

**PRODUKSI BIOGAS DAN PUPUK ORGANIK CAIR  
DARI CAMPURAN AIR LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT  
DAN KOTORAN SAPI**

**(Tesis )**

**Oleh:**

**BEKTI KURNIAWAN**



**PROGRAM PASCASARJANA  
MAGISTER TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2018**

**PRODUKSI BIOGAS DAN PUPUK ORGANIK CAIR  
DARI CAMPURAN AIR LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT  
DAN KOTORAN SAPI**

Oleh

**BEKTI KURNIAWAN**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
Magister Sains

Pada

Program Studi Magister Teknologi Industri Pertanian  
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**PROGRAM PASCASARJANA  
MAGISTER TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2018**

## ABSTRAK

### PRODUKSI BIOGAS DAN PUPUK ORGANIK CAIR DARI CAMPURAN AIR LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT DAN KOTORAN SAPI

Oleh  
Bekti Kurniawan

Berdasarkan data dari Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia, Tahun 2017 produksi minyak kelapa sawit/ *Crude Palm Oil* (CPO) mencapai 42,012 juta ton, artinya jumlah limbah cair yang dihasilkan pada tahun 2017 mencapai 105,03 juta m<sup>3</sup>. Limbah tersebut berpotensi menyebabkan pencemaran dan menghasilkan gas metan penyebab efek rumah kaca. ALPKS mengandung banyak bahan organik tetapi miskin unsur N sehingga dibutuhkan waktu yang lama dalam merombak bahan organik menjadi biogas. Untuk mempercepat waktu perombakan dan meningkatkan produksi gas metan dibutuhkan bahan. Kotoran sapi merupakan limbah peternakan yang mengandung bahan organik dan Nitrogen yang cukup tinggi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan laju pembebanan yang paling optimal dalam menghasilkan biogas dan pupuk organik cair dari fermentasi campuran air limbah pabrik kelapa sawit (ALPKS) dan kotoran sapi, menghitung potensi energi yang dihasilkan dan mengkaji potensi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang bisa dikurangi. Penelitian ini menggunakan bioreaktor *Completely Stirred Tank Reactor* (CSTR) dengan perlakuan substrat campuran ALPKS dan kotoran sapi dengan 4 taraf. Tingkat laju pembebanan yang dilakukan yaitu 1% (0,5 L/hari), 2% (1,0 L/hari), 3% (1,5 L/hari) dan 4% (2,0 L/hari) dengan 3 kali ulangan.

Laju pembebanan yang paling optimal menghasilkan gas metan dan kandungan nutrisi pupuk organik cair yang paling baik adalah laju pembebanan 1,0 L/hari. Nilai rata-rata *COD removal* 71,02 % dan rata-rata nilai konversi COD menjadi gas metan yaitu sebesar 0,322 LCH<sub>4</sub>/gr COD. Kandungan nutrisi pupuk organik cair pada laju pembebanan 1,0 l/hari yaitu: kandungan N (amonia) 0,111 %, P 0,221 % dan K<sub>2</sub>O 0,059 %. Potensi pupuk yang dihasilkan per tahun adalah Nitrogen 559,44 ton, P Total 1.113,84 ton dan Kalium/K<sub>2</sub>O 2.984 ton atau setara dengan 1,55 kg Nitrogen/ton TBS yang diproduksi, 3,09 kg P/ton TBS dan 0,83 kg K<sub>2</sub>O/ton TBS. Potensi energi yang bisa dihasilkan dari pemanfaatan ALPKS dan kotoran sapi sebesar 707.54 GJ/hari. Emisi gas rumah kaca yang bisa dikurangi akibat pemanfaatan ALPKS dan kotoran sapi adalah sebesar 297,29ton CO<sub>2</sub>eq/hari.

Kata kunci: Biogas, ALPKS, Gas Metan, Pupuk Organik Cair, Emisi Gas rumah kaca

## **ABSTRACT**

### **BIOGAS AND LIQUID FERTILIZER PRODUCTION FROM PALM OIL MILL EFFLUENT AND MANURE**

**By**

**Bekti Kurniawan**

Based on data from Indonesian Coconut Palm Oil Association, in 2017 Crude Palm Oil (CPO) production reached 42.012 million tons, that means the amount of liquid waste generated in 2017 reached 105.3 million m<sup>3</sup>. The waste has the potential to cause pollution and produce methane gas causing the greenhouse effect. ALPKS contains a lot of organic matter and poor N elements so it takes a long time inside overhauling organic materials into biogas. To speed up the reshuffle time and increase the production of methane gas required other materials containing high enough nitrogen. Manure contains organic material and high Nitrogen.

