengambil program studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian pada tahun 2014.

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Renobasuki, Kecamatan Rumbia, Kabupaten Lampung Tengah dengan tema “Pemberdayaan Kampung Berbasis Informasi dan Teknologi” pada bulan Januari s.d. Februari 2017. Penulis juga melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT. Great Giant Foods, Terbanggi Besar, Lampung Tengah pada bulan Juli s.d. Agustus 2017 dengan topik “Mempelajari Pengendalian Mutu *Line Preparation* dan *Final Product* pada Operasional *Cannery* PT. Great Giant Foods Terbanggi Besar, Lampung Tengah”. Lampung. Pada tahun 2018 penulis menyelesaikan penelitian dengan topik

“Produksi Biogas dari Campuran Tongkol Jagung (*Zea mays L.*) dengan Kotoran Sapi”. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam berbagai kegiatan dan organisasi. Organisasi yang diikuti penulis adalah Koperasi Mahasiswa (KOPMA) Universitas Lampung pada tahun 2014-2016 dan Himpunan Mahasiswa Teknologi Hasil Pertanian (HMJ THP) sebagai Anggota Bidang Pendidikan dan Penalaran HMJ THP periode 2016-2017. Penulis pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Uji Sensori tahun ajaran 2016/2017, Pengelolaan Limbah Agroindustri tahun ajaran 2017/2018, Pengolahan Hasil Perkebunan prodi D3 perkebunan tahun ajaran 2017/2018, Teknologi Bioenergi tahun ajaran 2017/2018, Teknologi Hasil Perkebunan (S1) tahun ajaran 2017/2018 dan Teknologi Pati dan Gula tahun ajaran 2017/2018.

Seiring doa dan rasa syukur kehadiran Allah SWT serta shalawat dan salam selalu tercurah kepada baginda tercinta Nabi Muhammad SAW beserta keluarga

Kupersembahkan karya kecil ini untuk :

Orang tuaku tercinta Bapak Alfian Syah dan Ibu Siti Marwiyah

*Abangku Medi zulyat, Kakaku Rohmi dan Adik-adikku tersayang Candra
Firnando dan Clara Fresh Cia Valenza serta Keponakanku tercinta Meisya Leri*

Asyifa

Sahabatku

Terimakasih telah memberikan cinta, kasih sayang, motivasi, semangat, dan doa kepada penulis.

*Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Udin Hasanudin, M.T., dan ibu Ir. Otik Nawansih, M.P.,
yang telah memberikan saran, motivasi, dan bimbingan*

Serta

Almamater tercinta

TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN UNIVERSITAS LAMPUNG

SANWACANA

Bismillaahirrahmaanirrahiim, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Produksi Biogas dari Campuran Tongkol Jagung (*Zea mays L.*) dengan Kotoran Sapi”** yang merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana teknologi pertanian di Universitas Lampung. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Ibu Ir. Susilawati, M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung atas segala bantuan dan arahnya.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Udin Hasanudin, M.T., sebagai Ketua komisi pembimbing dan pembimbing akademik atas segala bantuan, saran, arahan, dukungan, dan bimbingannya yang diberikan selama menyusun skripsi penulis.
4. Ibu Ir. Otik Nawansih, M.P., selaku anggota komisi pembimbing atas segala saran, arahan, semangat, dan bimbingannya yang diberikan selama menyusun skripsi penulis.
5. Bapak Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si., selaku penguji utama yang telah banyak memberikan kritikan, saran dan bimbingan terhadap karya skripsi penulis.

6. Keluargaku tercinta Bapak, Ibu, Abang, Kakak, Adik dan Ponakanku serta seluruh saudara-saudaraku yang telah memberikan dukungan moril, motivasi, semangat, nasihat, kasih sayang, dan bantuan selama ini yang dimana tidak mungkin dapat terbalaskan.
7. Sahabat hidupku Marsudi yang telah memberikan dukungan, semangat, motivasi, kasih sayang dan doa untuk kemudahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Seluruh bapak dan ibu dosen THP serta seluruh karyawan yang telah sangat membantu selama perkuliahan dan penelitian ini, terimakasih atas semua bimbingan dan bantuannya.
9. Sahabat 416 yang ku sayang dan rekan team serta teman-teman angkatan 2014 dan seluruh keluarga besar THP terima kasih atas semangat dan kebersamaan selama ini.
10. Keluarga besar Laboratorium Pengolahan Limbah Agroindustri THP FP Unila.

Akhir kata, penulis berharap semoga Allah SWT membalas segala keikhlasannya dan penulis berharap skripsi ini dapat memberikan informasi yang bermanfaat.

Bandar Lampung, 08 Oktober 2018
Penulis

Sinta Aknesa

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Manfaat Penelitian.....	4
1.4 Kerangka Pemikiran	5
1.5 Hipotesis	6

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biogas	7
2.1.1 Proses pembentukan biogas.....	9
a. Hidrolisis.....	10
b. Pengasaman (Asidifikasi).....	10
c. Metanogenesis	11
2.1.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi biogas.....	11
a. Jenis substrat	12
b. Temperatur.....	12
c. pH.....	13
d. Rasio C/N	13
e. Total Solid (TS) dan Volatile Solid (VS)	14
f. Kandungan bahan kering.....	15
g. Pengadukan.....	16
2.2 Fermentasi Pada Biogas.....	16
2.2.1 Fermentasi basah	17
2.2.2 Ferementasi kering	17
2.3 Digester Biogas Tipe Batch.....	19
2.4 Tongkol Jagung	20
2.5 Kotoran Sapi	22

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu.....	24
3.2 Bahan dan Alat	24
3.3 Metode Penelitian	25
3.4 Pelaksanaan Penelitian	26
3.4.1 Persiapan alat.....	28

3.4.2	Persiapan bahan	28
3.4.3	Pengisian substrat dan fermentasi	39
3.5	Parameter Pengamatan	30
3.5.1	Nilai pH substrat	30
3.5.2	Kandungan <i>Total Solid</i> (TS) dan <i>Volatile Solid</i> (VS)	30
3.5.3	Kandungan C dan N	31
3.5.4	Volume gas	32
3.5.5	Komposisi metana	32
3.5.6	Produktivitas biogas dan metana	32
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1	Karakteristik Substrat	34
4.2	Karakteristik Bahan Campuran (<i>Total Solid</i> dan <i>Volatile Solid</i>) ..	37
4.3	Nilai pH (Derajat Keasaman)	42
4.4	Produksi Biogas dari Campuran Tongkol Jagung (<i>Zea mays L.</i>) ..	
	dengan Kotoran Sapi	45
4.4.1	Produksi gas harian dan kumulatif	45
4.4.2	Kandungan Metan.....	49
4.4.3	Produktivitas Biogas dan Produktivitas Metan	52
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan	60
5.2	Saran	60
	DAFTAR PUSTAKA	61
	LAMPIRAN	65

DAFTAR TABEL

Tabel.....	Halaman
1. Komposisi biogas	8
2. Komposisi tongkol jagung dan kotoran sapi	25
3. Karakteristik substrat	34
4. Nilai rasio C/N setiap perlakuan.....	36
5. Nilai <i>Total Solid</i> (TS) dan <i>Volatile Solid</i> (VS) awal substrat.....	37
6. Produktivitas gas metan dari berbagai bahan baku	57
7. Hasil analisis produksi biogas kumulatif masing-masing perlakuan waktu inkubasi.....	66
8. Hasil perhitungan produktivitas biogas (mL/TS _{removed}).....	67
9. Hasil perhitungan produktivitas biogas (mL/VS _{removed})	68
10. Hasil perhitungan produktivitas metan (mL/TS _{removed})	69
11. Hasil perhitungan produktivitas metan (mL/VS _{removed}).....	70
12. Analisis kadar air dan <i>Total Solid</i> (TS) tongkol jagung	71
13. Analisis <i>Volatile Solid</i> (VS) tongkol jagung	71
14. Analisis kadar air dan <i>Total Solid</i> (TS) kotoran sapi.....	72

15. Analisis <i>Volatile Solid</i> (VS) kotoran sapi.....	72
16. Hasil analisis <i>Volatile Solid</i> (VS) dan <i>Total Solid</i> (TS) campuran tiap perlakuan.....	73
17. Hasil analisis nilai pH Awal dan akhir produksi biogas.....	73
18. Produktivitas biogas masing-masing perlakuan (<i>TS_{removed}</i>).....	74
19. Produktivitas metana masing-masing perlakuan (<i>VS_{removed}</i>).....	74
20. Volume gas harian biogas.....	75
21. Volume gas kumulatif biogas.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram alir kerangka pemikiran penelitian.....	5
2. Diagram Alir Proses Fermentasi Anaerobik	9
3. Skema Umum Fermentasi Kering.....	20
4. Diagram alir penelitian.....	27
5. Digester dengan sistem batch.....	28
6. Tongkol jagung sebelum dan sesudah dihancurkan.....	29
7. Pengenceran kotoran sapi dan pencampuran substrat.....	29
8. Penurunan kandungan <i>Total Solid</i> (TS) pada masing-masing Perlakuan.....	38
9. Penurunan kandungan <i>Volatile Solid</i> pada masing-masing perlakuan	38
10. Penurunan kadar <i>Total Solid</i> pada masing-masing perlakuan.....	39
11. Penurunan kadar <i>Volatile Solid</i> pada masing-masing perlakuan.....	40
12. pH rata-rata awal dan masing-masing waktu inkubasi	43
13. Volume harian biogas	46
14. Produksi gas kumulatif.....	48
15. Kandungan metana tiap perlakuan.....	50
16. Produktivitas biogas (mL/gTS _{removed}).....	53
17. Produktivitas biogas (mL/gVS _{removed}).....	54

