

**PRODUKSI BIOGAS DARI LIMBAH TANDAN KOSONG  
KELAPA SAWIT (TKKS) BEKAS MEDIA TUMBUH JAMUR  
MERANG DENGAN BIOAKTIVATOR KOTORAN SAPI**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**ELA ROVITA**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2018**

## **ABSTRACT**

### **BIOGAS PRODUCTION FROM OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCHES OF POST MUSHROOM CULTIVATION MEDIA WITH MANURE FOR BIOACTIVATOR**

**By**

**ELA ROVITA**

Efforts to improve the volume of waste Oil Palm Empty Fruit Bunch (EFB) one of them with the use of EFB as a medium for mushroom cultivation. Post-cultivation of mushroom from former EFB-mushroom media (EFBMM) has the potential to be processed into biogas. This study aims to utilize EFBMM into biogas to generate energy, to develop methods of production of biogas from EFB using manure for bioactivator and determine the right ratio of manure and EFBMM to produce biogas which is the highest with 3 variations for spraying manure at 22, 22%, 44.44% and 66.66% of the weight EFBMM. This research used experimental method and the results were analyzed descriptively by presenting observations in the form of tables and graphs. This study used an dry anaerobic digester system (dry fermentation) for the decomposition process EFBMM. EFBMM parameters analyzed were water content, Total Solid (TS), Volatile Solid (VS), levels of C, N and C / N ratio and lignin content. Parameter characterized cow manure pH, Total Solid (TS), Volatile Solid (VS), levels of C and N. level . The results showed that 66.66% manure/day of spraying treatment

resulted in the highest number of total biogas to 366.46 liters with daily biogas production of 6,10 l/day, CH<sub>4</sub> content of 41.47%, the content of the C/N ratio of 16.64%, with biogas productivity of 288.9407 l/ KgVS and methane productivity of 104.9411 l/ KgVS.

Keywords: biogas; EFBMM; dry fermentation; manure

## **ABSTRAK**

### **PRODUKSI BIOGAS DARI LIMBAH TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) BEKAS MEDIA TUMBUH JAMUR MERANG DENGAN BIOAKTIVATOR KOTORAN SAPI**

**Oleh**

**ELA ROVITA**

Upaya untuk meningkatkan nilai tambah limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) salah satunya dengan pemanfaatan TKKS sebagai media budidaya jamur merang. Pasca budidaya jamur TKKS bekas media jamur (TKKSBJM) tersebut berpotensi untuk diolah menjadi biogas. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan TKKSBJM menjadi biogas untuk menghasilkan energi, mengembangkan metode produksi biogas dari TKKS menggunakan aktivator kotoran sapi dan menentukan perbandingan kotoran sapi dan TKKS yang tepat untuk menghasilkan biogas yang tertinggi. dengan menggunakan 3 variasi penyiraman kotoran sapi yaitu 22,22 %, 44,44% dan 66,66 % dari berat TKKSBJM. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang hasilnya dianalisis secara deskriptif dengan menyajikan hasil pengamatan dalam bentuk tabel dan grafik. Penelitian ini menggunakan *digester anaerobic* sistem kering (*dry fermentation*) untuk proses dekomposisi TKKSBJM. Parameter TKKS yang dianalisis adalah kadar air, *Total Solid* (TS), *Volatile Solid* (VS), kadar C, N dan C/N ratio serta kadar lignin. Parameter kotoran sapi yang dikarakterisasi adalah pH, *Total Solid* (TS), *Volatile Solid* (VS), kadar C, dan kadar N. Penelitian

dilakukan dalam 3 *digester anaerobic*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan penyiraman 66,66 % KS/hari menghasilkan jumlah biogas tertinggi yaitu sebesar 366.46 liter dengan produksi gas harian sebesar 6,10 l/hari kadar CH<sub>4</sub> sebesar 41,47%, kandungan C/N rasio sebesar 16,64%, dengan produktivitas biogas sebesar 288,9407 l/KgVS dan produktivitas metan sebesar 104,9411 l/KgVS.

Kata kunci : biogas, TKKSBJM, *dry fermentation*, kotoran sapi

**PRODUKSI BIOGAS DARI LIMBAH TANDAN KOSONG  
KELAPA SAWIT (TKKS) BEKAS MEDIA TUMBUH JAMUR  
MERANG DENGAN BIOAKTIVATOR KOTORAN SAPI**

Oleh

**ELA ROVITA**

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 LIMBAH TANDAN KOSONG  
KELAPA SAWIT (TKKS) BEKAS MEDIA TUMBUH  
JAMUR MERANG DENGAN BIOAKTIVATOR  
KOTORAN SAPI**


Nama Mahasiswa : **Ela Rovita**

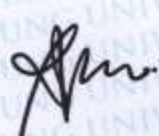
No. Pokok Mahasiswa : 1314051014

Program Studi : Teknologi Hasil Pertanian

Fakultas : Pertanian



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

  
**Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc.**  
NIP. 19660314 199003 1 009

2. Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian

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



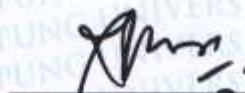
**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

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

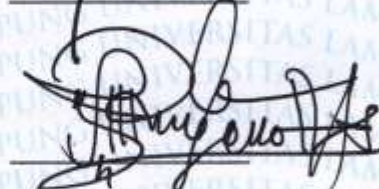


**Sekretaris : Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc.**



**Penguji**

**Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Suharyono, A.S., M.S.**

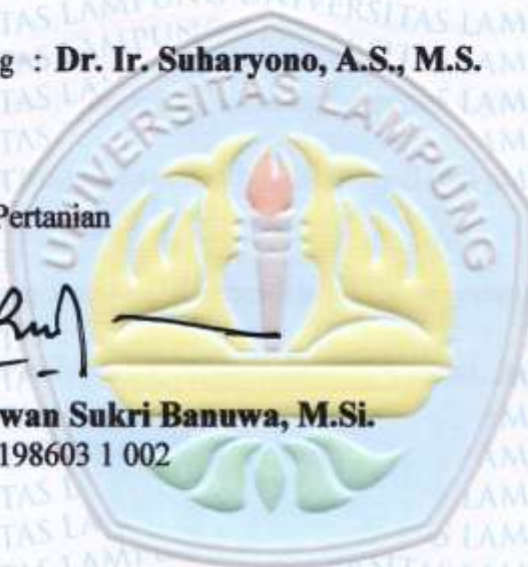


**2. Dekan Fakultas Pertanian**



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

**NIP 19611020 198603 1 002**



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 30 April 2018**



## PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah Ela Rovita NPM 1314051014

Dengan ini menyatakan bahwa 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, 06 Juni 2018  
Yang membuat pernyataan,



Ela Rovita  
NPM. 1314051014

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis lahir di Rantau Jaya Ilir, Lampung Tengah pada tanggal 6 Juni 1995, merupakan anak kedua dari dua bersaudara, pasangan Bapak Mardiko dan Ibu Suparti. Penulis mengawali pendidikan formal di Sekolah Dasar Negeri (SDN) 2 Rantau Jaya Ilir Lampung Tengah diselesaikan pada tahun 2007, Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 01 Way Bungur Lampung Timur diselesaikan pada tahun 2010, dan Sekolah Menengah Atas SMA Muhammadiyah 1 Purbolinggo Lampung Timur diselesaikan pada tahun 2013. Setelah penulis menyelesaikan pendidikannya di SMA, pada tahun 2013 penulis terdaftar sebagai mahasiswi Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung melalui jalur masuk tes.

Selama berada di bangku perkuliahan, penulis pernah menjadi asisten praktikum di beberapa mata kuliah yaitu mata kuliah Bahan Penyegar pada tahun ajaran 2016/2017 dan, mata kuliah Pengolahan Limbah Agroindustri pada tahun ajaran 2016/2017. Pada tahun 2016, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Tematik di Pekon Ceringin Asri, Kecamatan Way Ratay, Kabupaten Pesawaran dan pada tahun yang sama, penulis melaksanakan Praktik Umum di PT Sumber Indah Perkasa, Lampung selatan. Selama menjadi mahasiswi penulis juga aktif di organisasi kemahasiswaan pada Badan Eksekutif Mahasiswa Universitas

Lampung sebagai anggota bidang Kesejahteraan Masyarakat pada periode 2014-2015 dan ikut berperan aktif dalam setiap kegiatan yang dilaksanakan pihak jurusan.

## SANWACANA

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji dan syukur Penulis hanturkan kepada Allah SWT karena atas rahmat dan ridho-Nya lah, Penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "**Produksi Biogas Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Bekas Media Tumbuh Jamur Merang Dengan Bioaktivator Kotoran Sapi**". Selama pelaksanaan penelitian dan proses penulisan skripsi, telah banyak pihak yang memberikan bantuan dan motivasi yang besar kepada penulis. Sehingga dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.S. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Ibu Ir. Susilawati, M.Si selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Lampung, terima kasih atas segala bantuan dan saran yang telah diberikan.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Udin Hasanudin, M.T. selaku ketua komisi pembimbing dan pembimbing akademik terima kasih atas segala bimbingan, bantuan, saran, dan dukungan yang diberikan selama proses penyusunan skripsi penulis.
4. Bapak Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc. selaku anggota komisi pembimbing terima kasih atas segala pelajaran, bimbingan, saran, dan motivasi yang diberikan selama proses penyusunan skripsi penulis.

5. Bapak Dr. Suharyono A.S, M.S. selaku penguji utama yang telah banyak memberikan kritik, saran dan bimbingan terhadap karya skripsi penulis.
6. Seluruh bapak dan ibu dosen THP serta seluruh karyawan yang telah sangat membantu selama perkuliahan dan penelitian ini atas semua bimbingan dan bantuannya.
7. Keluargaku tercinta: Bapak dan Mamak, Mbak Santi dan Kak Nowan, Az-zahra dan Farkhan. terima kasih banyak atas do'a, semangat, nasihat, motivasi, kasih sayang serta dukungannya selama ini.
8. Keluarga besar THP angkatan 2013 dan teman-teman lainnya, terima kasih atas kekeluargaan dan semangatnya selama ini.
9. Keluarga besar Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri THP FP Unila:, Mas Joko, Pak Agus, Mbak Amel, Sinta Tri Aji, Aisyah, Tari, Sinta, Ega, dan Mas Midi atas dukungan, semangat dan nasehat kepada penulis.