The research aimed to obtain the most optimal loading rate in producing biogas and liquid organic fertilizer from the fermentation of the palm oil mill effluent (POME) and manure, calculate energy potential which is generated and examines the potential for reduced greenhouse gas emissions (GHG) emissions. This research uses bioreactor Completely Stirred Tank Reactor (CSTR) with mixed substrate treatment of ALPKS and cow dung with 4 levels. The loading rate rate is 1% (0.5 L/day), 2% (1.0 L/day), 3% (1.5 L/day) and 4% (2.0 L/day) with 3 repetitions.

The most optimal gas methane and liquid fertilizer produced at loading rate 1 litre/day. Average value of COD removal is 71,02% and average value of COD conversion became methane gas is 0,322 L CH<sub>4</sub>/gr COD. Organic liquid fertilizer content at loading rate 1L/day are Nitrogen (ammonia) 0,111%, Phospat 0,221% and K<sub>2</sub>O 0,059%. The annual potential fertilizer is Nitrogen (ammonia) 559,44 tons/year, Phospat 1.113,84 tons/year and K<sub>2</sub>O 2,984 tons/year or equivalent to 1,55 kg of Nitrogen /ton palm oil, 3.09 kg Phospat /ton palm oil and 0,83 kg K<sub>2</sub>O / ton palm oil. The energy potential that can be generated from the utilization of ALPKS and manure is 707.54 GJ/day. Greenhouse gas emissions that can be reduced due to the utilization of ALPKS and manure is 297,29 tons CO<sub>2</sub>eq/day.

**Keyword:** Biogas, Palm oil mill effluent, POME, Methane gas, Liquid Fertilizer, Greenhouse gas emissions

Judul Tesis : **PRODUKSI BIOGAS DAN PUPUK ORGANIK  
CAIR DARI CAMPURAN AIR LIMBAH PABRIK  
KELAPA SAWIT DAN KOTORAN SAPI**

Nama Mahasiswa : **Bekti Kurniawan**

NPM : 1624051002

Program Studi : Magister Teknologi Industri Pertanian

Fakultas : Pertanian



1. **Komisi Pembimbing,**

**Prof. Dr. Eng. Ir. Udin Hasanudin, MT.**  
NIP 19640106 1988031002

**Dr. Ir. Saroni, M.Si.**  
NIP 19681113 1992031002

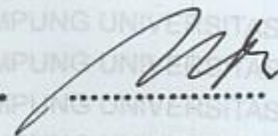
2. **Ketua Program Magister Teknologi Industri Pertanian,**

**Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P.**  
NIP 19710930 1995122001

## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

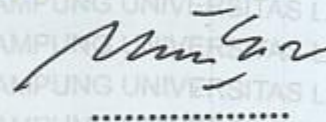
Ketua : **Prof. Dr. Eng. Ir. Udin Hasanudin, M.T.**