18. Produktivitas metan ($\text{mL}/\text{TS}_{\text{removed}}$)	56
19. Produktivitas metan ($\text{mL}/\text{VS}_{\text{removed}}$)	56
20. Proses pengecilan ukuran tongkol jagung.....	83
21. Pembongkaran reaktor	83
22. Proses pembakaran sebelum dimasukkan tanur.....	84
23. Penghalusan sampel untuk analisis C/N ratio	84
24. Penimbangan cawan kosong untuk analisis	85
25. Penimbangan bahan substrat	85
26. Bioreaktor tipe batch	86
27. Grafik komposisi biogas bioreaktor P0 (30 hari).....	86
28. Grafik komposisi biogas bioreaktor P1 (30 hari).....	87
29. Grafik komposisi biogas bioreaktor P2 (30 hari).....	87
30. Grafik komposisi biogas bioreaktor P3 (30 hari).....	88
31. Grafik komposisi biogas bioreaktor P0 (40 hari).....	88
32. Grafik komposisi biogas bioreaktor P1 (40 hari).....	89
33. Grafik komposisi biogas bioreaktor P2 (40 hari).....	89
34. Grafik komposisi biogas bioreaktor P3 (40 hari).....	90
35. Grafik komposisi biogas bioreaktor P0 (60 hari).....	90
36. Grafik komposisi biogas bioreaktor P1 (60 hari).....	91
37. Grafik komposisi biogas bioreaktor P2 (60 hari).....	91
38. Grafik komposisi biogas bioreaktor P3 (60 hari).....	92

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan energi yang semakin meningkat setiap tahunnya menjadi masalah besar bagi dunia khususnya Indonesia. Tingginya penggunaan energi di Indonesia dipengaruhi oleh meningkatnya pertumbuhan penduduk dan perkembangan industri. Besarnya penggunaan energi tersebut didominasi oleh transportasi, industri dan pembangkit daya atau listrik. Pasokan untuk mendapatkan energi saat ini masih didominasi oleh sumber energi fosil yang tidak dapat diperbaharui yaitu minyak bumi, batubara, dan gas alam. Sebagaimana menurut perkiraan BP Energy Outlook (2017), bila diasumsikan tidak ada penemuan cadangan baru maka minyak bumi akan habis dalam 11 tahun, gas bumi 36 tahun dan batu bara 70 tahun. Selain itu, penggunaan energi fosil sebagai sumber energi menimbulkan persoalan serius pada lingkungan berkaitan dengan emisi gas rumah kaca terutama CO₂ yang merupakan penyebab terjadinya pemanasan global (Haryanto, 2014). Oleh karena itu, diperlukan energi alternatif yang dapat mengatasi masalah tersebut yaitu pengembangan energi dari biomassa yang dapat diperbaharui.

Biogas merupakan salah satu energi alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk menunjang kebutuhan energi yang semakin meningkat. Biogas adalah gas yang

dihasilkan dari bahan-bahan organik yang proses pembentukannya melibatkan mikroorganisme dalam kondisi anaerob (Yani dan Darwis, 1990). Kandungan yang terdapat dalam biogas yaitu campuran dari 60–70% metana dan 30–40% karbondioksida dengan beberapa hidrogen sulfida yang dapat terbakar sama dengan bahan bakar (Culhane, 2010). Biogas yang dihasilkan dapat digunakan untuk memasak, penerangan, dan bahan bakar motor atau genset. Biogas juga mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan BBM yang berasal dari fosil salah satunya yaitu sifatnya yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui (Haryanto, 2014). Bahan substrat biogas dapat dihasilkan dari bahan-bahan limbah organik seperti kotoran ternak, sampah organik, dan bahan lainnya. Salah satu limbah organik yang belum mendapatkan perhatian adalah tongkol jagung

Tongkol jagung merupakan salah satu limbah biomassa yang banyak tersedia di Indonesia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS, 2016), peramalan produksi jagung pada tahun 2017 sebesar 22,67 juta ton dari 21,84 juta ton pada tahun 2016 atau meningkat sebesar 3,84%. Tingginya produksi jagung tiap tahunnya berdampak pada tingginya limbah yang dihasilkan terutama limbah tongkol jagung. Namun, pemanfaatan dari tongkol jagung ini belum banyak dikembangkan secara optimal. Selama ini masyarakat cenderung memanfaatkan limbah tongkol jagung hanya sebagai bahan pakan ternak, bahan bakar atau terbuang percuma. Pada umumnya, penelitian tentang pemanfaatan tongkol jagung ini sudah banyak dilakukan dalam mengurangi pencemaran lingkungan, seperti pembuatan arang aktif (Amin *et al.*, 2016) dan pembuatan bioetanol (Mushlihah *et al.*, 2013). Akan tetapi, pemanfaatan tersebut masih skala penelitian belum teraplikasikan secara maksimal karena produksi yang dihasilkan belum

efisien. Oleh karena itu, diperlukan penelitian pemanfaatan tongkol jagung yang lebih sederhana dan dapat diaplikasikan secara langsung.

Produksi biogas dari tongkol jagung merupakan teknologi yang sederhana dan berdampak baik terhadap lingkungan serta dapat meningkatkan nilai ekonomis dari tongkol jagung. Tongkol jagung yang tidak dapat diproduksi tiap hari karena masa panen jagung sekitar 3 bulan, tidak menjadi penghambat produksi biogas (Prastowoi *et al.*, 1998). Hal ini karena biogas yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sampai panen jagung kembali. Tongkol jagung dapat diproduksi menjadi biogas karena dalam tongkol jagung mengandung kadar unsur karbon 43,42%, hidrogen 6,32% dan nilai kalornya berkisar antara 14,7-18,9 MJ/kg (Mutmainnah, 2012). Menurut Widarti *et al.* (2016), tongkol jagung juga mengandung serat kasar yang cukup tinggi yakni 33%, selulosa sekitar 44,9% dan kandungan lignin sekitar 33,3%. Kandungan lignin yang tinggi pada tongkol jagung membuat proses dekomposisi bahan menjadi lebih lama. Oleh karena itu untuk membantu proses dekomposisi bahan diperlukan pengecilan ukuran sehingga dapat memperluas kontak substrat dengan mikroba dan mempermudah pencampuran substrat sebelum dimasukkan ke reaktor.

Selain itu, untuk merombak substrat bahan organik menjadi biogas diperlukan bakteri metanogenik untuk menghasilkan gas metan. Kotoran sapi merupakan starter yang baik karena secara alami menghasilkan bakteri metanogenik dan memiliki C/N ratio sebesar 26,5 (Fairuz, 2015). C/N ratio kotoran sapi ini lebih rendah dari tongkol jagung yaitu 37,5 (Ibrahim dan Imrana, 2016). Menurut Yani dan Darwis (1990), C/N ratio optimum untuk pertumbuhan bakteri metanogenik dalam produksi biogas adalah 20 – 30. Oleh karena itu, untuk mencapai C/N ratio

optimum untuk produksi biogas diperlukan pencampuran tongkol jagung dengan kotoran agar produksi biogas yang dihasilkan meningkat.

1.2. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui produksi biogas dari campuran tongkol jagung dengan kotoran sapi dengan sistem *batch*.
2. Mendapatkan formulasi tongkol jagung dan kotoran sapi yang optimum dalam produksi biogas.

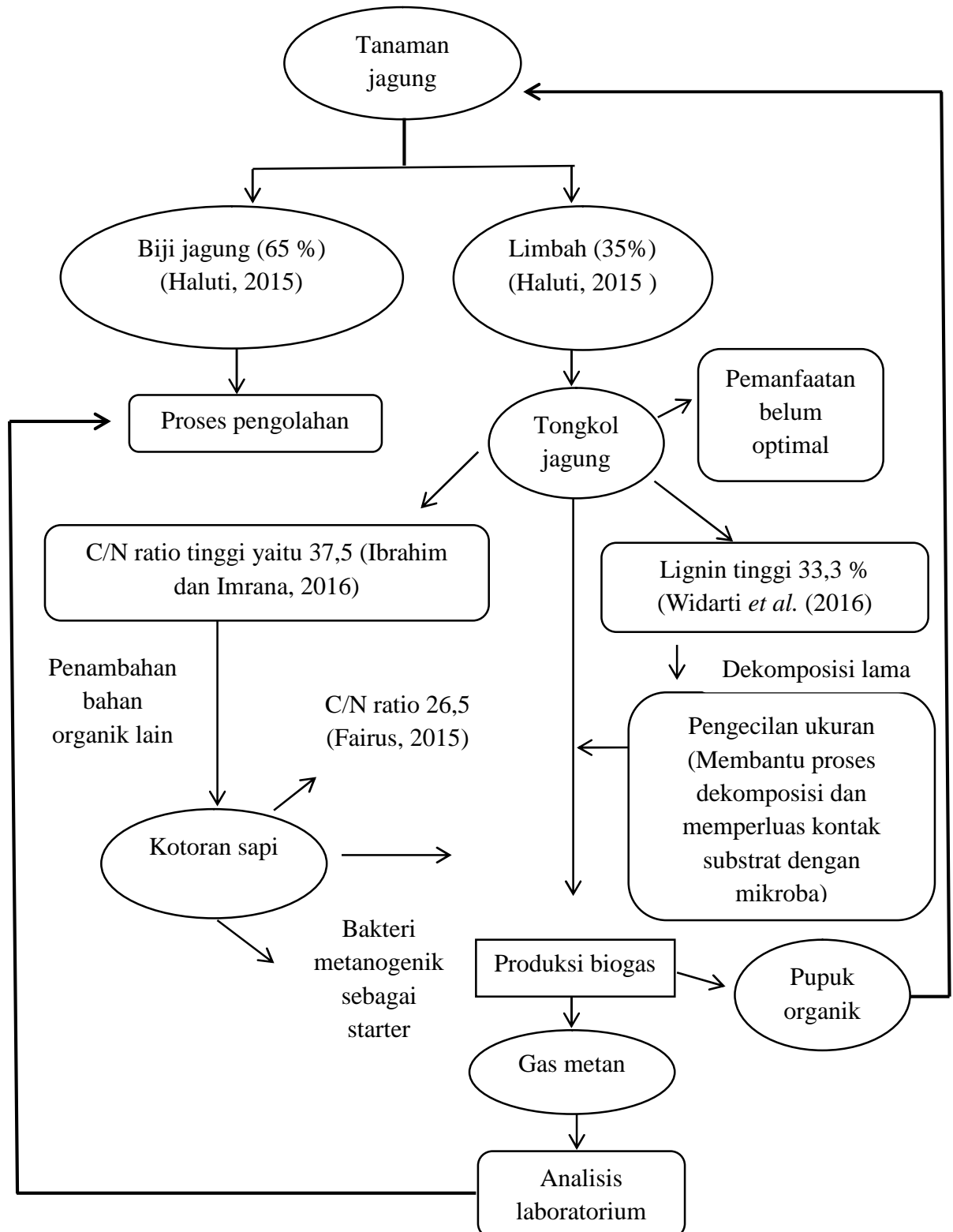
1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi ilmiah mengenai produksi biogas dari tongkol jagung dengan sistem *batch*.
2. Memaksimalkan produksi biogas dari campuran kotoran sapi dan tongkol jagung.