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

Bandar Lampung, April 2018

**Ela Rovita**



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	5
1.3. Kerangka Pemikiran .....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	9
2.1. Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit .....	9
2.2. Kotoran Sapi .....	12
2.3. Fermentasi Kering ( <i>Dry Fermentation</i> ) .....	13
2.4. Biogas .....	15
2.4.1. Konversi Bahan Organik pada Proses Anaerob ke Biogas	16
2.4.2. Faktor- faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Biogas	20
<b>III. BAHAN DAN METODE</b> .....	24
3.1. Waktu dan Tempat .....	24
3.2. Alat dan Bahan .....	24
3.3. Metode Penelitian .....	25
3.4. Pengamatan .....	26
3.4.1. Pengukuran pH .....	27
3.4.2. Pengukuran Kadar Air .....	27
3.4.3. Pengukuran Total C,N dan C/N rasio .....	28

3.4.4. Pengukuran TS dan VS .....	28
3.4.5. Pengukuran Volume Gas .....	29
3.4.6. Pengukuran Konsentrasi Gas .....	29
3.4.7. Produktivitas Gas dan Produktivitas Metan.....	30
3.4.8. Pengukuran Selulosa, Hemiselulosa dan Lignin.....	30
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>32</b>
4.1. Karakterisasi Bahan Baku Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan Kotoran Sapi .....	32
4.2. Produksi Biogas dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Bekas Media Tumbuh Jamur Merang Dengan Bioaktivator Kotoran Sapi.....	35
4.2.1 Produksi Gas Harian.....	35
4.2.2 Produksi Gas Kumulatif .....	41
4.2.3 Komposisi Gas .....	42
4.2.4 Produktivitas Gas dan Produktivitas Metan .....	46
4.3. <i>Total solid</i> (TS) dan <i>Volatile solid</i> (VS) .....	47
4.3.1. Selulosa, Hemiselulosa dan Lignin .....	50
4.4. Neraca Massa Proses Dekomposisi Anaerobik .....	53
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>57</b>
5.1. Simpulan .....	57
5.2. Saran .....	58
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>59</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>64</b>

**DAFTAR TABEL**

Tabel	Halaman
1. Komposisi tandan kosong kelapa sawit .....	10
2. Komposisi Biogas .....	16
3. Karakteristik Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) bekas media tumbuh jamur merang .....	33
4. Karakteristik Kotoran sapi .....	34
5. Produktivitas Biogas dan Produktivitas Metan proses dekomposisi Anaerobi .....	46
6. Perbandingan TS dan VS TKKS awal dan hasil penelitian .....	47
7. Perbandingan TS dan VS kotoran sapi awal dan hasil penelitian ( Lindi )	48
8. Hasil anilisa kandungan Hemiselulosa, Selulosa dan Lignin .....	50

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram kerangka pemikiran pembuatan biogas dari limbah TKKS bekas media tumbuh jamur merang dengan metode <i>dry fermentation</i> .....	8
2. Skema Umum <i>Dry Fermentation Digester</i> .....	15
3. Skema Biodegradasi Anaerobik Bahan Organik.....	19
4. Diagram proses pelaksanaan penelitian .....	26
5. Grafik total produksi gas harian perlakuan 22,22 % KS/hari .....	36
6. Grafik total produksi gas harian perlakuan 44,44 % KS/hari .....	37
7. Grafik total produksi gas harian perlakuan 66,66 % KS/hari .....	38
8. Grafik total produksi gas kumulatif .....	39
9. Komposisi biogas perlakuan 22,22% KS/hari .....	41
10. Komposisi biogas perlakuan 44,44% KS/hari .....	41
11. Komposisi biogas perlakuan 66,66% KS/hari .....	42
12. Konsentrasi gas metana perlakuan 22,22%, 44,44%, dan 66,66% ....	43
13. Tahapan proses pembentukan biogas.....	45
14. Penurunan nilai TS dan VS produk dekomposisi .....	48
15. Penurunan nilai TS dan VS lindi .....	48
16. Kurva penurunan Hemiselulosa, Selulosa dan Lignin .....	51
17. Neraca Massa Pengomposan TKKSBJM digester 1 .....	53

18. Neraca Massa Pengomposan TKKSBMJM digester 2 .....	54
19. Neraca Massa Pengomposan TKKSBMJM digester 3 .....	54



## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Perkembangan lahan perkebunan kelapa sawit di Indonesia dari tahun ke tahun telah mengalami peningkatan yang sangat signifikan. Peningkatan penggunaan luas lahan yang digunakan untuk perkebunan kelapa sawit di Indonesia dipengaruhi juga oleh kebutuhan konsumsi produk-produk hasil dari olahan sawit dan turunannya. Areal perkebunan sawit hampir terdapat di setiap pulau di Indonesia termasuk pulau Sumatera. Menurut data dari Direktorat Jenderal Perkebunan untuk komoditas kelapa sawit tahun 2016 jumlah luas areal perkebunan kelapa sawit yang ada di pulau Sumatera mencapai 7.379.993 Ha dengan jumlah produksi mencapai 22.742.329 Ton/tahun.

Provinsi Lampung menempati posisi 9 dari 10 provinsi di Sumatera yang dijadikan daerah perkebunan kelapa sawit dengan luas areal perkebunan mencapai 202.774 Ha dan kapasitas produksi mencapai 504.099 ton/tahun. Jumlah tersebut cukup sedikit jika dilihat dari luas areal keseluruhan provinsi Lampung. Jumlah perkembangan perkebunan kelapa sawit di Indonesia semakin meningkat dari tahun ke tahun, peningkatan jumlah ini mempengaruhi juga jumlah limbah yang dihasilkan dari

proses pengolahan buah sawit. Menurut *Ditjen Perkebunan, Kementerian Pertanian* (2014), jumlah pabrik pengolahan kelapa sawit di Indonesia mencapai 608 pabrik. Jumlah pabrik pengolahan kelapa sawit di provinsi Lampung adalah 10 pabrik dengan total kapasitas produksi adalah 364 ton tbs/jam. Banyaknya jumlah pabrik pengolahan kelapa sawit yang ada serta meningkatnya jumlah areal perkebunan dan produksi minyak sawit secara langsung mempengaruhi jumlah limbah yang dapat dihasilkan dari proses pengolahan buah sawit menjadi minyak sawit. Menurut *Darnoko et al.*, (1993), pengolahan satu ton tandan buah segar kelapa sawit akan menghasilkan *Crude Palm Oil* (CPO) 0,21 ton (21%), minyak inti sawit 0,05 ton (0,5%), dan sisanya merupakan limbah dalam bentuk Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) 0,23 ton (23%), serat 0,135 ton (13,5%), dan cangkang biji 0,055 ton (5,5%). Limbah padat yang cukup banyak dihasilkan adalah tandan kosong kelapa sawit yaitu sekitar 23%. Jumlah ini tentunya sangat besar jika dikalikan dengan total keseluruhan produksi yang ada di wilayah Lampung.

Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) selama ini telah dimanfaatkan untuk berbagai kegunaan, antara lain sebagai abu tandan kosong sawit sebagai katalis basa pada pembuatan biodiesel dari minyak sawit (*Yoeswono et al.*, 2007), pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai bahan baku pupuk kompos (*Dahyar*, 2010), sebagai bahan baku produksi bioetanol (*Muryanto et al.*, 2012; *Kim dan Kim*, 2013; dan *Sudiyani et al.*, 2010), sebagai bahan baku pembuatan pupuk kompos yang dicampur dari lumpur produksi biogas PKS

(Nutongkaew *et al.*, 2014) dan bahan baku produksi biogas (Chaikitkaew *et al.*, 2015; Nieves *et al.*, 2011; Nurliyana *et al.*, 2015).

Masalah yang terjadi adalah cukup banyak industri kelapa sawit yang tidak memiliki lahan perkebunan, sehingga sistem pengembalian limbah TKKS ke kebun tidak dapat dilakukan. Upaya yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan memanfaatkan limbah TKKS sebagai media tumbuh jamur. Beberapa jenis jamur yang telah diujicobakan pada media TKKS antara lain jamur merang *Panus sp.* (Manuella dan Gunawan, 1997), *Volvariella volvacea* (Siregar, 2010), *Ganoderma boninense* *Pleurotus sp.* (Sudirman *et al.*, 2011), dan jamur tiram (Sudirman *et al.*, 2011 dan Tabi *et al.*, 2008). Upaya ini dapat mengurangi jumlah limbah TKKS yang belum diolah dan dapat juga dijadikan salah satu upaya pemberdayaan masyarakat sekitar.

Upaya pemanfaatan limbah TKKS sebagai media tanam jamur merang ternyata juga menghasilkan masalah baru, yaitu limbah TKKS sisa media tumbuh jamur merang yang masih dapat menimbulkan pencemaran lingkungan seperti bau yang tidak sedap, serta jika limbah terkena hujan maka limbah akan tersebar dan cenderung menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Upaya yang digunakan untuk mengatasi masalah ini adalah pemanfaatan limbah TKKS sisa media tumbuh jamur merang menjadi sumber energi alternatif lain. Salah satu pemanfaatan yang dipilih adalah dengan menjadikan limbah TKKS bekas media tumbuh jamur ini menjadi biogas. Pemilihan cara ini dianggap paling efektif, dikarenakan TKKS yang telah dijadikan media tumbuh jamur kaya memiliki C/N rasio serta kandungan

lignoselulosa yang lebih rendah jika dibandingkan dengan TKKS segar sehingga proses degradasi untuk menghasilkan biogas akan berlangsung lebih cepat.

Biogas adalah campuran gas yang dihasilkan oleh bakteri metanogenik yang terjadi pada material-material yang dapat terurai secara alami dalam kondisi anaerobik.

Pada umumnya biogas terdiri atas gas metana ( $\text{CH}_4$ ) 50 sampai 70 persen, gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) 30 sampai 40 persen, Hidrogen ( $\text{H}_2$ ) 5 sampai 10 persen, dan gas-gas lainnya dalam jumlah yang sedikit. Pembuatan Biogas dengan memanfaatkan limbah TKKS bekas media tumbuh jamur merang dapat dilakukan dengan cara dekomposisi anaerobik yang dicampur dengan kotoran sapi. Menurut Sudiyani *et al.*, (2010), TKKS memiliki kandungan bahan organik yang cukup tinggi yaitu Sellulosa 41,3-46,5 %, Hemisellulosa 25,3-33,8 %, dan Lignin sekitar 27,6-32,5 % serta C/N ratio mencapai 50-65. Kandungan bahan organik tersebut sangat berpotensi besar untuk menghasilkan biogas. Biogas dapat terbentuk melalui degradasi bahan organik oleh bakteri anaerob dalam suasana anaerobik. Degradasi dapat dipercepat dengan penambahan aktivator seperti limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) ataupun dengan kotoran sapi.