Sekretaris : **Dr. Ir. Sarono, M.Si.**

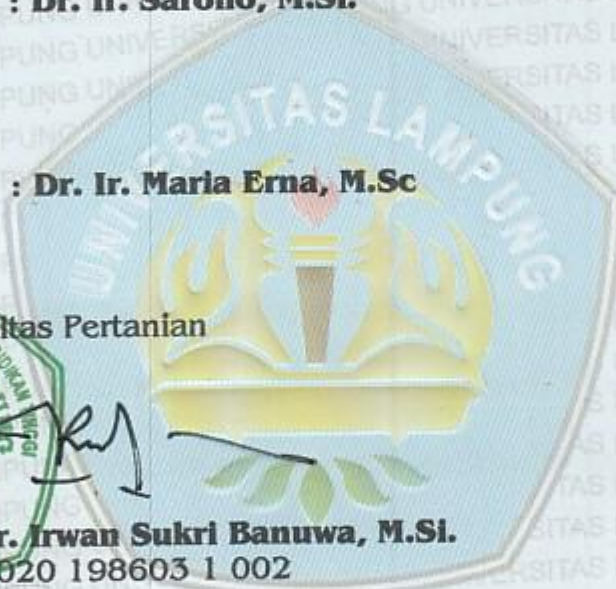


Penguji : **Dr. Ir. Maria Erna, M.Sc**



### 2. Dekan Fakultas Pertanian

**Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.**  
NIP 19611020 198603 1 002



### 3. Direktur Program Pascasarjana

**Prof. Drs. Mustafa, MA., Ph.D.**  
NIP 19570101 198403 1 020



Tanggal lulus ujian tesis : **19 Maret 2018**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Tesis dengan judul : **Produksi Biogas Dan Pupuk Organik Cair Dari Campuran Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit Dan Kotoran Sapi** adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarism.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menggugung akibat dan sangsi yang diberikan kepada saya, saya bersedia dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

**Bandar Lampung, Maret 2018**



Bekti Kurniawan  
NPM. 1624051002

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan di Kalangan Desa Rejo Agung Kecamatan Tegineneng Kabupaten Pesawaran Lampung pada tanggal 11 Juli 1981. Anak ke enam dari enam bersaudara dari pasangan Bapak Damanhuri Ihsan dan ibu Sugiyarti.

Pendidikan Dasar diselesaikan di Sekolah Dasar Negeri 6 Bumi Agung pada Tahun 1993, Pendidikan menengah pertama di Madrasah Tsanawiyah Muqorrul Ihsan Tegineneng lulus pada Tahun 1996, pendidikan atas di Madrasah Aliyah Negeri 2 Metro lulus pada Tahun 1999. Penulis melanjutkan ke Politeknik Negeri Lampung pada Jurusan Teknologi Pertanian Program Studi D3 Teknologi Pangan dari Tahun 1999 sampai dengan Tahun 2002. Pada Tahun 2010 penulis melanjutkan pendidikan pada Program Studi Produksi dan Manajemen Industri Perkebunan Politeknik Negeri Lampung dan lulus pada Tahun 2012. Pada Tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikan Pascasarjana pada program Magister Teknologi Industri Pertanian Universitas Lampung.

Penulis pernah bekerja di PT Central Pertiwi Bahari Lampung dari tahun 2004 sampai dengan 2009 sebagai supervisor produksi. PT Laju Perdana Indah (*Sugar factory*) Sumatera Selatan pada tahun 2009 sampai dengan 2010. Pada tahun 2013 sebagai tenaga pendidik di Sekolah Menengah Kejuruan Negeri 2 Metro sampai dengan sekarang.



## **KATA PENGANTAR**

Alhamdulillahirobbil alamiin, segala puji penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas Rahmat dan Nikmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan pada kasih-Nya, Rasulullah Muhammad SAW.

Tesis dengan judul **“PRODUKSI BIOGAS DAN PUPUK ORGANIK CAIRDARI CAMPURAN AIR LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT DAN KOTORAN SAPI ”** merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains di Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Dengan selesainya tesis ini, penulis menghaturkan ucapan terima kasih yang tulus dan ikhlas kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.S. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Drs. Mustofa, MA., Ph.D. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Eng Ir. Udin Hasanudin, M.T. selaku dosen pembimbing utama yang terus bersedia memberikan perhatian, bimbingan, nasehat serta saranya.
4. Bapak Dr. Ir. Saronu, M.Si. selaku dosen anggota pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing saya dalam penyusunan tesis ini.
5. Ibu Dr. Maria Erna, M.Sc. Selaku dosen penguji utama yang telah berperan dalam menguji isi maupun penyusunan tesis ini.