1.4. Kerangka Pikir

Diagram alir kerangka pikir penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir kerangka pemikiran penelitian

1.5 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Terdapat biogas yang dihasilkan dari campuran tongkol jagung dengan kotoran sapi dengan sistem *batch*.
2. Terdapat formulasi tongkol jagung dan kotoran sapi yang optimum dalam produksi biogas.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biogas

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam keadaan anaerob. Dalam pembuatan biogas ini diperlukan digester yang tertutup dan kedap udara agar produksi biogasnya optimal (Haryanto, 2014). Energi yang terkandung didalam biogas ini tergantung dari kandungan metannya. Semakin tinggi kandungan metan dalam biogas maka semakin tinggi pula kandungan energi atau nilai kalornya. Biogas memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, yaitu kisaran 4800–6700 kkal/m³, untuk gas metan murni mempunyai nilai kalor 8900 kkal/m³ (Sutarto dan Feris, 2007). Komponen utama biogas adalah gas metan (CH₄) dan karbondioksida (CO₂), sedikit kandungan hidrogen sulfurida (H₂S), ammonia (NH₃), serta hidrogen (H₂) dan nitrogen yang kandungannya sangat sedikit (Sukmana dan Anny, 2011). Menurut Haryanto (2014), Komposisi biogas akan bervariasi bergantung pada substrat (bahan baku) yang diolah. Namun, secara umum komposisi biogas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Biogas

No	Komposisi	Rumus Kimia	Jumlah (%)
1	Methan	CH ₄	54-74
2	Karbondioksida	CO ₂	27-75
3	Nitrogen	N ₂	3-5
4	Hidrogen	H ₂	0-1
5	Karbonmonoksida	CO	0,1
6	Oksigen	O ₂	0,1
7	Hidrogen sulfid	H ₂ S	Sedikit

Sumber : Sukmana dan Anny (2011)

Biogas memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan energi berbahan baku dari fosil yaitu Sifatnya yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui serta biogas terbakar secara sempurna tanpa meninggalkan jelaga dan bau (Abbasi *et al.*, 2012). Selain itu, Biogas yang dihasilkan dari instalasi secara tidak langsung telah banyak membawa manfaat terhadap lingkungan. Limbah yang awalnya dibuang ke sungai, dengan dibangunnya instalasi biogas dapat dimanfaatkan dengan baik (Haryanto, 2014). Saat ini, biogas tidak hanya digunakan sebagai sumber energi bagi kompor dan lampu saja, tetapi juga dapat digunakan sebagai bahan bakar motor dalam seperti genset dan lainnya. Pemanfaatan biogas untuk bahan bakar kendaraan ini perlu dilakukan proses pemurnian yaitu penghilangan kandungan hidrogen sulfida, karbondioksida dan air terlebih dahulu agar diperoleh biogas dengan kandungan metan yang lebih tinggi. (Haryanti, 2006).

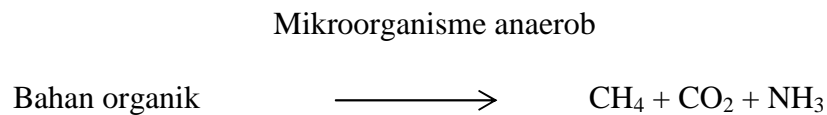
Penggunaan biogas untuk menggerakkan motor bakar memerlukan persyaratan kualitas dan memerlukan proses pemurnian. Tanpa proses pemurnian, penggunaan biogas untuk menjalankan mesin akan membahayakan karena sifat korosifnya

(Haryanto, 2014). Pengkorosifan ini disebabkan karena kandungan H_2S yang terkandung dalam biogas. Kadar H_2S yang diperbolehkan untuk mesin motor bakar dalam yaitu <100 ppm (Zicari, 2003).

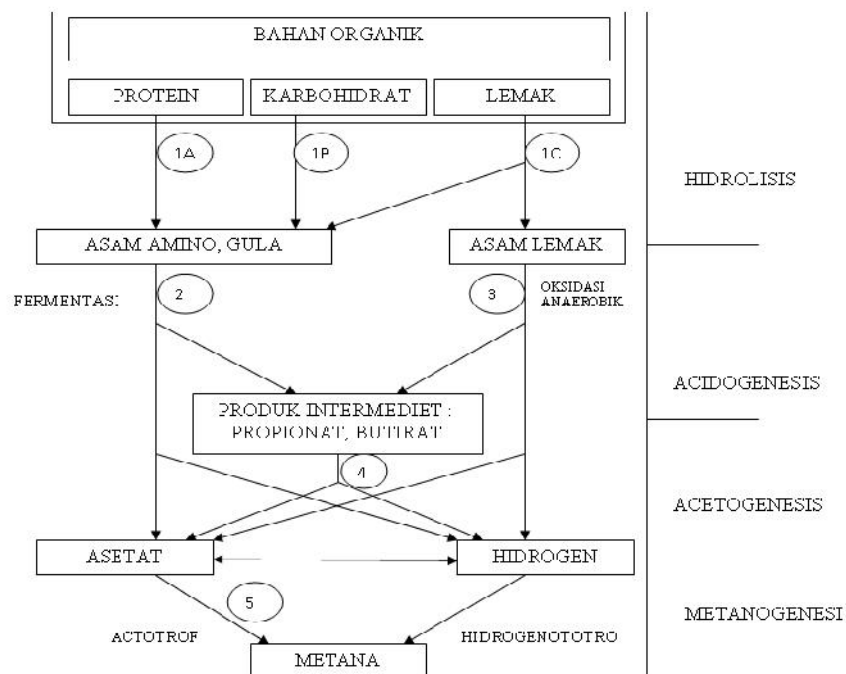
2.1.1 Proses pembentukan biogas

Pembentukan biogas terjadi pada kondisi anaerob atau kedap udara, hal ini untuk mendukung kestabilan selama proses produksi biogas (Yani dan Darwis, 1990).

Berikut mekanisme pembentukan biogas secara umum :



Menurut (Yani dan Darwis, 1990), proses pembentukan biogas secara keseluruhan terdapat 3 tahap yaitu hidrolisis, pengasaman (asidifikasi), dan metanogenesis.

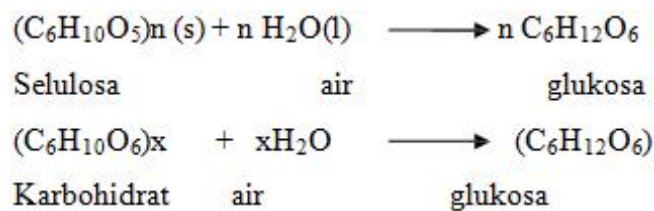


Gambar 2. Diagram Alir Proses Fermentasi Anaerobik (Jagadabhi, 2013)

a. 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, dan karbohidrat menjadi senyawa yang lebih sederhana. Tahap ini juga dapat diartikan sebagai perubahan struktur dari bentuk polimer menjadi bentuk monomer. Senyawa yang dihasilkan dari proses hidrolisis diantaranya senyawa asam organik, glukosa, etanol, CO₂ dan senyawa hidrokarbon lainnya. Senyawa ini akan dimanfaatkan mikroorganisme sebagai sumber energi untuk melakukan aktivitas fermentasi. Bakteri yang berperan dalam tahapan hidrolisis tersebut pada umumnya adalah Clostridium yang dapat mendegradasi limbah yang mengandung selulosa (Yani dan Darwis, 1990).

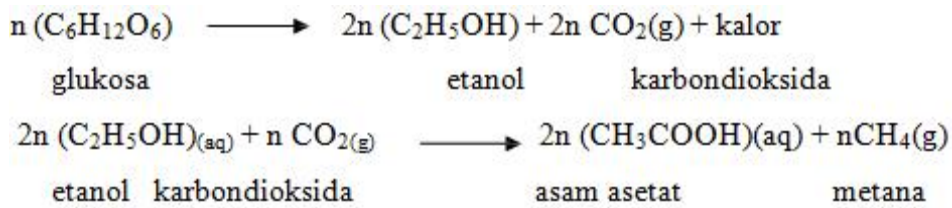
Reaksi :



b. Pengasaman (Asidifikasi)

Senyawa-senyawa yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan dijadikan sumber energi bagi mikroorganisme untuk tahap selanjutnya, yaitu pengasaman yang terdiri dari asidogenesis dan asetogenesis. Pada tahap ini, bakteri akan menghasilkan senyawa-senyawa asam organik seperti asam propionat, asam butirat, dan asam laktat beserta produk sampingan berupa alkohol, CO₂, hydrogen, dan zat amonia. Pembentukan asam-asam organik tersebut pada umumnya terjadi dengan bantuan bakteri Pseudomonas, Eschericia, Flavobacterium, dan Alcaligenes (Yani dan Darwis, 1990).