Aktivator yang digunakan dalam penelitian ini adalah kotoran sapi. Kotoran sapi dianggap substrat paling cocok dalam pemanfaatan biogas karena telah mengandung bakteri-bakteri penghasil gas metana yang terdapat dalam perut hewan ruminansia. Keberadaan bakteri di dalam usus besar ruminansia tersebut membantu proses fermentasi, oleh karena itu kotoran sapi dapat juga digunakan sebagai pemicu atau

stater sehingga proses pembentukan gas bio pada digester dapat dilakukan lebih cepat.

Penelitian ini dilakukan karena sisa limbah TKKS yang sudah dijadikan media tumbuh jamur masih belum dimanfaatkan dengan baik dan hanya ditimbun saja sehingga dapat menimbulkan masalah baru seperti pencemaran lingkungan. Selain itu, penelitian dilakukan untuk menentukan metode yang tepat dalam pembuatan biogas dengan pemilihan kotoran sapi sebagai aktivator.

## **1.2. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Untuk mengetahui apakah TKKS sisa media tumbuh jamur dapat dimanfaatkan sebagai biogas untuk menghasilkan energi.
2. Mengembangkan metode produksi biogas dari limbah TKKS bekas media tumbuh jamur merang menggunakan bioaktivator kotoran sapi.
3. Menentukan perbandingan kotoran sapi dan limbah TKKS bekas media tumbuh jamur mmerang yang tepat untuk menghasilkan biogas yang tertinggi.

## **1.3. Kerangka Pemikiran**

TKKS merupakan biomassa yang mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang sulit untuk dipisahkan, sehingga membutuhkan perlakuan khusus. Selulosa dalam bahan lignoselulosa merupakan sumber karbon organik, sehingga bahan tersebut dapat menjadi bahan baku potensial untuk pembuatan biogas. Fungsi lignin



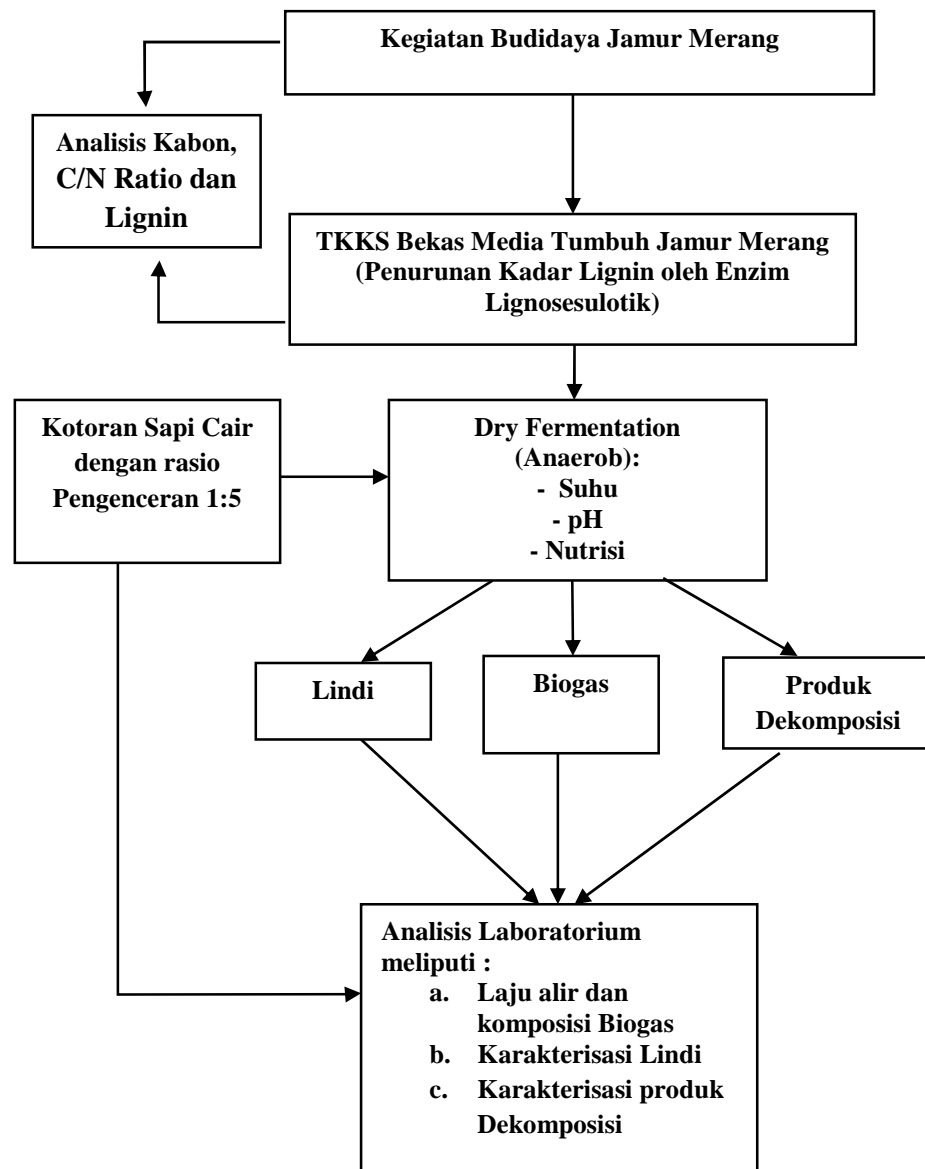
adalah memberi struktur pada tanaman dan melindungi tanaman dari degradasi, terutama degradasi biologis. Struktur lignin yang kompleks menyebabkan komponen ini susah diuraikan dan dapat menghalangi proses hidrolisis selulosa, sehingga akan menurunkan yield biogas (Rahayu *et al.*, 2012). Menurut Firda *et al.*, (2016), bekas baglog media jamur tiram tersebut merupakan bahan baku yang memiliki kadar lignin rendah, hal ini dikarenakan jamur tiram termasuk kedalam golongan jamur pelapuk putih yang dapat menghasilkan enzim lignoselulolitik sehingga dapat mendegradasi lignin yang terdapat pada TKKS. Kadar lignin yang rendah pada bekas baglog media jamur tiram dan sangat sesuai sebagai bahan baku pembuatan biogas.

Kotoran sapi merupakan sumber inokulum penghasil gas metana dan dapat juga berperan sebagai sumber nutrisi yang baik bagi mikroorganisme metanogenik pada pembentukan biogas, sehingga mikroorganisme tersebut dapat bekerja secara optimal untuk meningkatkan produksi biogas. Sakinah (2012), menyatakan bahwa produksi biogas dengan biostater kotoran sapi lebih tinggi apabila dibandingkan dengan menggunakan biostater kotoran ayam dengan produksi tertinggi 23,67 gram pada konsentrasi 15 %. Selain itu juga penambahan ko-substrat organik untuk meningkatkan konsentrasi nitrogen pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) berupa sampah sayuran sawi hijau dapat dilakukan dengan tujuan menjaga keseimbangan C/N rasio untuk meningkatkan produksi biogas (Sastika *et al.*, 2013).

Apria (2014), melakukan penelitian pengomposan TKKS secara anaerobik dengan menggunakan dua jenis inokulum, adalah kotoran sapi dan efluen dari proses pengolahan LCPKS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan produksi

biogas total yang diperoleh dari bahan TKKS dengan inokulum kotoran sapi sebesar 1.561,4 liter selama 41 hari dengan produksi rata-rata sebesar 38 liter/hari, kadar  $\text{CH}_4$  sebesar 36,1 %, produktivitas biogas sebesar 1.074,6 l/kg  $\text{VS}_{\text{removed}}$  dan produktivitas  $\text{CH}_4$  sebesar 387,9 l/kg  $\text{VS}_{\text{removed}}$ . Sasongko *et al.*, (2010), melakukan penelitian produksi biogas dari kotoran sapi dengan perlakuan pengenceran serta agitasi dengan biodigester *Fix Dome* dengan rasio pengenceran 1:1, 1:3, 1:5, dan 1:7. Penelitian tersebut menghasilkan produksi biogas paling tinggi pada rasio pengenceran 1:3 sebesar 1,11 l/hari, dan produksi biogas paling cepat dengan rasio 1:1, rerata hasil yang diperoleh adalah 1,03 l/hari. Produksi biogas terendah pada rasio pengenceran 1:7 yaitu 0,37 l/hari.

Rasio pengenceran kotoran sapi yang digunakan pada penelitian ini adalah 1:5 dengan perlakuan penyaringan padatan yang terdapat dalam kotoran sapi setelah dilakukan pengenceran. Hal tersebut dilakukan untuk mencegah penyumbatan pada pompa digester pada saat penyiraman. Penelitian pendahuluan yang telah dilakukan menunjukkan hasil bahwa TKKS sebanyak 45 kg dengan volume penyiraman 20 liter kotoran sapi yang dikomposkan dengan kondisi anaerobik telah menghasilkan jumlah biogas diperoleh rata-rata 9,695 l/Hari. Berdasarkan penelitian pendahuluan tersebut dilakukan variasi penyiraman kotoran sapi dengan volume 22,22 %, 44,44 %, dan 66,66 % dari berat TKKS yang digunakan untuk mengetahui perlakuan penyiraman terbaik.



Gambar 1. Diagram kerangka pemikiran pembuatan biogas dari limbah TKKS bekas media tumbuh jamur merang dengan metode *dry fermentation*.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit

Proses pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi *crude palmoil* (CPO) menghasilkan biomassa produk samping yang jumlahnya sangat besar. Omar *et al.* (2011) menyatakan bahwa turunan dari industri kelapa sawit terdiri dari 21% minyak sawit, 7% palm kernel, 14% mesocarp fiber, 7% palm kernel shell, dan 23% tandan kosong kelapa sawit. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan produk samping Pabrik Kelapa Sawit (PKS) berupa padatan yang belum dimanfaatkan secara optimal. Ketersediaan tandan kosong kelapa sawit cukup signifikan bila ditinjau berdasarkan rerata nisbah produksi tandan kosong kelapa sawit terhadap total jumlah tandan buah segar (TBS) yang diproses. Rerata produksi tandan kosong kelapa sawit adalah berkisar 22% hingga 24% dari total berat tandan buah segar yang diproses di pabrik pengolahan kelapa sawit. Secara fisik tandan kosong kelapa sawit terdiri dari berbagai macam serat dengan komposisi antara lain sellulosa, hemisellulosa dan lignin (Arif, 2012). Berikut ini adalah table komposisi limbah TKKS.