6. Ibu Dr. Ir. Sri Hidayati, M.P. selaku ketua Program Studi Magister Teknologi Industri Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
7. Bapak dan ibu dosen serta staf Program Studi Magister Teknologi In Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
8. Ibundaku tercinta ibu Sugiarti, Istriku terkasih Ariestina Fanani dan seluruh keluargaku yang tidak pernah lelah mendoakan, mendorong dan memberikan dukungan pengertian atas pendidikanku.
9. Rekan-rekan guru Teknologi Pengolahan Hasil Pertanian SMK Negeri 2 Metro (Bu Vera, Bu Liza, Bu Yani, Pak Suji dan Ika) dan guru-guru Agribisnis Tanaman Pangan dan Hortikultura ( Pak Jack, Pak Topo, Pak Anton, Yuda dan Mas Bar) Terimakasih atas dukungan dan masukannya
10. Teman-teman MTIP angkatan 2015 dan 2016 ( Bigi, Tulus, Pak Novi, Okta, Widia, Mawar, Nurul, Nilisa, Ferdi, Nina, Bukhori dan Teguh) Terimakasih atas kebersamaan dan keceriaan yang kalian bagikan, you are the best deh pokoknya.

Penulis berharap semoga Allah SWT mencatat bagai amal baik dan diberikan balasan yang setimpal, dan semoga tesis ini dapat bermanfaat untuk semua. Amiin.

Bandar Lampung, Maret 2018  
Penulis

Bekti Kurniawan

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	5
1.3 Kerangka Pemikiran .....	5
1.4. Hipotesis .....	8
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	9
2.1 Biogas .....	9
A. Proses Konversi Bahan Organik Menjadi Biogas .....	10
B. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Produksi Biogas.....	14
2.2 Pupuk Organik Cair .....	19
2.3 Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit.....	22
A. Produksi Air Limbah pabrik Kelapa Sawit .....	22
B. Karakteristik Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit (ALPKS) .....	24
C. Potensi Air Limbah Kelapa Sawit (ALPKS) menjadi Biogas.....	25
2.4 Kotoran Sapi .....	26
A. Karakteristik Kotoran Sapi .....	27
B. Sistem Integrasi Sawit-Sapi.....	28
2.5 Emisi Gas rumah kaca .....	29
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	33
3.1. Waktu Dan Tempat Penelitian.....	33

3.2	Bahan dan Alat .....	33
3.3	Metode Penelitian .....	34
3.3.1	Karakterisasi Bahan .....	35
3.3.2	Proses aklimatisasi .....	36
3.3.3	Produksi Biogas .....	36
<b>IV.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>44</b>
4.1	Karakterisasi Bahan .....	44
4.2	Proses Aklimatisasi.....	47
4.3	Tahap Produksi Biogas .....	51
4.3.1	Nilai pH.....	53
4.3.2	Volume Biogas.....	56
4.3.3	<i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i> , Penyisihan COD dan Konversi COD menjadi Biogas.....	57
4.3.3	<i>Total Suspended Solid (TSS )</i> .....	63
4.3.4	Volatil Suspended Solid (VSS).....	65
4.3.5	Kandungan Nutrisi Pupuk Organik cair .....	66
4.4	Perhitungan Potensi energi yang dihasilkan .....	74
4.5	Analisis Potensi Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) .....	76
<b>V.</b>	<b>SIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>79</b>
5.1	Simpulan .....	79
5.2	Saran .....	80
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>82</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Komposisi Biogas .....	10
Tabel 2. Standar Baku Mutu Pupuk Organik Cair Dari Instalasi Pengolahan Air Limbah. ....	22
Tabel 3. Karakteristik Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit .....	25
Tabel 4. Kandungan Unsur Hara Limbah Peternakan .....	27
Tabel 5. Hasil Karakterisasi Bahan Baku .....	44
Tabel 6. Baku Mutu Air Limbah Industri Kelapa Sawit.....	46
Tabel 7. Hasil Karakterisasi Campuran ALPKS Dan Kotoran Sapi .....	51
Tabel 8. Hasil rata-rata komposisi biogas .....	61
Tabel 9. Hasil Analisis Pupuk Organik Cair .....	67
Tabel 10. Baku Mutu pupuk organik cair .....	71
Tabel 11. Rekapitulasi rata-rata hasil pengamatan pembuatan biogas dari Campuran ALPKS dan kotoran sapi .....	73
Tabel 12. Hasil Perhitungan perkiraan kapasitas pembangkit listrik dan Potensi energi yang akan dihasilkan. ....	75
Tabel 13. Hasil perhitungan pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK).....	77