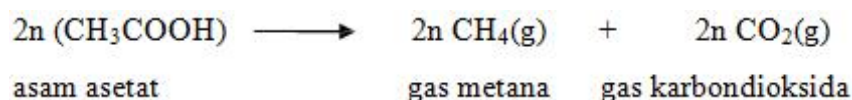
Reaksi :



c. Metanogenesis

Tahap metanogenesis merupakan tahap pembentukan gas metana oleh bakteri metanogenik seperti *Methanosarcina*, *Methanococcus*, *Methanobacterium*, dan *Methanobacillus*. Ada dua kelompok utama bakteri yang bertanggung jawab dalam pembentukan metana, yaitu bakteri metanogen asetiklastik dan bakteri metanogen pengguna hidrogen. Metanogen asetiklastik melakukan konversi asam asetat menjadi metana, sedangkan metanogen pengguna hidrogen melakukan penyisihan hidrogen untuk menghasilkan metana. (Yani dan Darwis, 1990). Pembentukan gas metana (CH₄) 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 :



2.1.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi biogas

Pada tahap proses pembentukan biogas terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan sebagai kendali keberhasilan produksi biogas. Beberapa faktor

tersebut diantaranya jenis substrat, temperatur, derajat keasaman (pH), nisbah C/N, *total solid* (TS) dan *volatile solid* (VS), Kandungan bahan kering, dan pengadukan.

a. Jenis substrat

Jenis substrat yang digunakan sebagai bahan baku merupakan faktor yang sangat penting. Hal ini, sangat berpengaruh terhadap lamanya waktu dekomposisi bahan sampai terbentuknya gas metan. Bahan organik yang mengandung selulosa dan lignin lebih lama terdekomposisi dibanding dengan limbah kotoran ternak. Sehingga untuk menghasilkan proses yang optimal, bahan yang digunakan sebaiknya merupakan campuran limbah pertanian dengan kotoran ternak (Haryanto, 2014).

b. Temperatur

Selama proses fermentasi untuk menghasilkan biogas dalam digester anaerob diperlukan pengendalian suhu atau temperatur yang tepat, karena temperatur berperan penting dalam mengatur jalannya reaksi metabolisme bagi bakteri khususnya bakteri metanogenik. Kisaran suhu yang baik untuk perkembangan bakteri metanogenik yaitu pada kisaran mesofilik, antara 25—30°C (Haryanto, 2014). Sedangkan menurut Tuti (2006), kondisi termofilik pembentukan biogas ideal pada kisaran 50—55°C. Temperatur yang melebihi batas akan menyebabkan rusaknya protein dan komponen sel esensial lainnya sehingga sel akan mati. Demikian pula bila temperatur dibawah batas akan menyebabkan transportasi nutrisi akan terhambat dan proses kehidupan sel akan terhenti, dengan demikian temperatur berpengaruh terhadap proses perombakan bahan organik dan produksi gas. Kondisi temperatur pada digester tidak hanya berpengaruh terhadap

tingginya produksi biogas namun berpengaruh juga terhadap kecepatan waktu untuk menghasilkan produksi pada nilai optimum (Darmanto *et al.*, 2012).

c. pH

Derajat keasaman (pH) menunjukkan sifat asam atau basa pada suatu bahan. Faktor pH sangat berperan pada dekomposisi anaerob karena apabila pH tidak sesuai, mikroba tidak dapat tumbuh dengan maksimum dan bahkan dapat menyebabkan kematian. Pada akhirnya kondisi ini dapat menghambat perolehan gas metana. Derajat keasaman yang optimum bagi kehidupan mikroorganisme adalah 6,8—7,8 (Simamora *et al.*, 2006). Menurut Haryanto (2014), bakteri metanogenik dalam pertumbuhannya menghendaki pH netral yaitu berkisaran 6,6–7.

d. Rasio C-N

Nisbah C/N merupakan perbandingan antara karbon dan nitrogen pada suatu bahan organik. Karbon dan nitrogen merupakan dua unsur utama yang membentuk substrat bahan organik, keduanya diperlukan sebagai sumber energi mikroorganisme dalam melakukan perombakan. Menurut Yani dan Darwis (1990), mikroba yang berperan dalam proses secara anaerobik membutuhkan nutrisi untuk tumbuh dan berkembang, berupa sumber karbon dan sumber nitrogen. Seandainya dalam substrat hanya terdapat sedikit nitrogen, bakteri tidak akan dapat memproduksi enzim yang dibutuhkan untuk mensintesis senyawa (substrat) yang mengandung karbon. Keseimbangan karbon dan nitrogen dalam bahan yang digunakan sebagai substrat perlu mendapat perhatian. Untuk mencapai pertumbuhan bakteri anaerob optimum, diperlukan rasio C/N optimum berkisar 20 : 1 sampai 30 : 1.

Menurut Fry (1974), perbandingan C/N rasio dari bahan organik sangat menentukan aktivitas mikroba dan produksi biogas. Kebutuhan unsur karbon dapat dipenuhi dari karbohidrat, lemak, dan asam-asam organik, sedangkan kebutuhan nitrogen dipenuhi dari protein, amoniak dan nitrat. Perbandingan C/N untuk masing-masing bahan organik akan mempengaruhi komposisi biogas yang dihasilkan. Perbandingan C/N rasio yang terlalu rendah akan menghasilkan biogas dengan kandungan CH₄ rendah, CO₂ tinggi, H₂ rendah dan N₂ tinggi.

Perbandingan C/N yang terlalu tinggi akan menghasilkan biogas dengan kandungan CH₄ rendah, CO₂ tinggi, H₂ tinggi dan N₂ rendah. Perbandingan C/N yang seimbang akan menghasilkan biogas dengan CH₄ tinggi, CO₂ sedang, H₂ dan N₂ rendah.

Substrat bahan organik untuk produksi biogas harus memenuhi standar optimum C/N ratio yang disyaratkan. Menurut Ibrahim dan Imrana (2016), Tongkol jagung memiliki C/N ratio sebesar 37.5. Tingginya C/N ratio yang terkandung pada tongkol jagung menyebabkan proses dekomposisi tongkol jagung lebih lama dibandingkan dengan bahan organik lain yang memiliki C/N ratio lebih rendah seperti kotoran sapi. C/N rasio untuk kotoran sapi adalah 26.5 (Fairuz, 2015).

Untuk meningkatkan produksi biogas, perlu dilakukan pencampuran bahan tongkol jagung dengan kotoran sapi agar menghasilkan gas metan yang tinggi.

e. *Total Solid (TS) dan Volatile Solid (VS)*

Menurut Sulistyono (2010), total solid (TS) adalah jumlah materi padatan yang terdapat dalam limbah bahan organik selama proses pencernaan terjadi dan ini mengindikasikan laju penghancuran atau pembusukan material padatan limbah

organik. Total Solid merupakan salah satu faktor yang dapat menunjukkan telah terjadinya proses pendegradasian karena padatan ini akan dirombak pada saat terjadinya pendekomposisi bahan. Jumlah TS biasanya direpresentasikan dalam % bahan baku. Pengertian volatile solid (VS) merupakan bagian padatan (total solid-TS) yang berubah menjadi fase gas pada tahapan asidifikasi dan metanogenesis sebagaimana dalam proses fermentasi limbah organik. Volatile Solid merupakan jumlah indikasi awal pembentukan gas metane, jumlah VS biasanya direpresentasikan dalam % total solid (TS) atau mg/l leachate MLVSS (Mixed Liqour Volatile Suspended Solids).

f. Kandungan Bahan Kering

Menurut Paimin (2001) dalam Wiratmana *et al.* (2012), bahan isian dalam pembuatan biogas harus berupa bubur. Bentuk bubur ini dapat diperoleh bila bahan bakunya mempunyai kandungan air yang tinggi. Bahan baku dengan kadar air yang rendah dapat dijadikan berkadar air tinggi dengan menambahkan air ke dalamnya dengan perbandingan tertentu sesuai dengan kadar bahan kering bahan tersebut. Bahan baku yang paling baik mengandung 7-9 % bahan kering. Aktivitas normal dari mikroba metan membutuhkan sekitar 90% air dan 7-10% bahan kering dari bahan masukan untuk fermentasi. Dengan demikian isian yang paling banyak menghasilkan biogas adalah yang mengandung 7-9% bahan kering. Untuk kandungan kering sejumlah tersebut bahan baku isian biasanya dicampur dengan air dengan perbandingan tertentu. Perbandingan yang biasa digunakan pada kotoran sapi bercampur air yaitu 1:1 atau 1.2 (Haryanto, 2014).

g. Pengadukan

Pengadukan dan pembuatan biogas perlu dilakukan, hal ini bertujuan untuk menghomogenkan bahan baku agar mempercepat kontak substrat dengan mikroorganisme pada pembuatan biogas, seperti kotoran ternak, limbah pertanian, dan bahan-bahan lainnya. Karena pada saat pencampuran dilakukan, bahan-bahan tersebut tidak tercampur dengan baik dan merata. Pengadukan dapat dilakukan sebelum dimasukkan ke dalam digester atau ketika bahan sudah berada di dalam digester (Haryanto, 2014). Pencampuran dapat dilakukan melalui metode mekanik atau resirkulasi gas. Metode ini meliputi pompa eksternal, injeksi gas atau resirkulasi dari lantai atau atap digester, baling-baling atau turbin, dan konsep tabung. mixer mekanik lebih efektif daripada resirkulasi gas, tetapi mereka sering menjadi tersumbat (Gerardi, 2003).