Tabel 1. Komposisi tandan kosong kelapa sawit

Parameter	Nilai
Abu	6,04 % berat kering <sup>a)</sup>
Lignin	15,70 % berat kering <sup>a)</sup>
Selulosa	36,81 % berat kering <sup>a)</sup>
Hemiselulosa	27,01 % berat kering <sup>a)</sup>
Kelembaban (%)	24±5,80 <sup>b)</sup>
pH	6,70±0,20 <sup>b)</sup>
C (%)	53±1,50 <sup>b)</sup>
N (%)	0,9±0,10 <sup>b)</sup>
C/N	58,90 <sup>b)</sup>
Fosfor (%)	0,60±0,10 <sup>b)</sup>
Potassium (%)	2,40±0,40 <sup>b)</sup>
Kalsium (%)	0,60±0,30 <sup>b)</sup>
Magnesium (%)	0,6±0,2 <sup>b)</sup>
Sulfur (%)	1,10±0,30 <sup>b)</sup>

Sumber : <sup>a)</sup>Hambaliet *al.*(2007)

<sup>b)</sup>Baharuddi *et al.*(2009)

Selama ini TKKS hanya dimanfaatkan untuk mulsa, kompos, dan bahan bakar boiler. Pemanfaatan TKKS untuk enzim ligninolitik, jamur konsumsi, Carboxy Methyl Cellulose (CMC), serta pupuk organik secara terintegrasi akan memberikan nilai tambah yang lebih tinggi dibandingkan dengan hasil teknologi yang diterapkan saat ini. Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) selama ini telah dimanfaatkan untuk berbagai kegunaan, antara lain adalah pemanfaatan limbah abu tandan kosong

sawit sebagai katalis basa pada pembuatan biodiesel dari minyak sawit (Yoeswono *et al.*, 2007), pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit(TKKS) sebagai bahan baku pupuk kompos (Dahyar 2010), bahan baku produksibioetanol (Muryanto *et.al.*, 2012; Kim danKim, 2013; dan Sudiyani *et al.*, 2010), sebagai bahan baku pembuatan pupuk kompos yang dicampur dari lumpur produksi biogas PKS (Nutongkaew *et al.*, 2014) dan bahan baku produksi biogas (Chaikitkaew *et al.*, 2015;Nieveset *al.*, 2011; Nurliyana*et al.*, 2015; Suksonget *al.*, 2016).

Selain pemanfaatan tersebut, sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai penggunaan TKKS sebagai media tumbuh jamur. Beberapa jenis jamur yang telah diujicobakan pada media TKKS antara lain jamur merang *Panus sp.* (Manuella dan Gunawan 1997), *Volvariella volvacea* (Siregar 2010), *Ganoderma boninense**Pleurotus sp.* (Sudirman *et.al.*, 2011), dan jamur tiram(Sudirman *et.al.*, 2011 dan Tabi *et.al.*, 2008). Menurut Hidayati *etal*, (2015), serat limbah TKKS yang dicampur dengan serbuk kayu, dedak, kapur, dan gips digunakan sebagai media tumbuh jamur tiram dengan hasil terbaik yaitu rata-rata bobot jamur yang dihasilkan adalah 149,39 g/baglog. Limbah TKKS yang telah digunakan sebagai media tumbuh jamur memiliki kandungan lignin yang rendah, hal ini dikarenakan jamur dapat memproduksi enzim lignoselulotik.

## 2.2. 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. Pada umumnya kotoran sapi hanya digunakan sebagai pupuk untuk tanaman, karena mempunyai kandungan nitrogen, fosfor, dan kalium yang cukup baik dalam memenuhi kebutuhan nutrisi bagi tanaman. Kotoran sapi dianggap substrat paling cocok untuk pemanfaatan biogas. Substrat dalam kotoran sapi telah mengandung bakteri penghasil gas metana yang terdapat dalam perut hewan ruminansia. Selain itu, kotoran sapi juga banyak dimanfaatkan sebagai inokulum dalam pembuatan biogas. Kotoran sapi mengandung hemiselulosa sebesar 18,6 %, selulosa 25,2 %, lignin 20,2 %, nitrogen 1,67%, fosfat 1,11 %, kalium 0,56 % dan C/N rasio 6,6-25 % (Widyasmara, 2012).

Populasi ternak sapi merupakan sumber energi yang potensial dalam pengolahan produksi biogas karena jumlahnya yang sangat banyak. Bila pada tahun 2011 populasi sapi 14.824 ribu ekor dengan produksi kotoran 29/kg perhari, maka akan dihasilkan limbah kotoran sapi sebesar 429.896 ton perhari. Dengan potensi 1 kg kotoran sapi menghasilkan minimal 0,023m<sup>3</sup> biogas maka akan menghasilkan biogas 9.887.608m<sup>3</sup> (Wahyuni, 2013). Potensi biogas yang berasal dari kotoran sapi sudah banyak digunakan dalam dunia industri. Energi tersebut dibutuhkan dalam bidang industri maupun pada bidang pembangkit tenaga listrik.

Pemanfaatan kotoran sapi sebagai activator dalam pembuatan biogas telah dilakukan dengan berbagai substrat, yaitu menggunakan jerami, eceng gondok, Limbah Cair Pabrik Kelapa sawit (LCPKS), serta menggunakan TKKS. Nanda (2014), melakukan penelitian pembuatan biogas menggunakan substrat TKKS dan kotoran sapi sebagai activator dengan metode *dry fermentation*. Penelitian tersebut menghasilkan produksi biogas total yang diperoleh dari bahan TKKS dengan inokulum kotoran sapi sebesar 1.561,4 liter selama 41 hari dengan produksi rata-rata sebesar 38 liter/hari, kadar CH<sub>4</sub> sebesar 36,1 %, produktivitas biogas sebesar 1.074,6 l/kg VS<sub>removed</sub> dan produktivitas CH<sub>4</sub> sebesar 387,9 l/kg VS<sub>removed</sub>.

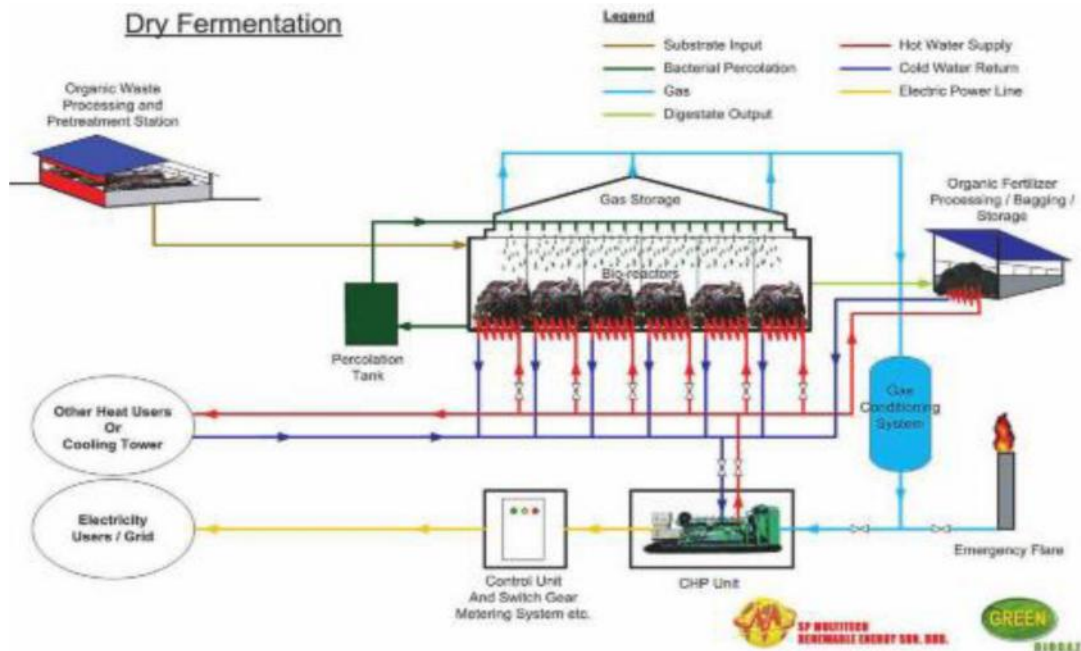
### **2.3. Fermentasi kering (*dry fermentation*)**

Fermentasi berdasarkan substratnya terbagi menjadi fermentasi basah dan fermentasi kering. Fermentasi basah adalah proses fermentasi bahan organik yang membutuhkan kandungan bahan kering (TS) bahan kurang lebih 8% dan membutuhkan pembuburan bahan. Fermentasi kering biogas yang dikenal juga dengan *solid state fermentation* biogas adalah salah satu metode pencernaan anaerobik oleh bakteri dekomposisi yang juga memerlukan komponen digester kedap udara agar proses pencernaan anaerobik dapat berlangsung dengan optimal untuk menghasilkan biogas. Proses *dry fermentation* tidak memerlukan kadar air bahan isian yang tinggi (konsentrasi bahan kering lebih dari 20%) dan tidak memerlukan proses pembuburan sebelum bahan isian dimasukkan ke dalam digester (Chen, 2013).



Ciri utama dari digester *dry fermentation* adalah adanya sistem pengabutan air yang berisi sumber bakteri yang akan dipaparkan ke bahan baku isian yang terdapat di dalam digester kedap udara sehingga proses pencernaan anaerobik dapat berlangsung. Proses pencernaan/pengomposan anaerobik menggunakan *dry fermentation* memberikan hasil produk yang samadengan proses *wet fermentation* yaitu biogas dan pupuk organik. Kelebihan *dry fermentation* dibandingkan dengan *wet fermentation* adalah emisi yang dihasilkan lebih kecil, waktu retensi yang lebih pendek, kebutuhan energi rendah, kebutuhan tenaga kerja rendah, penanganan lebih mudah, air yang dibutuhkan lebih sedikit, tidak berbau dan lebih higienis, serta tidak memerlukan pembuburan sebelum proses pencernaan anaerobik berlangsung.

Kekurangan dari proses *dry fermentation*, adalah kesulitan dalam transfer panas dan massa, kesulitan dalam kontrol pH dan suhu, dan membutuhkan teknologi yang tinggi dalam skala besar. Dengan beberapa kekurangan tersebut, teori dan teknologi kontrol pada produksi biogas menggunakan proses fermentasi kering harus dipelajari lebih lanjut. Teknologipenguraian *anaerobic* dengan fermentasi kering lebih tepat untuk substrat dengankandungan TS tinggi, seperti sampah organik, sampah rumah tangga, sampah makanan, sampah lingkungan, Rumput Gajah, sampai tandan kosong kelapa sawit (Spmultitech, 2011). Gambar skema umum dari digester fermentasi kering dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Umum *Dry Fermentation Digester* (Spmultitech, 2011).