Tabel 14. Hasil Pengukurann pH Substrat dan pH Outlet Bioreaktor Selama produksi Biogas .....	87
Tabel 15. Hasil Pengukuran volume biogas selama penelitian.....	90
Tabel 16. Hasil Pengukuran COD Inlet selama penelitian .....	95
Tabel 17. Hasil Pengukuran COD Outlet Selama penelitian .....	95
Tabel 18. COD Removal selama penelitian .....	96
Tabel 19. COD Removal selama penelitian .....	97
Tabel 20. Hasil Pengukuran TSS substrat selama penelitian .....	97
Tabel 21. Hasil Pengukuran TSS Outlet selama penelitian .....	98
Tabel 22. Penyisihan TSS .....	99
Tabel 10. Hasil pengukuran VSS Substrat Bioreaktor selama penelitian .....	99
Tabel 11. Hasil pengukuran VSS Outlet Bioreaktor selama penelitian .....	100

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Skema Proses Perombakan secara Anaerob.....	13
Gambar 2. Diagram Alir Sistem Integrasi Sawit Sapi .....	28
Gambar 3. Rancangan penelitian .....	37
Gambar 4. Rata-rata pH inlet dan Outlet periode aklimatisasi.....	49
Gambar 5. Rata-rata produksi biogas harian pada tahap aklimatisasi.....	50
Gambar 6. Rata-rata pH harian .....	54
Gambar 7. Rata-rata Volume biogas yang dihasilkan.....	56
Gambar 8. Rata-rata Nilai <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) .....	57
Gambar 9. Rata-rata <i>COD Removal</i> .....	59
Gambar 10. Rata-rata nilai konversi COD menjadi Gas Metan.....	62
Gambar 11. Rata-rata TSS pada semua tingkat <i>loadig rate</i> .....	63
Gambar 12. Rata-Rata Nilai Penyisihan TSS .....	64
Gambar 13. Rata-rata VSS selama penelitian .....	65

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang dan Masalah

Kelapa sawit merupakan komoditas pertanian yang memiliki peran yang sangat penting bagi kehidupan manusia, karena sebagian dari kebutuhan hidup manusia berbahan dasar kelapa sawit. Di Indonesia kelapa sawit memiliki peran sangat strategis, karena selain sebagai bahan baku produk kebutuhan masyarakat, kelapa sawit juga menjadi sumber kehidupan bagi sebagian penduduk Indonesia. Pada tahun 2017 produksi minyak kelapa sawit/ *Crude Palm Oil* (CPO) di Indonesia mencapai 42,01 juta ton, nilai ekspor minyak kelapa sawit/CPO Indonesia mencapai 32,18 ton dan setara dengan US\$ 22,97 miliar (Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia, 2018).

Industri pengolahan kelapa sawit menjadi minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil / CPO*) menghasilkan limbah padat dan limbah cair dalam jumlah yang sangat besar. Limbah padat industri pengolahan kelapa sawit berupa tandan kosong, cangkang dan serat dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar *boiler* untuk memenuhi kebutuhan energi dalam Pabrik Kelapa Sawit (PKS). Sementara abu hasil pembakaran bahan padat di *boiler* diangkut dan ditaburkan di sekeliling tanaman sawit dengan tujuan menjadikannya sebagai



pupuk kalium bagi tanaman sawit. Limbah cair pabrik kelapa sawit berupa cairan yang dihasilkan dari proses pengolahan buah sawit menjadi minyak sawit / CPO biasanya ditampung dan diolah untuk mengurangi kandungan polutannya.

Pabrik kelapa sawit dalam mengolah setiap ton tandan buah segar (TBS) bah sawit akan menghasilkan rata-rata 200-250 kg minyak mentah, 230-250 kg tandan kosong kelapa sawit (TKKS), 130-150 kg serat, 60-65 kg cangkang, 55-60 kg kernel, dan air limbah 0,7 m<sup>3</sup> (Yuliasari dkk. 2001).

Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit (ALPKS) merupakan limbah organik yang berasal dari input air pada proses perebusan, perontokan, pelumatan, pengepresan dan proses pemurnian minyak kelapa sawit. Sumber air limbah tersebut berasal dari air kondensat rebusan kelapa sawit 36% (150-175 kg/ton tandan buah segar), air dari proses pemurnian 60% (350-450 kg/ton tandan buah segar) dan air hidrosiklon 4% (100-150 kg/ton tandan buah segar) (Mahajoeno dkk 2008). Berdasarkan data dari Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia, produksi minyak kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2017 mencapai 42.01 juta ton, artinya jumlah limbah cair yang dihasilkan pada tahun 2017 mencapai 105,03 juta m<sup>3</sup>.