2.2 Fermentasi Pada Biogas

Fermentasi adalah salah satu hal penting dalam pembentukan gas dalam biogas. Proses fermentasi mengacu pada berbagai reaksi dan interaksi yang terjadi di antara bakteri metanogen dan non metanogen serta bahan yang diumpankan ke dalam digester sebagai input. Menurut Afrian *et al.* (2017), fermentasi biogas akan berlangsung 60-90 hari dengan terbentuknya biogas pada hari ke-5 atau ke-10 dengan suhu pencernaan 28 °C. Secara umum fermentasi dibedakan menjadi fermentasi basah dan fermentasi kering. Perbedaan mendasar dari fermentasi basah (*wet fermentation*) dan fermentasi kering (*dry fermentation*) adalah kadar air bahan yang akan difermentasikan.

2.2.1 Fermentasi basah

Fermentasi basah merupakan metode daur ulang limbah organik yang memiliki kadar air lebih besar dari 75% dan sistem membutuhkan cairan untuk pergerakan bahan organik. Fermentasi basah membutuhkan masukan bahan organik yang cenderung basah dibandingkan dengan fermentasi kering (BIOFerm Energy Systems, 2009). Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam fermentasi basah adalah pengadukan, kontrol temperatur, koleksi gas, posisi digester dan waktu retensi. Pengadukan sangat diperlukan agar produksi gas tidak terhalang oleh busa yang terbentuk di permukaan. Limbah sayuran akan menghasilkan banyak busa dari pada kotoran ternak. Pada daerah yang panas, penggunaan atap perlu untuk melindungi digester agar tidak menghambat produksi gas. Gas akan mengalir melalui *valve* yang berada dibagian atas digester (Haryanti, 2006). Digester memiliki fungsi untuk membuat keadaan *anaerob*, agar proses fermentasi berlangsung dengan baik.

2.2.2 Fermentasi kering

Proses fermentasi kering adalah metode daur ulang limbah untuk konten bio limbah yang memiliki kandungan padatan yang tinggi atau memiliki kadar air yang kurang dari 75%, karena hanya memiliki sedikit kandungan air sehingga sistem ini tidak memerlukan pengolahan lebih lanjut dalam penanganan limbah cairnya. Fermentasi kering tidak banyak mengkonsumsi energi, hanya menggunakan 5% dari energi yang dihasilkan untuk mengoperasikan pabrik (BIOFerm Energy Systems, 2009) Penguraian *anaerobic* menggunakan fermentasi kering memberikan produk akhir yang sama seperti proses fermentasi basah dan memiliki beberapa keuntungan. Proses penguraian *anaerobic* dengan

fermentasi kering lebih efisien secara energi dan kerja. Fermentasi kering tidak membutuhkan bahan untuk dipadatkan dengan banyak air, sehingga hasilnya kering tidak perlu disterilkan atau dikeringkan tidak seperti fermentasi basah, substrat organik difermentasi kering tidak perlu diaduk secara mekanis atau ditekan melalui pipa dan prosesnya tidak terhambat dengan gangguan di sistem. Dengan ruangan tertutup dan kepadatan udara tinggi reactor penguraian *anaerobik* dengan fermentasi kering tidak akan mengeluarkan aroma tidak sedap dan kondisi *anaerobik* dan termopilis direaktornya akan memastikan produk yang aman dan tersanitasi untuk digunakan sebagai pupuk (Spmultitech, 2011).

Teknologi penguraian *anaerobik* dengan fermentasi kering lebih tepat untuk substrat yang lebih kering seperti sampah organik, sampah rumah tangga, sampah makanan, sampah lingkungan, sampai tandan kosong kelapa sawit. Teknologi penguraian *anaerobik* dengan fermentasi kering, mempunyai beberapa keuntungan yaitu sisa penguraian lebih kecil, proses penguraian lebih cepat, hemat energy, hemat pekerja, penguraian kering lebih mudah dikontrol (Spmultitech, 2011). Secara umum cairan pada digester yang menggunakan fermentasi kering disirkulasikan dengan pompa. Cairan dipercikan ke dalam digester yang kemudian akan di tampung dalam tangki penampung dan disirkulasikan kembali ke dalam digester. Proses ini tidak dapat dilakukan tanpa proses tangki yang terpisah karena total volume cairan bervariasi dalam waktu dan tergantung pada kadar air, daya ikat air dan kinetika degradasi bahan padat (Kusch, 2011).

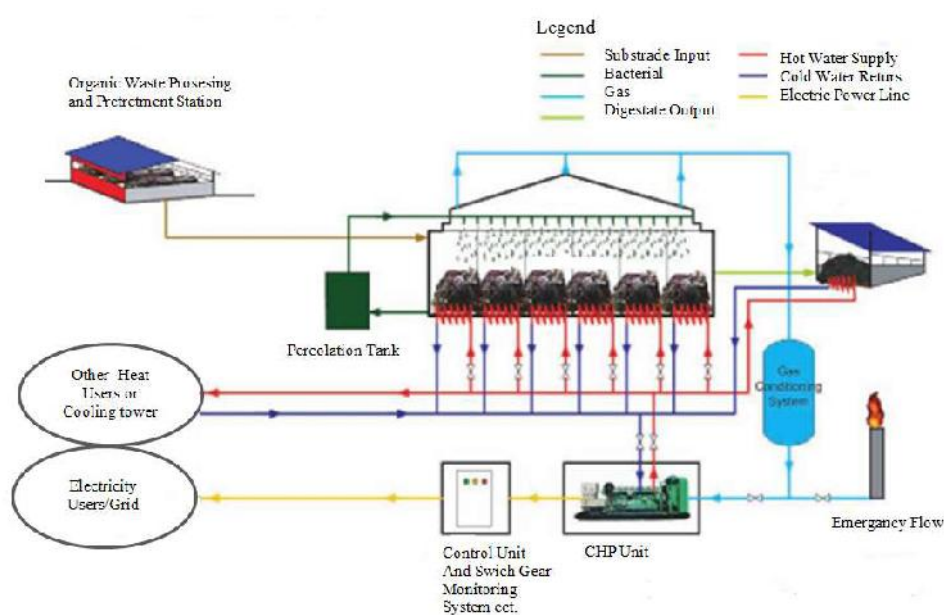
2.3 Digester Biogas Tipe Batch

Digester berfungsi untuk menampung dan sebagai tempat untuk memfermentasi bahan organik oleh mikroba sampai biogas diproduksi. Pembuatan atau desain 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 padatan kering antara 20 – 40 % dan digunakan untuk substrat seperti kotoran hewan, jerami, limbah rumah tangga, dan sampah organik padat perkotaan (Al Seadi *et al.*, 2008). Terdapat berbagai tipe digester berdasarkan beberapa kriteria, salah satunya pada kriteria teknik pengisian bahan baku yaitu digester tipe batch.

Jenis digester *batch* pada umumnya digunakan dalam proses 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. Proses pencernaan pada digester ini tidak memerlukan proses pencampuran bahan, melainkan menggunakan proses inokulasi dengan 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 pemeliharaan yang tinggi (Al Seadi *et al.*, 2008).

Fasilitas reaktor *anaerobik* dengan fermentasi kering dapat didesain sedemikian rupa sehingga terlihat seperti garasi atau lumbung penempatannya bisa disesuaikan dan dapat ditambah beberapa reaktor (Spmultitech, 2011)



Gambar 3. Skema Umum Fermentasi Kering (Spmultitech, 2011)

2.4 Tongkol Jagung

Jagung (*Zea mays L.*) merupakan tanaman semusim (*annual*). Jagung adalah salah satu tanaman pangan penghasil karbohidrat yang penting di dunia, selain gandum dan padi. Tanaman jagung merupakan salah satu jenis tanaman pangan biji-bijian dari keluarga rumput-rumputan, berasal dari Amerika yang tersebar ke Asia dan Afrika melalui jalur perdagangan. Sekitar abad ke-16 Portugal

menyebarkanluaskannya ke Asia termasuk Indonesia. Pada varietas tertentu tanaman jagung memiliki tinggi kurang dari 60 cm dan tipe yang lain dapat mencapai 6 m atau lebih saat dewasa (Hambali *et al.*, 2007). Pemanenan jagung dilakukan pada saat jagung telah berumur sekitar 100 hari setelah panen tergantung dari jenis varietas yang digunakan. Jagung yang telah siap panen atau sering disebut masak fisiologis ditandai dengan daun jagung/klobot telah kering, berwarna kekuning-kuningan, dan ada tanda hitam di bagian pangkal tempat melekatnya biji pada tongkol (Prastowoi *et al.*, 1998).

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS, 2016), produksi jagung pada tahun 2016 sebesar 21,84 juta ton atau naik sebesar 5,66 % dibandingkan tahun 2015. Proyeksi produksi jagung pada tahun 2017 kembali akan meningkat menjadi 22,67 juta ton atau meningkat sebesar 3,84% dari tahun 2016. Tingginya produksi jagung tiap tahunnya berdampak pada tingginya limbah yang dihasilkan terutama limbah tongkol jagung. Dari setiap panen jagung diperkirakan jagung (rendemen) yang dihasilkan sekitar 65%, sementara 35% dalam bentuk limbah salah satunya tongkol jagung (Haluti, 2015). Tongkol jagung merupakan salah satu limbah lignoselulosik yang mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Masing-masing merupakan senyawa-senyawa yang potensial dapat dikonversi menjadi senyawa lain secara biologi. Selulosa merupakan sumber karbon yang dapat digunakan mikroorganisme sebagai substrat dalam proses fermentasi untuk menghasilkan produk yang mempunyai nilai ekonomi tinggi (Widiarti *et al.*, 2016).