## 2.4. Biogas

Biogas merupakan sebuah proses produksi gas bio dari material organik dengan bantuan bakteri. Proses degradasi material organik ini tanpa melibatkan oksigen disebut *anaerobic digestion* gas yang dihasilkan sebagian besar (lebih 50%) berupa metana. Biogas sebagian besar mengandung gas metan ( $\text{CH}_4$ ) dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) serta beberapa kandungan lain diantaranya hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), amonia ( $\text{NH}_3$ ), hidrogen ( $\text{H}_2$ ) dan nitrogen dalam jumlah sangat kecil (Pambudi, 2008). Gas metana ( $\text{CH}_4$ ) yang merupakan komponen utama biogas termasuk golongan alkana sederhana dan komponen utama dari gas alami, gas metan ( $\text{CH}_4$ ) tidak berwarna dan tidak berbau pada temperatur ruang dan tekanan standar. Sebagai gas, metan ( $\text{CH}_4$ ) bersifat mudah terbakar dengan konsentrasi 5-15% di udara namun

metan tidak beracun (Sukmana dan Muljatiningrum, 2011). Berikut ini adalah tabel komposisi biogas.

Tabel 2. Komposisi Biogas

No.	Nama Gas	Rumus Kimia	Jumlah
1	Methan	CH <sub>4</sub>	54% - 74%
2	Karbon dioksida	CO <sub>2</sub>	27% - 45%
3	Nitrogen	N <sub>2</sub>	3% - 5%
4	Hidrogen	H <sub>2</sub>	0% - 1%
5	Karbonmonoksida	CO	0,1%
6	Oksigen	O <sub>2</sub>	0,1%
7	Hidrogen Sulfida	H <sub>2</sub> S	Sedikit

Sumber : Sukmana dan Muljatiningrum (2011)

#### 2.4.1. Konversi Bahan Organik pada Proses Anaerob ke Biogas

Biogas merupakan gas mudah terbakar yang diperoleh dari proses pencernaan anaerobik (*Anaerobic Digestion*). Pencernaan anaerobik adalah proses pemecahan bahan organik oleh aktifitas bakteri matenogenik dan bakteri asidogenik pada kondisi tanpa udara. Bakteri ini secara alami terdapat dalam limbah yang mengandung bahan organik, seperti kotoran binatang, manusia, dan sampah organik rumah tangga atau pertanian. Pembentukan biogas melalui proses pencernaan anaerobik meliputi tiga tahap proses yaitu hidrolisis, asidogenesis, dan metanogenesis (Haryati, 2006).

Proses mikrobiologi yang terjadi di dalam proses degradasi anaerobik berlangsung terbagi menjadi tiga tahap, adalah:

- a. Hidrolisis. Proses hidrolisis melibatkan enzim yang bertugas merombak komponen kompleks menjadi komponen yang dapat digunakan sebagai sumber energi dan sumber karbon. Pada tahapan hidrolisis terjadi proses degradasi

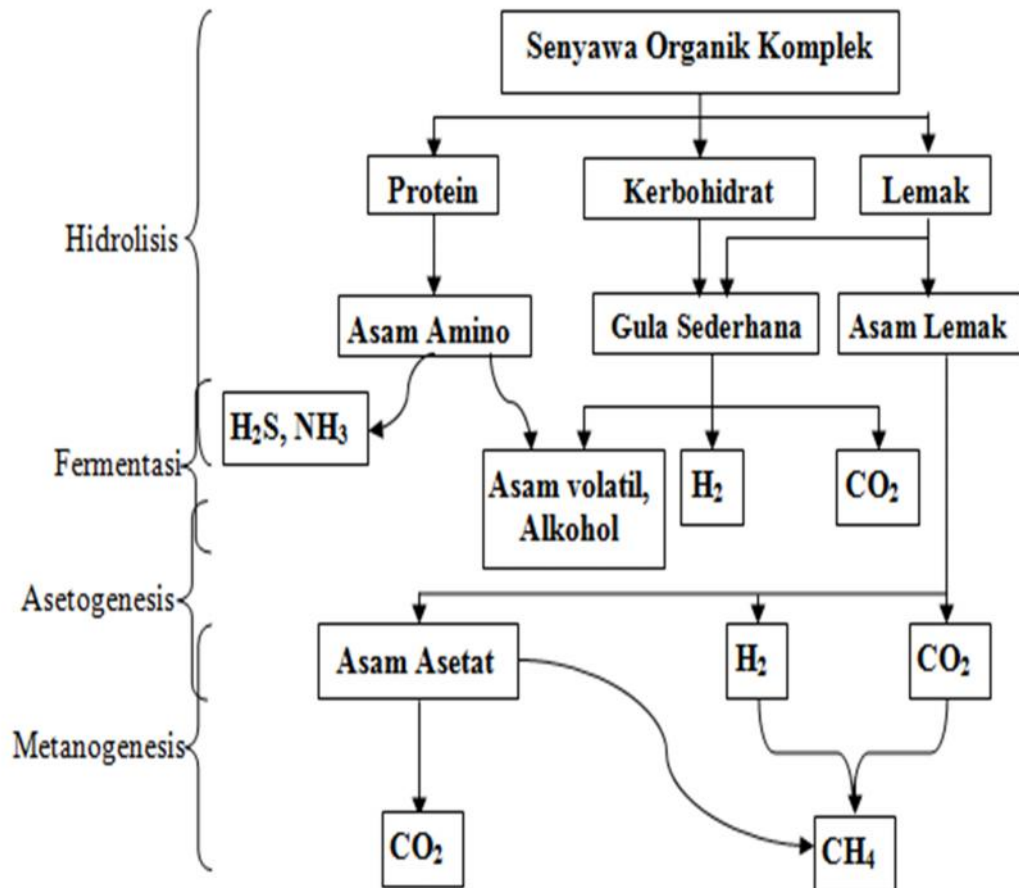
senyawa organik kompleks yang berupa polimer menjadi monomer yang berupa senyawa tak terlarut dengan berat molekul yang lebih ringan oleh mikrobial hidrolitik. Lipida berubah menjadi asam lemak dan gliserin, polisakarida menjadi gula (mono dan disakarida), protein menjadi asam amino dan asam nukleat menjadi purin dan pirimidin. Proses hidrolisis membutuhkan mediasi exoenzim yang diekskresi oleh bakteri fermentatif. Hidrolisis molekul kompleks dikatalisasi oleh enzim ekstra seluler seperti selulase, protease, dan lipase. Bakteri yang berperan dalam tahapan hidrolisis tersebut pada umumnya adalah *Clostridium* yang dapat mendegradasi limbah yang mengandung selulosa. Protein dihidrolisis dengan adanya enzim protease dan peptidase, sedangkan lemak yang terdapat dalam bahan baku dihidrolisis dengan adanya enzim lipase yang diekresi oleh bakteri *Clostridium*.

- b. Asidogenesis. Proses asidogenesis bertujuan untuk merombak komponen yang dihasilkan pada tahap pertama menjadi hasil antara. Monomer-monomer hasil hidrolisis dikonversi menjadi senyawa organik sederhana seperti asam format, asam asetat, asam propionat, asam butirat, asam laktat, dan gas hidrogen sulfida. Tahap tersebut dilakukan oleh berbagai kelompok bakteri. Bakteri yang berperan adalah bakteri obligat anaerob dan sebagian yang lain bakteri anaerob fakultatif. Pembentukan asam-asam organik tersebut pada umumnya terjadi dengan bantuan bakteri *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Flavobacterium*, dan *Alcaligenes* (Deublein and Steinhauser, 2008). Hasil pada tahap tersebut kemudian dikonversi kembali menjadi hasil antara bagi produksi metana berupa asetat, hidrogen, dan karbon

dioksida. Menurut Romli (2010), bakteri metanaogen tidak dapat menggunakan produk-produk fermentasi atau hasil dari tahap asidogenesis dengan atom karbon lebih dari dua untuk pertumbuhannya. Bakteri tersebut hanya menggunakan sumber-sumber energi sederhana, misalnya asetat, metanaol, metilamin, CO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>, sehingga perlu dikonversi terlebih dahulu menjadi asam asetat sebelum digunakan oleh bakteri metanaogenik. Bakteri yang melakukan konversi tersebut adalah *Acetobacterium woodei* dan *Clostridium aceticum*. Sekitar 70% dari COD (*Chemical Oxygen Demand*) dapat diubah menjadi asam asetat (Grady dan Lim, 1980).

- c. Metanaogenesis. Proses metanaogenesis yang melibatkan bakteri perombak hasil antara menjadi produk akhir berupa metana dan CO<sub>2</sub> yaitu *Methanosarcina*, *Methanococcus*, *Methanobacterium*, dan *Methanobacillus*. Metana dihasilkan dari asetat atau dari reduksi karbon dioksida oleh bakteri asetotropik dan hidrogenotropik dengan menggunakan hidrogen. Faktor yang sangat menentukan dalam proses pembentukan biogas salah satunya adalah adanya peran serta bakteri. Proses tidak akan berjalan jika hanya terdapat salah satu bakteri saja. Konsorsium memerlukan lebih dari satu spesies bakteri metanaogen (Grady dan Lim, 1980). Ada dua kelompok utama bakteri yang bertanggung jawab dalam pembentukan metana, yaitu bakteri metanaogen asetoklastik dan bakteri metanaogen pengguna hidrogen. *Metanaogen asetoklastik* melakukan konversi asam asetat menjadi metana, sedangkan *metanaogen pengguna hidrogen* melakukan penyisihan hidrogen untuk menghasilkan metana.

Berikut ini merupakan skema biodegradasi anaerobik bahan organik kompleks yang terdapat pada Gambar3.



Gambar 3. Skema Biodegradasi Anaerobik Bahan Organik Kompleks (Romli, 2010)

#### 2.4.2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Biogas

Proses biodegradasi anaerobik dipengaruhi oleh beberapa faktor, adalah:

a. Suhu.

Suhu optimal proses biodegradasi anaerobik (fermentasi) dibedakan menjadi tiga macam yaitu suhu termofil (45-60) °C untuk penghancuran cepat dan produksi tinggi ( $\text{m}^3$  gas/ $\text{m}^3$  bahan per hari) serta waktu retensi pendek bebas dari desinfektan, suhu mesofil 27-40 °C (suhu kamar ruang/lingkungan), dan suhu kroyofil <22 °C (Metcalf and Eddy, 2003). Pada kondisi mesofilik (30-40 °C), perombakan berlangsung cukup baik dan terjadi percepatan proses perombakan dengan kenaikan suhu, serta kondisi termofilik (45-65 °C) untuk bakteri termofil dengan perombakan optimal pada 55 °C (Poh dan Cong, 2009).

b. Waktu tinggal.