Pada umumnya pabrik kelapa sawit di Indonesia menangani air limbah secara sederhana, yaitu dengan menampung limbah cair didalam kolam-kolam penampungan dan membiarkann air limbah terurai secara alami. Kolam-kolam penampungan yang digunakan antara lain kolam *anaerobik*, kolam fakultatif dan kolam *aerobik*. Sistem kolam merupakan sistem operasi

pengolahan yang mudah, tetapi memiliki banyak kelemahan antara lain: membutuhkan lahan yang luas, waktu tinggal hidrolis yang relatif lama untuk kinerja yang efektif, menghasilkan bau busuk serta kesulitan dalam memperbaiki kualitas ALPKS dan penyerapan biogas. Selain itu teknologi tersebut mengeluarkan biaya yang besar untuk perawatan, dan akan menghasilkan gas metan sebagai Gas Rumah Kaca (GRK) yang dilepaskan bebas ke atmosfer (Nasution, 2012).

Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari proses perombakan bahan organik oleh mikroorganisme metanogen melalui proses metanogenesis. Gas metan mempunyai daya bakar yang cukup baik. Jumlah energi yang dihasilkan oleh 1 m<sup>3</sup> gas metan setara dengan energi yang dihasilkan oleh 0,46 kg gas LPG (Wahyuni 2008). Biogas sebagai salah satu sumber energi yang dapat diperbaharui dapat menjawab kebutuhan energi yang selama ini sekaligus menjawab permasalahan limbah yang industri yang sering menjadi permasalahan.

Gas metan yang dihasilkan dari proses metanogenesis pada limbah pabrik kelapa sawit merupakan potensi yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Produksi gas metan dari air limbah pabrik kelapa sawit membutuhkan waktu yang cukup lama, sehingga dibutuhkan bahan lain yang bisa mempercepat terbentuknya gas metan dan bisa meningkatkan volume gas metan yang dihasilkan. Air limbah Pabrik Kelapa Sawit (ALPKS) memiliki nilai COD 40.000-50.000 mg/l tetapi miskin unsur N sehingga

proses produksi gas metan menjadi lambat dan jumlahnya sedikit. (Saron, 2013).

Kotoran sapi merupakan limbah dari industri peternakan yang mempunyai unsur hara yang tinggi terutama kandungan N yaitu sebesar 2,04% (*Organik vegetable cultivation in Malaysia*, 2005), selain itu kotoran sapi juga banyak mengandung mikroorganisme metanogen yang dapat mempercepat terjadinya perombakan bahan organik menjadi gas metan.

Proses fermentasi Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit(ALPKS) dan kotoran sapi akan menghasilkan biogas dan produk lain berupa cairan sisa perombakan limbah oleh mikroorganisme yang mengandung nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman, sehingga bisa dimanfaatkan menjadi pupuk organik cair. Dalam penerapannya pemanfaatan ALPKS yang ditambah dengan kotoran sapi sebagai bahan baku pembuatan biogas akan menunjang program pemerintah yaitu Program Integrasi Sawit Sapi Energi (ISSE) atau program Sistem Integrasi Sapi Dan Kelapa Sawit / SISKKA (Siahaan dkk.,2013). Pemanfaatan ALPKS dan kotoran sapi sebagai bahan baku biogas juga dapat memperkuat integrasi sapi sawit untuk menghasilkan 4 F (*food, feed, fuel dan fertilizer*) yang telah dikembangkan di Indonesia.