Tongkol jagung merupakan tempat pembentukan lembaga dan gudang penyimpanan makanan untuk pertumbuhan biji serta merupakan modifikasi dari

cabang yang mulai berkembang pada ruas-ruas batang. Tongkol utama umumnya terdapat pada ruas batang keenam sampai kedelapan dari atas dan pada ruas-ruas di bawah biasanya terdapat lima sampai tujuh tongkol yang tidak berkembang secara sempurna. Jagung mengandung kurang lebih 30% tongkol jagung dan sisanya adalah biji dan kulit. Tongkol jagung mengandung serat kasar yang cukup tinggi yakni 33%, kandungan selulosa sekitar 44,9% dan kandungan lignin sekitar 33,3% serta nilai kalor tongkol jagung yaitu sebesar 3733,3 cal/gram (Widarti *et al.*, 2016). Selain itu, tongkol jagung juga mengandung kadar unsur karbon 43,42% dan hidrogen 6,32% dengan nilai kalornya berkisar antara 14,7-18,9 MJ/kg (Mutmainnah, 2012). Menurut Ibrahim dan Imrana (2016), rasio C/N tongkol jagung sebesar 37.5. Komposisi kimia tersebut membuat tongkol jagung dapat digunakan sebagai sumber energi, bahan pakan ternak dan sebagai sumber karbon bagi pertumbuhan mikroba.

2.5 Kotoran Sapi

Kotoran sapi adalah limbah hasil pencernaan sapi. Sapi memiliki sistem pencernaan khusus yang menggunakan mikroorganisme dalam sistem pencernaan yang berfungsi untuk mencerna selulosa dan lignin dari rumput berserat tinggi. Oleh karena itu kotoran sapi memiliki kandungan selulosa yang tinggi. Kotoran sapi sangat cocok sebagai sumber penghasil biogas maupun sebagai biostarter dalam proses fermentasi, karena kotoran sapi tersebut telah mengandung bakteri penghasil gas metan yang terdapat dalam perut hewan ruminansia (Triyatno, 2011). Menurut Afrian *et al.* (2017), kotoran sapi memiliki nilai *total solid* (TS)

sebesar 28,68 %, kadar air 71,32 %, kadar abu 25,04 %, dan nilai *volatile solid* (VS) 74,95 %.

Produksi biogas dari kotoran sapi diperlukan pengenceran dengan air.

Penambahan air sampai kekentalan yang diinginkan bervariasi antara 1:1 sampai 1:2. Jika terlalu pekat, partikel-partikel akan menghambat aliran gas yang terbentuk pada bagian bawah digester. Sebagai akibatnya, produksi gas akan lebih sedikit. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Triyatno (2011), didapatkan hasil bahwa kecepatan produksi oleh bakteri untuk melakukan proses pembentukan biogas pada perbandingan 1:1,3 yang menghasilkan 0,033465 Kg/m³ /jam gas metan.

Menurut Wahyono dan Sudarno (2012), dari 1 kg kotoran sapi dapat menghasilkan biogas sebanyak 40 liter. 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. Menurut Fairuz *et al.* (2015), Kotoran sapi juga mengandung C/N ratio yang optimum untuk produksi biogas yaitu sebesar 26.5.

III.METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri Hasil Pertanian Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada bulan Januari - Juni 2018.

3.2 Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tongkol jagung segar yang didapatkan dari Kabupaten Lampung Tengah, kotoran sapi segar diambil dari Politeknik Negeri Lampung, air dan bahan analisis lainnya.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat bioreaktor tipe batch yang dilengkapi botol bekas air mineral volume 2 liter, selang, kran dan buret (Gambar 5), pH meter, elmenter vertalaizer (Vorro El-Cobe), gas chromatography (Shimadzu Shincarbon ST 50-80 D-375), spatula, cawan porselin, desikator, baskom, timbangan analitik, gelas ukur, spatula, pH meter, gelas beker, oven, tanur, sarung tangan, masker serta alat-alat analisa lainnya.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dua tahap yaitu karakterisasi bahan (tongkol jagung dan kotoran sapi) dilanjutkan produksi biogas menggunakan digester tipe *batch*.

Jumlah campuran tongkol jagung dan kotoran sapi yang digunakan ditentukan berdasarkan perhitungan C/N ratio yang disyaratkan yaitu 20-30 yang dapat dilihat pada Tabel 2. Sedangkan lama inkubasi yang digunakan yaitu 60 hari, 75 hari, dan 90 hari.

Tabel 2. Komposisi tongkol jagung dan kotoran sapi

Perlakuan	Komposisi Bahan Isian		
	Tongkol jagung (kg*)	Kotoran Sapi (kg*)	Air (Liter)
Kontrol	-	0,5	1
P1	0,08	0,5	1
P2	0,1	0,5	1
P3	0,12	0,5	1

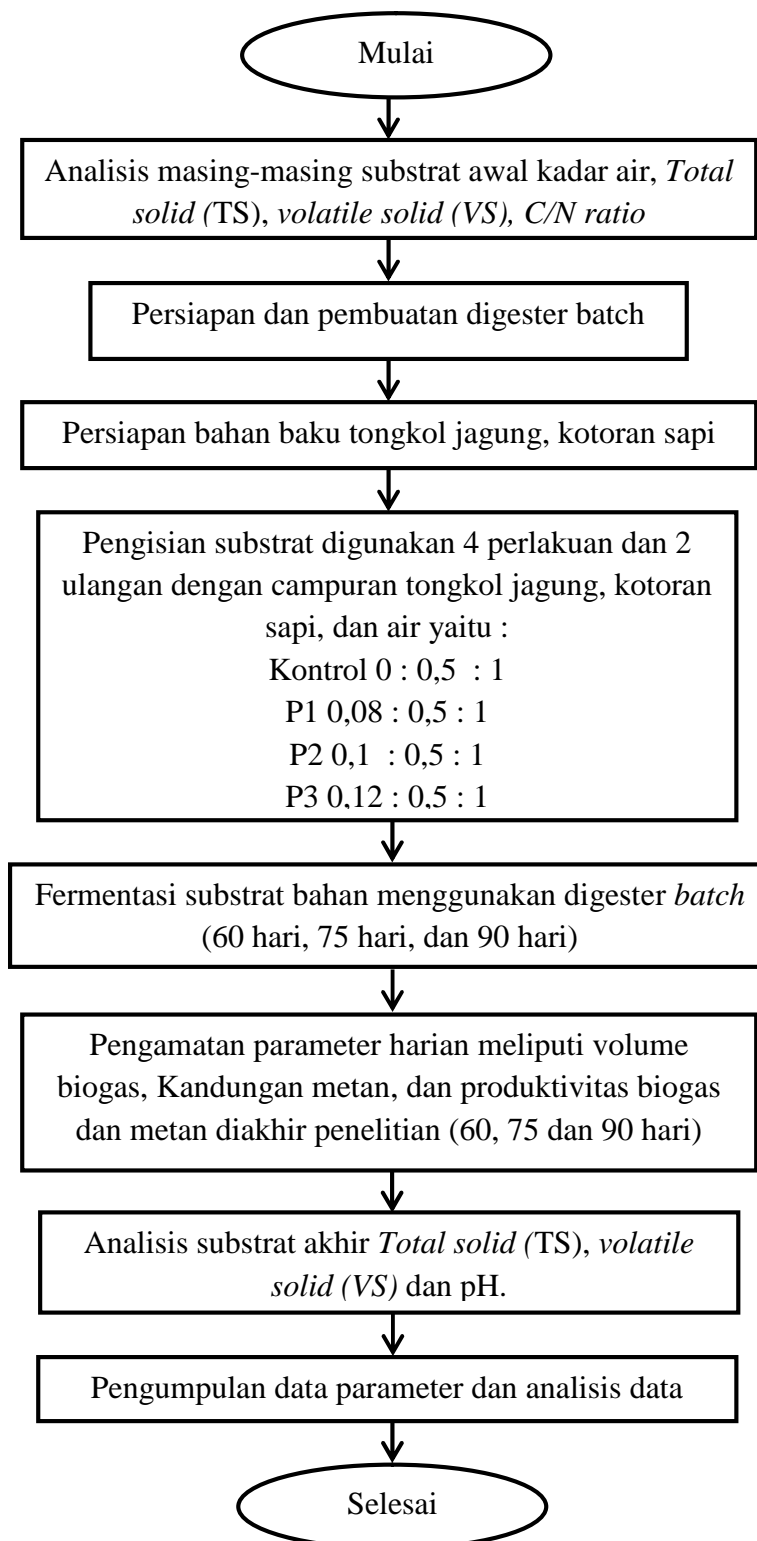
*Diukur dalam berat basah

Bahan difermentasi secara anaerobik dengan sistem tertutup. Pemasukan bahan dilakukan bersamaan pada awal proses sesuai dengan perlakuan yang telah dibuat. Beberapa parameter yang diamati pada penelitian ini yaitu *total solids* (TS), *volatile solids* (VS), C/N rasio, volume biogas, kandungan metana, produktivitas biogas dan produktivitas metana. Pengukuran volume biogas dilakukan setiap hari. Pengukuran *total solids* (TS) dan *volatile solids* (VS) dilakukan pada awal pemasukan dan akhir produksi, C/N rasio diukur pada bahan segar sebelum dilakukan pemasukan ke digester dan analisis komposisi biogas serta jumlah gas CH₄ yang terkandung dalam biogas tersebut dilakukan satu kali dalam seminggu.