Waktu tinggal merupakan faktor penting yang mana periode waktu yang tetap dipertahankan antara laju beban ke dalam perombak dan potensi penghilangan bahan yang dicerna. Dua faktor tersebut saling berhubungan dan karena itu mempertahankan kondisi optimal kedua parameter penting untuk meningkatkan efisiensi proses perombakan. Biodegradasi anaerobik dinyatakan efisien apabila proses degradasi menghasilkan banyak biogas atau jumlah biomas lebih banyak tercerna. Waktu tinggal organik pada kondisi termofil lebih cepat jika dibandingkan dengan kondisi mesofil. Hal tersebut terjadi dikarenakan laju

pertumbuhan bakteri termofil lebih tinggi dibandingkan dengan laju pertumbuhan bakteri mesofil (Poh dan Cong, 2009).

c. Derajat keasaman (pH).

Parameter pH berpengaruh terhadap pertumbuhan bakteri dan mempengaruhi disosiasi amonia, sulfida dan asam-asam organik, yang merupakan senyawa penting untuk proses perombakan anaerobik. pH yang optimal dalam proses biodegradasi anaerobik berkisar 6,8-8,5. Nilai pH pada reaktor termofil lebih tinggi dari pada reaktor mesofil (Bitton, 1999).

d. Unsur nutrisi.

Nutrisi-nutrisi yang dibutuhkan dalam proses biodegradasi anaerobik adalah hidrogen, nitrogen, oksigen, dan karbon sebagai bahan utama penyusun bahan organik; sulfur untuk sintesis asam amino, fosfor adalah komponen penting dalam asam nukleat; serta kalium, kalsium, magnesium, dan besi dibutuhkan untuk aktifitas enzim dan komponen-komponen logam kompleks (Gerardi, 2003).

e. Bahan baku isian

Bahan isian yang paling baik digunakan untuk menghasilkan biogas adalah yang mengandung 7-9 % bahan kering. Untuk mendapatkan kandungan kering bahan seperti itu maka bahan isian biasanya dicampur dengan air. Sebagai contoh pada sapi harus dicampur dengan air dengan perbandingan 1:1 atau 1:1,5 (Wariyanto, 2006).



f. C/N ratio bahan baku isian

Rasio C/N adalah perbandingan nilai karbon (C) dan nilai nitrogen (N) dalam suatu bahan. Semua makhluk hidup tersusun dari sejumlah besar bahan karbon (C) serta nitrogen (N) dalam jumlah kecil. Unsur karbon dan bahan organik merupakan makanan pokok bagi bakteri anaerob, karena unsur karbon (C) digunakan untuk menghasilkan energi dan unsur nitrogen (N) untuk membangun struktur sel bakteri. Bakteri mencerna unsur C 30 kali lebih cepat dari mencerna unsur N, oleh karena itu perbandingan C/N yang baik adalah 30. C/N rasio optimum untuk produksi biogas dengan pencernaan anaerobik berkisar 20-30, bahan organik yang mempunyai kandungan C/N yang terlalu tinggi akan menyebabkan proses penguraian yang terlalu lama. Sebaliknya jika C/N terlalu rendah maka sisa nitrogen akan berlebih sehingga terbentuk amonia. Kandungan amonia yang berlebihan dapat meracuni bakteri yang berakibat sedikitnya hasil produksi biogas. Oleh karena itu, jumlah ratio C/N perlu dihitung dan direncanakan secara tepat karena menentukan kehidupan dan aktifitas mikroorganisme. Untuk menghitung C/N ratio, nilai C yang telah diketahui dibagi dengan nilai N yang akan menjadi nilai C/N (Wariyanto, 2006).

g. *Starter*

Dalam memproduksi biogas memang tidak diharuskan ada apabila menggunakan kotoran ternak ruminansia. Bahkan tanpa *starter* pun bisa terbentuk biogas jika bahan isian menggunakan berbagai macam kotoran ternak yang berasal dari ternak ruminansia. Namun, jika tidak menggunakan kotoran ternak, mutlak menggunakan *starter*. Tanpa menggunakan *starter* akan timbul biogas yang tidak mengandung gas metan. Akibatnya gas yang dihasilkan tidak dapat dibakar. Untuk mempercepat terjadinya proses fermentasi, maka dipermulaan fermentasi perlu ditambahkan cairan yang telah mengandung *starter*. *Starter* merupakan mikroorganisme perombak yang dijual komersial tetapi *starter* bisa juga menggunakan lumpur aktif organik atau cairan isi rumen.

*Starter* yang dikenal ada 3 macam, yaitu :

*Starter* alami ; yang sumbernya berasal dari alam yang diketahui mengandung bakteri metan seperti lumpur aktif, timbunan sampah lama, timbunan kotoran ruminansia dan sebagainya.

*Starter* semi buatan ; yang sumbernya berasal dari tabung pembuat biogas yang diharapkan kandungan bakteri metannya dalam stadia aktif.

*Starter* buatan ; yang sumbernya sengaja dibuat baik dari media alami atau buatan yang bakteri metannya dibiakkan secara laboratories (Wariyanto, 2006).

### **III. METODELOGI PENELITIAN**

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

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri dan Laboratorium Analisis Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada bulan Mei sampai dengan Desember 2017.

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

Peralatan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah anaerobic biogas reactor, anaerobic composting digester, gas chromatography (shimadzu GC-2014), gasflow meter, gas sampler bag, elemental analyzer Vario El Cube, neraca analitik 4 digit (shimadzu AUY 220), Atomic Absorption Spectrophotometer *UV-Vis*, furnace model EPTR-13K, reactor unit DRB200, HACH spektrofotometer DR/4000U, oven, cawan porselen, desikator, pipet ukur, mikro pipet, kuvet, gelas ukur, gelas beker, nalitik, desikator dan alat-alat analisa lainnya. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah TKKS bekas media tumbuh jamur yang didapat dari petani jamur di kabupaten Lampung Tengah dan kototan sapi yang diperoleh dari kampus POLINELA.

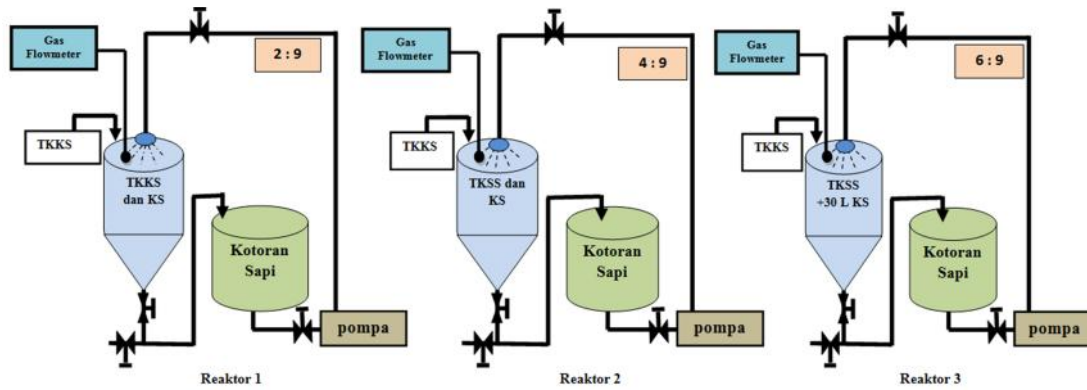
### 3.3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang hasilnya dianalisis secara deskriptif dengan menyajikan hasil pengamatan dalam bentuk tabel dan grafik. Penelitian ini menggunakan *digester anaerobic* sistem kering (*dry fermentation*) untuk proses dekomposisi TKKS sisa media tumbuh jamur.

Penelitian dimulai dengan melakukan karakterisasi TKKS dan kotoran sapi terlebih dahulu. Parameter TKKS yang dianalisis adalah kadar air, *Total Solid* (TS), *Volatile Solid* (VS), kadar C, N dan C/N ratio serta kadar lignin. Parameter kotoran sapi yang dikarakterisasi adalah pH, *Total Solid* (TS), *Volatile Solid* (VS), kadar C, dan kadar N. Penelitian dilakukan dalam 3 *digester anaerobic*.

Penambahan kotoran sapi sebagai activator dilakukan secara kontinyu dengan menyemprotkan secara anaerobic kedalam *digester anaerobic* sistem kering (*dry fermentation*). Proses penyiraman kotoran sapi dilakukan sehari sekali dengan memvariasikan perbandingan volume kotoran sapi dengan berat TKKS yang digunakan, yaitu 2 : 9, 4 : 9, dan 6 : 9. Kotoran sapi yang digunakan adalah kotoran sapi yang berasal dari kampus POLINELA yang telah diencerkan dengan perbandingan 1 : 5. Parameter output yang berupa biogas, lindi dan produk dekomposisi juga dianalisis. Parameter produk dekomposisi yang diamati adalah kadar air, *Total Solid* (TS), *Volatile Solid* (VS), kadar C, N, dan C/N ratio serta kadar lignin, parameter yang diamati untuk lindi adalah C, N dan C/N ratio. Parameter yang diamati dari biogas adalah laju alir gas yang diproduksi diukur setiap hari dan analisis komposisi biogas serta jumlah gas CH<sub>4</sub> yang terkandung dalam

biogas tersebut dilakukan satu kali dalam seminggu. Selain parameter pengamatan diatas, dilakukan juga perhitungan neraca massa dari proses *dry fermentation* tersebut.



Keterangan

●: Titik pengambilan sample gas

Gambar 4. Diagram proses pelaksanaan penelitian

### 3.4. Pengamatan

Penelitian dilakukan dengan menggunakan TKKS dan kotoran sapi. Pengamatan yang dilakukan yaitu kadar air, *Total Solid (TS)*, *Volatile Solid (VS)*, kadar C, N dan C/N ratio, kadar lignin, pH. Laju alir biogas yang dihasilkan dari proses dekomposisi TKKS dan kotoran sapi secara anaerobik diukur dengan menggunakan *gas flowmeter*. Pengukuran tersebut dilakukan setiap hari dan data hasil pengukuran digunakan sebagai data primer dan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik, kemudian dibahas secara deskriptif.