Jumlah dan jenis substrat yang ditambahkan akan mempengaruhi jumlah gas metan dan kandungan nutrisi pupuk cair yang dihasilkan. Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui berapa jumlah substrat (campuran ALPKS dan kotoran sapi) yang optimal ditambahkan per hari sehingga akan didapatkan produksi gas metan yang optimal dan pupuk cair yang

mengandung nutrisi yang tinggi. Selain itu perlu juga dilakukan kajian tentang potensi energi yang bisa dihasilkan dengan pemanfaatan ALPKS dan kotoran sapi, serta kajian potensi gas rumah kaca yang bisa dikurangi akibat pemanfaatan ALPKS.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut::

1. Untuk mendapatkan laju pembebanan (*loading rate*/LR) dan waktu tinggal hidrolik (WTH) yang terbaik dalam produksi biogas dari campuran air limbah pabrik kelapa sawit (ALPKS) dan kotoran sapi.
2. Mengetahui potensi pupuk organik cair pada tingkatan *loading rate* dan waktu tinggal hidrolik (WTH) yang paling optimal.
3. Menghitung potensi energi yang bisa dihasilkan dengan pemanfaatan Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit (ALPKS) dan kotoran sapi menjadi sumber energi.
4. Mengkaji potensi pengurangan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) akibat pemanfaatan Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit (ALPKS) dan Kotoran sapi menjadi sumber energi.

## **1.3 Kerangka Pemikiran**

Di Indonesia kelapa sawit memiliki peran sangat strategis, selain sebagai bahan baku produk kebutuhan masyarakat, kelapa sawit juga menjadi sumber kehidupan bagi sebagian penduduk Indonesia. Menurut Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia, Pada tahun 2017 produksi minyak kelapa sawit /

CPO di Indonesia mencapai 42,01 juta ton, nilai ekspor minyak kelapa sawit / CPO Indonesia pada tahun 2017 mencapai 32,18 juta ton dan setara dengan US\$ 22,97 miliar. Artinya jumlah limbah cair yang dihasilkan pada tahun 2017 mencapai 105,03 juta m<sup>3</sup>.

Kelapa sawit tidak hanya menghasilkan minyak sebagai komoditi utama tetapi juga hasil samping (*by product*) berupa daun sawit, pelepah sawit, lumpur sawit, dan bungkil sawit yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi dan protein bagi sapi potong. Sejak beberapa tahun pemerintah telah membuat kebijakan untuk melakukan integrasi sehingga terjadi keterpaduan antara sektor peternakan sapi potong dan perkebunan kelapa sawit yang disebut dengan program Integrasi Sawit Sapi Energi (ISSE) atau program Sistem Integrasi Sapi Dan Kelapa Sawit (SISKA).

Pada umumnya pabrik kelapa sawit di Indonesia menangani air limbah secara sederhana, yaitu dengan menampung limbah cair didalam kolam-kolam penampungan dan membairkann air limbah terurai secara alami. Sistem kolam merupakan sistem operasi pengolahan yang mudah, tetapi memiliki banyak kelemahan antara lain: membutuhkan lahan yang luas, waktu tinggal hidrolis yang relatif lama untuk kinerja yang efektif, berbau busukdan menghasilkan gas metan sebagai Gas Rumah Kaca (GRK) yang dilepaskan bebas ke atmosfer (Nasution, 2012).

Produksi gas metan dari air limbah pabrik kelapa sawit membutuhkan waktu yang cukup lama, sehingga dibutuhkan bahan lain yang bisa mempercepat terbentuknya gas metan dan bisa meningkatkan volume gas metan yang

dihasilkan. ALPKS memiliki COD 40.000-50.000 mg/l tetapi miskin unsur N sehingga proses produksi gas metan menjadi lambat dan jumlahnya sedikit. (Saron, 2013).

Penelitian Mahajoeno (2008) terhadap produksi biogas yang berasal dari ALPKS dengan penambahan kotoran sapi sebesar 10 % dapat menghasilkan biogas 64,5 liter biogas selama 12 minggu percobaan didalam kondisi suhu dan tekanan atmosfer. Produksi biogas tersebut lebih tinggi bila dibandingkan dengan menggunakan inokulum yang berasal dari kolam anaerob pengolahan limbah pabrik kelapa sawit. Selain sebagai sumber nutrisi dalam produksi gas metan, kotoran sapi merupakan sebagai sumber inokulum yang baik bagi mikroorganisme metanogenik pada pembentukan biogas, sehingga mikroorganisme tersebut dapat bekerja secara optimal untuk meningkatkan produksi biogas dari ALPKS. 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 %.