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif yang disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

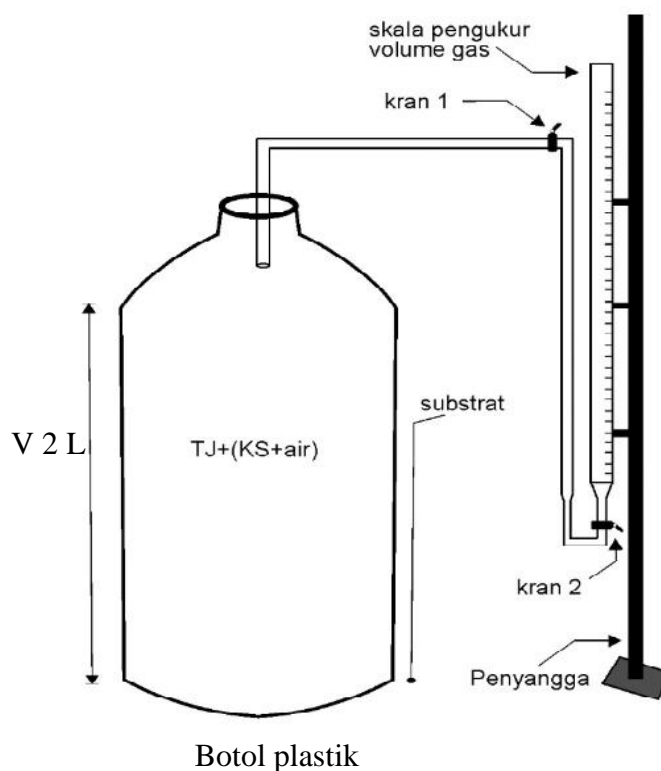
Secara garis besar pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada diagram alir seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

3.4.1 Persiapan Alat

Digester yang digunakan merupakan jenis batch dengan kapasitas volume 2 liter, yang terbuat dari botol bekas air mineral. Komponen yang terdapat pada digester yaitu satu lubang pada bagian atas digester yang berfungsi untuk pengeluaran gas.



Gambar 5. Digester dengan Sistem *Batch*

3.4.2 Persiapan bahan

Bahan berupa tongkol jagung, kotoran sapi segar dan air. Massa tongkol jagung yaitu 2 kg yang kemudian dihancurkan $\pm 0,5$ cm terlebih dahulu untuk mempermudah memasukan bahan ke dalam digester. Massa kotoran sapi yang diambil adalah 12 kg yang kemudian diencerkan dengan air sesuai dengan masing-masing perlakuan yaitu perbandingan 1:2. Setelah itu hancuran tongkol jagung dan kotoran sapi yang telah diencerkan diaduk merata kemudian dimasukan ke dalam digester sesuai perlakuan.



Gambar 6. Tongkol jagung sebelum dan sesudah dihancurkan

3.4.3 Pengisian substrat dan fermentasi

Pengisian substrat dilakukan setelah kotoran sapi diencerkan dan dicampur dengan tongkol jagung yang telah dicacah, kemudian diaduk hingga tongkol jagung dan kotoran sapi tercampur merata. Setelah semua tercampur, substrat dimasukkan ke dalam *anaerobic digesters* tipe *batch* sesuai dengan masing-masing perlakuan secara bersamaan. Substrat yang telah masuk ke dalam digester difermentasi secara anaerob selama 60, 75 dan 90 hari.



Gambar 8. Pengenceran kotoran sapi dan pencampuran substrat

3.5 Parameter Pengamatan

Pengamatan kandungan bahan meliputi *total solids* (TS), *volatile solids* (VS), pH dan C/N rasio. Parameter pengamatan yang dilakukan untuk produksi biogas meliputi parameter volume gas, kandungan metana, produktivitas biogas dan produktivitas metana. Cara pengukuran parameter tersebut sebagai berikut:

3.5.1 Nilai pH Substrat

Pengukuran pH substrat dilakukan dengan menggunakan pH meter yang diukur secara langsung pada substrat. Pengukuran pH dilakukan pada semua sampel perlakuan diawal pengisian substrat dan masing-masing waktu inkubasi.

Campuran substrat bahan dihomegenkan, kemudian diambil 40 ml lalu dilakukan pengukuran pH dengan menggunakan pH HM-20P (DKK-TOA Corporation, 2004)

3.5.2 Kandungan *Total Solid* (TS) dan *Volatile Solids* (VS)

Karakterisasi bahan substrat yang dianalisa yaitu 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 akhir pengamatan biogas. Pengukuran TS awal pengisian dilakukan terlebih dahulu dengan mengukur berat segar pada masing-masing bahan yaitu tongkol jagung dan kotoran sapi yang kemudian dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu 105 °C. Setelah bahan kering maka diukur massa bahan sehingga didapatkan nilai kadar air dengan Persamaan 1. Setelah nilai kadar air didapatkan kemudian dihitung nilai TS bahan dengan Persamaan 2.

Penghitungan VS dilakukan dengan mengukur massa setelah dikeringkan di dalam oven yang kemudian diabukan dengan tanur selama 2 jam dengan suhu 550 °C (APHA 1998). Bahan yang telah menjadi abu kemudian diukur massanya dan dihitung nilai VS bahan dengan Persamaan 4.

Kadar Air atau KA (%)

$$KA = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_1} \right) \times 100\% \quad \text{.....(1)}$$

Total Solid atau TS (%)

$$TS = \left(\frac{W_2}{W_1} \right) \times 100\% \quad \text{.....(2)}$$

Kadar Abu (%)

$$\text{Kadar Abu} = \left(\frac{W_4}{W_3} \right) \times 100\% \quad \text{.....(3)}$$

Volatile Solid atau VS (%)

$$VS = \left(\frac{W_3 - W_4}{W_3} \right) \times 100\% \quad \text{.....(4)}$$

Dimana :

W1 = berat sampel basah (g)

W2 = berat sampel kering (g)

W3 = berat sampel sebelum pengabuan (g)

W4 = berat sampel abu (g)

3.5.3 Kandungan C dan N

Kandungan C dan N bahan diukur diawal dan diakhir penelitian pada substrat bahan segar. Pengukuran dilakukan dengan elementer vertalizer (Vorro El-Cobe). Pengukuran dilakukan dengan memampatkan sampel sebanyak 20 mg di dalam

thin foil, kemudian sampel tersebut dimasukkan ke dalam *elementar analyzer* dan dianalisa dengan suhu 1200 °C selama 30 detik.

3.5.4 Volume Biogas

Pengukuran dilakukan setiap hari dari sehari setelah pengisian bahan hingga 90 hari pengamatan. Produksi gas harian diukur dengan cara membuka kran tempat pengeluaran, kemudian dialirkan menggunakan selang yang tersambung dengan buret yang berisi air. Gas yang keluar dari reaktor akan mendorong air sehingga volumenya naik. Selisih kenaikan volume air merupakan volume gas. Volume biogas yang diamati yaitu volume biogas harian dan volume biogas kumulatif.

3.5.5 Komposisi Gas

Pengukuran komposisi biogas dilakukan setelah gas diproduksi. Pengukuran dilakukan dengan alat gas chromatography (Shimadzu Shincarbon ST 50-80 D-375), menggunakan column jenis shincarbon dengan panjang 1-4 meter dan detector TCD (*Thermal Conductivity Detector*) pada temperatur 200 °C dan *current* 80 mA. Cara analisa yaitu sampel gas diambil sebanyak 0,2 ml menggunakan srynge lalu disuntikan pada injection port, kemudian data komposisi berbentuk kromatogram dan hasil perhitungan akan ditampilkan dimonitor. Pengukuran komposisi biogas dilakukan untuk mengetahui besaran komposisi CH₄ (metana) pada biogas yang dihasilkan (Shimadzu Corporation, 2004)

3.5.6 Produktivitas Biogas dan Metana

Pengukuran produktivitas metana dilakukan diakhir penelitian, menggunakan perhitungan dengan Persamaan 5 dan 6.

$$\text{Produktivitas biogas} = \frac{\text{Volume biogas}}{\text{VSremoval}} \quad \text{.....(5)}$$

$$\text{Produktivitas biogas} = \frac{\text{Volume biogas}}{\text{TSremoval}} \quad \text{.....(6)}$$

Pengukuran Produktivitas metana dilakukan diakhir penelitian, menggunakan perhitungan dengan Persamaan 17 dan 18.

$$\text{Produktivitas metana} = \frac{\text{Volume biogas} \times \text{persen metan}}{\text{VSremoval}} \quad \text{.....(7)}$$

$$\text{Produktivitas metana} = \frac{\text{Volume biogas} \times \text{persen metan}}{\text{TSremoval}} \quad \text{.....(8)}$$

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Tongkol jagung dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi biogas dilihat dari trend kenaikan gas yang dihasilkan oleh perlakuan penambahan tongkol jagung yang semakin meningkat.
2. Produksi biogas optimum substrat campuran tongkol jagung yang terbaik dihasilkan pada perlakuan P1 dengan total produksi gas kumulatif sebesar 4442,9 mL, produktivitas biogas 46,33 mL/gTSr atau 60,89 mL/gVSr, produktivitas metan 25,29 mL/gTSr atau 33,34 mL/gVSr, kandungan metan 60,06 %, C/N ratio 29,13, nilai TS awal 8,68 % dan nilai VS awal 7,08 %.