### 3.4.1. Pengukuran pH

Analisa pH limbah dilakukan dengan menggunakan alat pH meter Caranya dengan memasukkan tabung elektroda ke dalam sampel limbah sambil diaduk kemudian catat nilai pH yang terbaca pada alat (*HANNA Instrument HI-2550*, 2014).

### 3.4.2. Pengukuran Kadar Air

Analisis kadar air dilakukan dengan menggunakan metode oven menurut AOAC (2005). Prinsipnya adalah menguapkan molekul air (H<sub>2</sub>O) bebas yang ada dalam sampel. Kemudian sampel ditimbang sampai didapat bobot konstan yang diasumsikan semua air yang terkandung dalam sampel sudah diuapkan. Selisih bobot sebelum dan sesudah pengeringan merupakan banyaknya air yang diuapkan. Prosedur analisis kadar air sebagai berikut: cawan yang akan digunakan dioven terlebih dahulu selama 30 menit pada suhu 105°C, kemudian didinginkan dalam desikator untuk menghilangkan uap air dan ditimbang (A). Sampel ditimbang sebanyak 2-3 g dalam cawan yang sudah dikeringkan (B) kemudian dioven pada suhu 100-105°C selama 6 jam lalu didinginkan dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang (C). Tahap ini diulangi hingga dicapai bobot yang konstan. Kadar air dihitung dengan rumus:

$$\% \text{ Kadar Air} = \frac{B-C}{B-A} \times 100 \%$$

Keterangan :

A : berat cawan kosong dinyatakan dalam gram

B : berat cawan + sampel awal dinyatakan dalam gram

C : berat cawan + sampel kering dinyatakan dalam gram

### 3.4.3. Pengukuran Total C, N, dan C/N Ratio

Pengukuran total C, N, dan C/N Ratio akan dilakukan dengan menggunakan alat Elementar Analyzer Vario El Cube. Alat tersebut menggunakan detektor jenis TCD (*Thermal Conductivity Detector*). Sebanyak 10 mg sampel diletakkan dalam thin foil/thin boat, lalu mampatkan. Thin foil/thin boat yang berisi sampel dimasukkan ke dalam Elementar Analyzer, lalu dianalisa dengan menggunakan suhu 1200°C selama 30 detik.

### 3.4.4. Pengukuran TS dan VS

Sebanyak 50 mL (sampel cair)/50 g (sampel padat) diambil .dimasukkan ke dalam cawan porselen yang telah diketahui berat keringnya kemudian cawan + sampel dimasukkan ke dalam elektrik oven 105°C selama 2 jam. Setelah 2 jam cawan + sampel dimasukkan ke dalam desikator sekitar 30 menit atau sampai suhu ruang kemudian ditimbang. Nilai Total Solid dapat diketahui melalui perhitungan berikut (APHA 1998).

Perhitungan:

$$TS = \frac{\text{Berat cawan setelah dioven (g)} - \text{Berat cawan kering (g)}}{\text{volume sample yang digunakan (g/L)}}$$

Kemudian cawan dan sampel yang telah dioven 105°C dan ditimbang pada analisis suspended solid dimasukkan ke dalam elektrik furnace 600°C selama 40 menit, setelah 40 menit biarkan cawan dan sampel dalam furnace hingga suhu dalam furnace turun sekitar 60 °C kemudian cawan dimasukkan ke dalam desikator kira-kira 30

menit atau sampai suhu ruang dan setelah itu ditimbang. Selisih antara penimbangan cawan + sampel yang dioven 105 °C dengan cawan dan sampel yang difurnace 600 °C dan dibagi dengan volume sampel dalam gram atau Liter merupakan nilai VS (*volatil solid*) (APHA 1998).

Perhitungan:

$$VS = \frac{\text{Berat cawan setelah dioven (g)} - \text{Berat cawan setelah di furnance (g)}}{\text{Volume sampel (g/L)}}$$

#### **3.4.5. Pengukuran Volume Gas**

Pengukuran produksi biogas menggunakan gas meter. Hasil yang ditunjukkan oleh gas meter dicatat ke dalam lembar data setiap hari. Volume biogas didapat dengan cara mengurangkan pencatatan hari ini dengan pencatatan hari sebelumnya (Shinagawa corporation 2006).

#### **3.4.6. Pengukuran Konsentrasi Biogas**

Kandungan gas metana yang terkandung di dalam biogas yang dihasilkan pada proses pengolahan ALPKS dan pengomposan TKKS secara anaerobik dianalisis menggunakan GC (*Gas Chromatography*) merk Shimadzu GC-2014, menggunakan column jenis shincarbon dengan panjang 1-4 meter dan detektor TCD (*Thermal Conductivity Detector*), pada temperatur 200°C dan *current* 80 mA untuk mengetahui konsentrasi gas metana (Shimadzu Corporation, 2004).

#### **3.4.7. Produktivitas Gas dan Produktivitas Metan**



Produktivitas gas adalah produksi gas total yang dihasilkan dibagi dengan kandungan padatan bahan baku isian. Produktivitas metan adalah produksi gas total dikalikan kandungan metan dan dibagi dengan kandungan padatan yang menguap bahan isian. Berikut ini adalah persamaan untuk mencari hasil produktivitas gas dan produktivitas metan.

$$\text{Produktivitas gas} = \frac{\text{Volume gas total}}{\text{VS removal}}$$

$$\text{Produktivitas Metan} = \frac{(\text{Volume gas total}) \times (\% \text{ Metan})}{\text{VS removal}}$$

#### 3.4.8. Pengukuran Lignin, Selulosa dan Hemiselulosa

Pengukuran kadar lignoselulosa ini dilakukan mengacu pada metode Chesson (1981).

Pengamatan kadar lignoselulosa dengan metode Chesson terdapat dalam 4 tahap.

Tahap pertama, sampel TKKS dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C sampai berat konstan. Sebanyak 1 gram (berat A) TKKS dimasukkan dalam erlenmayer 250 mL dan ditambahkan aquades sebanyak 150 mL lalu dipanaskan dengan

menggunakan *hot plate* pada suhu 100°C selama 2 jam. Kemudian sampel disaring dengan kertas saring dan dibilas dengan aquades sampai volume filtrat 300 mL.

Residu di oven pada suhu 105°C sampai berat konstan, dan dianggap berat b. Tahap

kedua yaitu residu dari berat B dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 250 mL lalu

ditambahkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 N sebanyak 150 mL. Kemudian residu dipanaskan dengan *hot plate* pada suhu 100 °C selama 60 menit. Setelah pemanasan, sampel disaring dan

dibilas dengan aquades sampai volume filtrat 300 mL dan dikeringkan sampai berat konstan, dan dianggap sebagai berat C.

Tahap ketiga yaitu residu dari berat c dimasukkan kembali ke dalam Erlenmeyer 250 mL lalu ditambahkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72% sebanyak 10 mL dan selanjutnya direndam selama 4 jam pada suhu ruang. Selanjutnya larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 N ditambahkan sebanyak 150 mL dan dipanaskan pada suhu 100 °C selama 2 jam. Setelah pemanasan, sampel disaring dan dibilas dengan aquades sampai volume filtrat 400 mL dan dikeringkan sampai berat konstan, dan dianggap berat D.

Selanjutnya tahap keempat yaitu residu dari berat d dilakukan pengabuan dengan menggunakan furnace pada suhu 600°C selama 4 jam lalu ditimbang dan dianggap sebagai berat E. Kadar Hemiselulosa, selulosa, dan lignin dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Hot water Soluble (HWS) (\%)} = \frac{\text{berat A} - \text{berat B}}{\text{berat A}} \times 100$$

$$\text{Hemiselulosa (\%)} = \frac{\text{berat B} - \text{berat C}}{\text{berat A}} \times 100$$

$$\text{Selulosa (\%)} = \frac{\text{berat C} - \text{berat D}}{\text{berat A}} \times 100$$

$$\text{Lignin (\%)} = \frac{\text{berat D} - \text{berat E}}{\text{berat A}} \times 100$$

$$\text{Abu (\%)} = \frac{\text{berat E}}{\text{berat A}} \times 100$$

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tandan Kosong Kelapa Sawit ( TKKS ) bekas media tumbuh jamur merang dapat dimanfaatkan menjadi biogas untuk energi dengan metode *Dry Fermentation* dengan bioaktivator kotoran sapi
2. Metode produksi biogas dari limbah TKKS sisa media tumbuh jamur merang menggunakan metode *dry fermentation* dengan bioaktivator kotoran sapi dapat menghasilkan biogas melalui 3 perlakuan penyiraman yaitu 22,22 % KS/hari, 44,44 % KS/hari dan 66,66 % KS/hari.
3. Perlakuan terbaik dari proses pengelolaan limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit bekas media tumbuh jamur merang belum dapat diketahui, hal ini dikarenakan proses dekomposisi selama 60 hari masih belum menunjukkan hasil tertinggi secara signifikan.
4. Perlakuan penambahan 66,66 % kotoran sapi/hari jika ditinjau dari rasio C/N produk dekomposisi yang dihasilkan, jumlah produksi biogas, produktivitas gas dan metan serta kandungan metan biogas menunjukkan hasil yang jauh lebih baik jika dibandingkan dengan kedua perlakuan lainnya.

5. Produksi biogas total yang diperoleh dari bahan TKKS bekas media tumbuh jamur merang dengan perlakuan penyiraman kotoran sapi 66,66 % kotoran sapi/hari selama 60 hari proses *dekomposisi anaerobik* sebesar 366.46 liter dengan produksi gas harian sebesar 6,10 l/hari kadar CH<sub>4</sub> sebesar 41,47%, kandungan C/N rasio sebesar 16,64%, dengan produktivitas gas sebesar 288,9407 l/KgVS dan produktivitas metan sebesar 104,9411 l/KgVS.

## 5.2. Saran

1. Proses produksi biogas dengan system *dry fermentation* sebaiknya dilakukan dalam *digester anaerobic* yang berada dalam ruangan tertutup atau yang terdapat atap supaya kondisi lingkungan tidak terlalu berpengaruh terhadap kondisi didalam digester.
2. Proses sirkulasi kotoran sapi yang akan diumpankan ke digester anaerobic perlu lebih diperhatikan, agar proses yang terja dilebih optimal.
3. Perlu dilakukan perhitungan neraca karbon pada proses dekomposisi untuk mengetahui degradasi karbon yang dihasilkan.
4. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik lindi yang dihasilkan dari proses dekomposisi anaerobic, sehingga dapat dimanfaatkan secara maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, S. S. 1990. Kimia Kayu. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. Pusat Antar Universitas. Ilmu Hayat. Institut Pertanian Bogor.
- American Public Health Association. 1998. Standard method for examination of wastewater 20th edition. American Public Health Association 1015.20005 – 2605. Fifteenth Street, N.W. Washington DC. Pp: 2-57-2-58.
- Apria, N.E. 2014. Produksi Biogas Melalui Proses Dry Fermentation Menggunakan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. (Skripsi). Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Lampung. 58 hlm.
- Association of Official Analytical Chemists. 2005. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. Benjamin Franklin Station. Washington.
- Boenke, B., W. Bischofberger, and , C.F, Seyfried. 1993. Anaerobitechnik. Springer-Verlag, Berlin. 837 hal.
- Chaikitkaew, S., P. Kongjan, dan S. O-Thong. 2015. Biogas Production From Biomass Residues Of Palm Oil Mill By Solid State Anaerobic Digestion. *Energy Procedia*. 7(9):838 – 844.
- Chesson, A. 1981 . Effects of sodium hydroxide on cereal straws in relation to the enhanced degradation of structural polysaccharides by rumen microorganisms. *J. Sci. Food Agric*. 32:745–758
- Chen H. 2013. Modern solid state fermentation theory and practice. *Springer*. Dordrecht. Hal : 216-223.
- Dahyar, A. 2010. Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Azola Menjadi Kompos Pupuk Tablet. (Tesis). Sekolah Pasca Sarjana. Universitas Sumatera Utara. Sumatera Utara. Hal 29

- Darnoko, Z., Poeloengan, dan I. Anas. 1993. Pembuatan Pupuk Organik dari Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Buletin Penelitian Kelapa sawit*. Jakarta. Hal 33
- Deublein D, and A. Steinhauser. 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources. Wiley-VCH, Weinheim.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2014. *Statistik Perkebunan Indonesia Kelapa Sawit 2013-2015*. Direktorat Jenderal Perkebunan. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2016. *Statistik Perkebunan Indonesia Kelapa Sawit 2013-2015*. Direktorat Jenderal Perkebunan. Jakarta.
- Djaja W. 2008 . Langkah jitu membuat kompos dari kotoran ternak dan sampah. Jakarta. Agromediapustaka. 86 hlm.
- Firda, D., Suharyanto, S. Marsudi, dan U. Perwitasari. 2016. Pemanfaatan Total Limbah Padat Kelapa Sawit dalam Rantai Industri Pertanian dan Pangan: Produksi Enzim Ligninolitik, Carboxymethyl Cellulose (CMC), Jamur Konsumsi, dan Pupuk Organik. Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit Kementerian Keuangan. 64 Hlm.
- Gerardi, M. H. 2003. *The Microbiology of Anaerobic Digesters*. John Wiley & Sons, Inc. Canada.
- Hanna Instruments. 2014 . HI2550 Multiparameter. Instruction Manual.
- HACH Company. 2004. *DR/4000 Spectrophotometer Models 48000 And User Manual 08/04 3ed*. HACH Company World Headquarters. Corolado. 115 hlm.
- Hambali, E., S. Mujdalipah, A.H. Tambunan, A.W. Pattiwiri, dan R. Hendroko. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Haryati, T. 2006. Biogas: Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif. *Wartazoa*. 16:160 – 169.
- Heerden, I., C. Cronje, S. H. Swart, and J. M. Kotze, 2002, Microbial, Chemical and Physical Aspects of Citrus Waste Composting. *Biores. Technol*, 81,71-76.
- Ismayana, A, Indrasti NS, Suprihatin, Maddu A, Fredy A. 2012. Faktor rasio C/N awal dan laju aerasi pada proses co-composting bagasse dan blotong. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 22 (3):173-179.
- Jha AK, Li J, Nies L, Zhang L. 2011 . *Research advances in dry anaerobic digestion process of solid organik wastes* African Journal of Biotechnology **10** 14242-14253.

- Manuella, M. dan Gunawan, D.A.W. 1997. Pertumbuhan *Panus sp.* pada Media Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Hayati*. 4(2):51-52.
- Maryanti. 2011. Peningkatan Kinerja Reaktor Biogas Dalam pemngolahan Air Limbah Industri Bioetanol Berbahan Baku Ubi Kayu. Lampung. Universitas Lampung.
- Molnar L, Bartha I (1988). High solids anaerobic fermentation for biogas and compost production. *Biomass London*. 16(3): 173-182.
- Mulyadi, D., L. Mukmilah, D. Kusumawati. 2016. Efektifitas Pemanfaatan Serbuk Gergaji Dan Limbah Media Tanam Jamur (Baglog) sebagai Bahan Baku Pembuatan Biogas. *J. Kimia Valens*. 2(1):11-16.
- Muryanto, M. Sahlan, Y. Sudiyani. 2012. Simultaneous Saccharification and Fermentation of Oil Palm Empty Fruit Bunch for Bioethanol Production by *Rhizopus oryzae*. *International Journal of Environment and Bioenergy*. 3(2):111-120.
- Nieves, D.C., K. Karimi, dan I.S. Horváth. 2011. Improvement of biogas production from oil palm empty fruit bunches (OPEFB). *Industrial Crops and Products*. 34 (2011) 1097–1101.
- Nurliyana, M.Y., P.S. H'ng. H. Rasmina, M.S.U. Kalsom, K.L. Chin, S.H. Lee, W.C. G.D. Lum, dan Khoo. 2015. Effect of C/N ratio in methane productivity and biodegradability during facultative co-digestion of palm oil mill effluent and empty fruit bunch. *Industrial Crops and Products*. 76(2015):409-415.
- Nutongkaew, T., W. Duangsuwan, S. Prasertsan, dan P. Prasertsan. 2014. Effect of inoculum size on production of compost and enzymes from palm oil mill biogas sludge mixed with shredded palm empty fruit bunches and decanter cake. *Journal of Science and Technology*. 36(3):275-281.
- Omar, R., A. Idris, R. Yunus, K. Khalid, M. I. Aida-Isma. 2011. Characterization of empty fruit bunch for microwave-assited pyrolysis. *Fuel*. 90:1536-1544.
- O-Thong, S., K. Boe, I. Angelidak. 2012. Thermophilic anaerobic co-digestion of oil palm empty fruit bunches with palm oil mill effluent for efficient biogas production. *Applied Energy*. 93(2012):648-654.
- Pambudi, N. A. 2008. Pemanfaatan Biogas sebagai Energi Alternatif. [www.dikti.org](http://www.dikti.org). Diakses Pada tanggal 19 April 2017.

- Rahayu, D.R., P. Ardani, N. Hendriani, dan S.R. Juliastuti. 2012. *Pembuatan Biogas dari Enceng Gondok Pre-treatment dengan Jamur Phanerochaete*. *Jurnal Tek. POMITS*. 1:1-3.
- Sakinah, A.B. Tawali., dan M. Muin. 2012. Pengaruh Konsentrasi Biostarter Kotoran Sapi dan Kotoran Ayam pada Produksi Biogas dengan Menggunakan Limbah Jerami Padi. Universitas Hasanuddin. Makasar.
- Sasongko, W. 2010. Produksi Biogas dari Biomassa Kotoran Sapi dalam Biodigester Fix Dome dengan Pengenceran dan Penambahan Agitasi. (Tesis). Program Studi Biosains. Universitas Sebelas Maret. Surakarta. 74 Hlm.
- Sastika, Y., D. Abdi, M. Elida. 2013. Produksi Biogas dari kombinasi Limbah Cair pabrik Kelapa sawit dan sampah sari Hijau dalam Sistem Batch. *Jurnal Kimia Universitas Andalas*. 2 (ISSN No. 2303-3401).
- Shinagawa Corporation. 2006. Gas Production Instrustion Manual. Sinagawa Corporation. Japan.
- Shimadzu Corporation. 2004. GC-2014 Gas chromathography instruction manual. shimadzu corporation analitical and measuring instrument division. Japan.Kyoto.
- Siregar, H.J. 2010. Pertumbuhan dan Produksi Jamur Merang (*Volvariella volvaceae*) pada Media Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Waktu Fermentasi yang Berbeda. (Skripsi). Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara. Sumatera Utara.
- SNI 19-7030-2004 . 2004. SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos Dari Sampah Organik Domestik.Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Sudirman, L.I., A. Sutrisna, S. Listiyowati, dan L. Fadli, Tarigan. 2011. The Potency of Oil Palm Plantation Wastes for Mushroom Production. In *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products* (Pp. 383-389). France.
- Sudiyani, Y., R. Heru, dan S. Alawiyah. 2010. Pemanfaatan Biomassa Limbah Lignoselulosa untuk Bioetanol sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan. *Ecolab*. 4(1):1-54.
- Sukmana, R. W. dan A. Muljatiningrum. 2011. Biogas dari Limbah Ternak. Nuansa. Bandung.
- Tabi, M., A. Nafissa, Z.F. Ahmad, M. Fauzai, W.N. Fauzan, N. Ali, and O. Hassan. 2008. The Usage of Empty Fruit Bunch (EFB) and Palm Pressed Fibre (PPF)



as Substrates for the Cultivation of *Pleurotus ostreatus*. *Jurnal Teknologi*. (49): 189–196.

Wahyuni, S. 2013. Panduan Praktis Biogas. Penebar Swadaya. Jakarta.

Wariyanto, A. 2008. Biogas Alternatif Pengganti Minyak Tanah. [www.SuaraMerdeka.com](http://www.SuaraMerdeka.com). Diakses pada tanggal 19 April 2017.

Widiastuti H, Panji T. 2007. Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sisa jamur merang (*Volvariella Volvacea*) (TKSJ) sebagai pupuk organik pada pembibitan kelapa sawit. *Jurnal Menara Perkebunan*75(2):70-79.

Widodo.T.W,Nurhasanah.A. 2008. Kajian Teknis Teknologi Biogas dan Potensi Pengembangannya di Indonesia. *Prosiding seminar nasional mekanisasi pertanian*. Hal 189 – 202.

Windyaswara, L., A. Pertiwiningrum, L.M. Yusianti. 2012. Pengaruh Jenis Kotoran Ternak Sebagai Substrat dengan Penambahan Serasah Daun Jati (*Tectona grandis*) terhadap Karakteristik Biogas pada Proses Fermentasi. *Buletin Peternakan*. 36(1):40-47.

Wirakartakusumah. 1989. Prinsip Teknik Pangan. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Jakarta

Yoeswono, Triyono, dan T. Iqmal. 2007. Pemanfaatan Limbah Abu Tandan Kosong Sawit Sebagai Katalis Basa pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Sawit. *J. Manusia dan Lingkungan*. 14(2):55-62.