5.2 Saran

Untuk meningkatkan produksi biogas yang dihasilkan perlu adanya pretreatment tongkol jagung sebelum dimasukkan kedalam reaktor biogas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, T., S. M. Tauseef, and S. A. Abbasi. 2012. *Biogas Energy*. Springer Briefs in Environmental Science: New York. 184 hlm.
- Afriani, C., A. Haryanto, U. Hasanudin, dan I. Zulkarnain. 2017. Produksi Biogas dari Campuran Kotoran Sapi dengan Rumput Gajah (*Pennisetum Purpureum*). *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. 6 (1) : 23-30.
- APHA. 1998. *Standar Methods for The Examination of Water and Wastewater* 20th Edition. American Public Health Association. 2-53-2-59, 4100-4-111. Washington DC. USA.
- 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.
- Amin, A., S. Sitorus dan B. Yusuf. 2016. Pemanfaatan Limbah Tongkol Jagung (*Zea Mays L.*) Sebagai Arang Aktif dalam Menurunkan Kadar Amonia, Nitrit dan Nitrat pada Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Teknik Celup. *Jurnal Kimia Mulawarman*. 13 (2) : 78-84.
- Ayub, A. Haryanto, S. Prabawa. 2015. Produksi Biogas dari Rumput Gajah (*Pennisetum Purpureum*) Melalui Proses Fermentasi Kering. *Artikel Ilmiah Teknik Pertanian Lampung*: 33 – 38 (abe.fp.unila.ac.id).
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). 2017. Outlook Energi Indonesia 2017 : *inisiatif pengembangan teknologi energi bersih*. Pusat Teknologi Sumber Daya Energi dan Industri Kimia (PTSEIK). Jakarta : 83 hlm.
- Badan Pusat Statistik. 2016. Produksi Padi, Jagung, dan Kedelai (Angka Sementara Tahun 2016 dan Angka Ramalan Tahun 2017). BPS 2016 No. 28/03/Th. XX, 1 Maret 2016. <http://www.bps.go.id> diakses pada tanggal 01 Oktober 2017.
- BioFerm Energy System. 2009. Dry Fermentation vs Wet Fermentation. *Madison*. <http://www.BIOFarmEnergy.com>. diakses pada tanggal 01 Oktober 2017.

- Budiyono, G. Kaerunnisa, I. Rahmawati. 2013. Pengaruh PH dan Rasio COD:N Terhadap Biogas Dengan Bahan Baku Limbah Industri Alkohol (Ninasse). *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. 11 (1) : 1 – 6.
- Culhane, T.H. 2010. *Biogas Digester*. Tamera. Valerio Marazzi. 16 hlm.
- Darmanto, A., Sudjito, S. and Denny, W. 2012. Pengaruh Kondisi Temperatur Mesophilic (35°C) Dan Thermophilic (55°C) Anaerob Digester Kotoran Kuda Terhadap Produksi Biogas. *Jurnal Rekayasa Mesin* 3(2) : 317-326.
- DKK-TOA Corporation. 2004. *pH Meter Intruction Manual*. Japan.
- Efan, N.A. 2014. Produksi Biogas Melalui Proses Dry Fermentation Menggunakan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Skripsi*. Jurusan Teknik Pertanian. Fakultas Pertanian. Universitas Lampung.
- Fairuz, A., A. Haryanto dan A. Tusi. 2015. Pengaruh Penambahan Ampas Kelapa dan Kulit Pisang Terhadap Produksi Biogas dari Kotoran Sapi. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. 4 (2) : 91-98.
- Fry, L. J. 1974. *Practical Building of Methane Power Plants for Rural Energy Independence*. Standard Printing Santa Barbara. California.
- Gerardi, M.H. 2003. *The Microbiology of Anaerobic Digesters*. John Welley & Sons, Inc. Canada. 177 hlm.
- Haluti, S. 2015. Pemanfaatan Potensi Limbah Tongkol Jagung Sebagai Syngas Melalui Proses Gasifikasi di Wilayah Provinsi Gorontalo. *Jurnal Energi dan Manufaktur*. 8 (2) : 111-230.
- Hambali, E., Mujdalipah, S., Tambunan, A.H., Pattiwiri, A.W., Hendroko, R. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Haryanti, T. 2006. Biogas Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif. *Wartazoa*. 16 (2) : 160 – 169.
- Haryanto, A. 2014. *Energi Terbarukan*. Innosain. Yogyakarta. 468 hlm.
- Ibrahim, M. D dan Imrana, G. 2016. Biogas Production from Lignocellulosic Materials: Co-Digestion of Corn Cobs, Groundnut Shell and Sheep Dung. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*. ISSN: 2454-1362. 2 (6). 1261-1268.
- 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 Jyvaskyla.
- Khaerunnisa, G., I. Rahmawati. 2013. Pengaruh PH dan Rasio COD:N Terhadap Biogas dengan Bahan Baku Limbah Industri Alkohol (Vinasse). *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. Vol 2 (3) : 1 – 7.

- Kusch, S., S. Winfried, and K. Martin. 2011. *Dry Digestion of Organic Residues. Integrated Waste Management*. 1 (1) : 115 – 134.
- Mahajoeno, E. 2008. Pengembangan Energi Terbarukan dari Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit. *Disertasi*. Program Pascasarjana IPB Bogor.
- Manurung, R. 2004. Proses Anaerobik sebagai Alternatif untuk Mengolah Limbah Sawit. *Jurnal Teknik Kimia*. Universitas Sumatra Utara.
- Mohammad, R., F. Soeroso, S. Pradana, Akbar, Sudarno, dan I.W. Wardhana. 2016. Pengaruh Pengenceran dan Pengadukan Terhadap Produksi Biogas pada Aneorobic Digestion dengan Menggunakan Ekstrak Rumen Sapi Sebagai Starter dan Limbah Dapur Sebagai Substrat. *Jurnal PRESIPITASI*. Vol 13 (2) : 88 - 93.
- Mushlihah, S. dan Y. Trihadiningrum. 2015. Produksi Bioetanol dari Limbah Tongkol Jagung Sebagai Energi Alternatif Terbarukan. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XVIII*. ISBN : 978-602-97491-7-5.
- Muthmainnah. 2012. Pembuatan arang aktif tongkol jagung dan aplikasinya pada pengolahan minyak jelantah, *Jurnal kimia*. Universitas Tadulako. Palu.
- Ni'mah, L. 2014. Biogas from Solid Waste of Tofu Production and Cow Manure Mixture : Composition Effect. *Chemica*. Vol 1(1) : 1 – 9.
- Wiratmana, A., P., 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.
- Prastowo, B., Sarasutha, Lando, Zubachtirodin, Abidin, dan R.H. Anasiru. 1998. Rekayasa Teknologi Mekanis Untuk Budidaya Tanaman Jagung dan Upaya Pascapanennya pada Lahan Tadah Hujan. *Jurnal Teknik Pertanian*. 5(2) : 39-62.
- Purnomo, A., Suprihatin, M. Romli, and U. Hasanudin. 2018. Comparison of Biogas Production from Oil Palm Empty Fruit Bunches of Post-Mushroom Cultivation Media (EFBMM) from Semi Wet and Dry Fermentation. *Journal of Environment and Earth Science*. 8 (6) : 88-96.
- Rovita, E. 2018. Produksi Biogas dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Bekas Media Tumbuh Jamur Merang dengan Bioaktivator Kotoran Sapi. *Skripsi*. Jurusan Teknologi Hasil Pertanian. Fakultas Pertanian. Universitas Lampung.
- Saputra, T. 2010. Produksi Biogas dari Campuran Feses Sapi dan Ampas Tebu (*Bagasse*) dengan Rasio C/N yang Berbeda. *Buletin Peternakan*. 34.2: 114-122.
- Sawasdee, V. 2014. Feasibility of Biogas Production from Nepier Grass. *Energi Procedia*. (61) : 1229 – 1233.

- Shimadzu Corporation. 2004. *Gas Chromathography Instructon Manual*. Japan. Kyoto
- Simamora, S., Salundik, Sri.W. dan Surajudin. 2006. *Membuat Biogas Pengganti Minyak Dan Gas Dari Kotoran Ternak*. Agromedia Pustaka. Jakarta. 53 hlm.
- Spmultitech. 2011. *Biogas Fermentasi kering Using German Technologi*. Selangor.
- Sukmana, R.W. dan M. Anny. 2011. *Biogas dari Limbah Ternak*. Nuansa. Bandung. 158 hlm.
- Sulistyo, A. 2010. Analisis Pemanfaatan Sampah Organik di Pasar Induk Kramat Jati sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Biogas. *Tesis*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Suryati, T. 2014. *Bebas Sampah dari Rumah : Cara Bijak Mengolah Sampah Menjadi Kompos dan Pupuk Cair*. PT AgroMedia Pustaka. Jakarta. 108 hlm.
- Sutarto dan F. Feris. 2007. Analisis Prestasi Produksi Biogas (CH₄) dari *Polyethilene Biodigester* Berbahan Baku Limbah Ternak Sapi. *LOGIKA*. 1410– 2315.
- Triyatno, Joko. 2011. Pengaruh perbandingan kandungan air dengan kotoran sapi terhadap produktifitas biogas pada digester bersekat. *Jurnsl Ilmu Sains*. 3 (2). http://kopertis11.or.id/jurnal_baca.php?id=8 diakses pada hari selasa 28 November 2017
- Tuti, H. 2006. Biogas Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif. *Wartazoa*. 3(16) : 160–169.
- Wahyono, E. H. dan N. Sudarno. 2012. *Biogas : Energi Ramah Lingkungan*. Yapeka. Bogor. 48 hlm.
- Widarti, B.N., Sihotang1, P., Sarwono, E. 2016. Penggunaan Tongkol Jagung Akan Meningkatkan Nilai Kalor Pada Briket. *Jurnal Integrasi Proses*. 6 (1) : 16 – 21.
- Yahya, Y., Tamrin dan S. Triyono. Produksi Biogas dari Campuran Kotoran Ayam, Kotoran Sapi, dan Rumput Gajah Mini (*Pennisetum Purpureum Cv. Mott*) dengan Sistem Batch. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. 6 (3) :151-160.
- Yani, M. dan A. A. Darwis. 1990. *Diktat Teknologi Biogas*. Pusat Antar Universitas Bioteknologi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Zicari, M.S 2003. Removal of Hydrogen Sulfide from Biogas Using Cow-Manure Compost. *Thesis*. Cornell Univesity. 120 hlm.