Penggunaan kotoran sapi sebagai sumber inokulum dalam produksi biogas pernah dilakukan oleh Nasir et al, (2012) menggunakan ALPKS dan manur dengan konsentrasi 500 g manur dan 1,5 L ALPKS menghasilkan penyisihan COD yang masih sedikit yaitu 33 % dengan sistem semi *batch* reaktor. Penelitian selanjutnya masih dilakukan Nasir et al (2013) dengan meningkatkan volume manur menjadi 5 : 1 dan 5 : 1,5 antara manur dan

ALPKS. Dari hasil penelitian tersebut penyisihan COD yang dihasilkan masih sedikit yaitu 30 % dan 33 %.

Supriyanto (2016) menyatakan, perlakuan laju pembebanan yang paling optimal menghasilkan gas metan pada pembuatan biogas menggunakan bioreaktor CSTR kapasitas 50 L adalah laju pembebanan 1,0 L/hari. Pada laju pembebanan 1,0 L/hari bisa menghasilkan penyisihan COD sebesar 75,28%, dan nilai konversi COD menjadi gas metan sebesar 0,320 L CH<sub>4</sub>/gr COD *removal* pada kondisi STP atau 0,362 pada temperatur 35°C.

#### **1.4. Hipotesis**

1. Peningkatan laju pembebanan substrat campuran ALPKS dan kotoran sapi yang ditambahkan pada proses pembuatan biogas akan meningkatkan volume biogas yang dihasilkan.
2. Peningkatan laju pembebanan substrat campuran ALPKS dan kotoran sapi yang ditambahkan akan meningkatkan kandungan nutrisi pupuk organik cair yang dihasilkan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Biogas

Biogas merupakan salah satu produk hasil biokonversi dari bahan organik. Biokonversi adalah sebuah proses yang mampu mengubah bahan organik menjadi produk lain yang berguna dan memiliki nilai tambah dengan memanfaatkan proses biologis dari mikroorganisme dan enzim (Hardjo dkk., 1989). Menurut Sahidu (1983), biogas adalah bahan bakar gas yang dihasilkan dari suatu proses fermentasi bahan organik oleh bakteri dalam keadaan tanpa oksigen. Bahan bakar ini diproses dalam kondisi anaerob sehingga menghasilkan metan ( $\text{CH}_4$ ) dengan kadar dominan dan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ).

Komposisi biogas yang dihasilkan terdiri atas metan (50-70%), karbondioksida (25-45%), hidrogen, nitrogen, dan hidrogen sulfida dalam jumlah yang sedikit (Price dan Cheremisinoff, 1981). Polprasert (1980), juga mengemukakan bahwa komposisi biogas terdiri atas metan (55-65%) dan karbondioksida (45-35%) yang merupakan komponen gas dominan, serta nitrogen (0-3%), hidrogen (0-1%), hidrogen sulfida (0- 1%), dan unsur NPK serta mineral lainnya yang terakumulasi dalam *sludge*.



Secara lengkap perbandingan komposisi gas penyusun biogas yang terbuat dari fermentasi kotoran sapi dan campuran kotoran sapi dengan sisapertanian dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

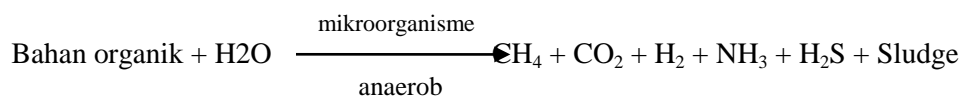
**Tabel 1. Komposisi Biogas**

No	Jenis Gas	Komposisi	
		Kotoran Sapi	Campuran Kotoran Sapi & Sisa Pertanian
1	Metan (CH <sub>4</sub> )	65,7	54-70
2	Karbon dioksida	27,0	45-27
3	Nitrogen	2,3	0,5-3,0
4	Karbon monoksida	0,0	0,1
5	Oksigen	0,1	6,0
6	Propana (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	0,7	-
7	Hidrogen sulfida	-	Sedikit

Sumber : Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2010)

### A. Proses Konversi Bahan Organik Menjadi Biogas

Proses pembentukan biogas dilakukan secara *anaerob*, mikroorganisme akan merombak bahan organik menjadi biogas dan pupuk organik. Proses pelapukan bahan organik ini dilakukan oleh mikroorganisme dalam proses fermentasi anaerob (Polprasert, 1980). Reaksi pembentukan biogas dapat dilihat pada reaksi dibawah ini.

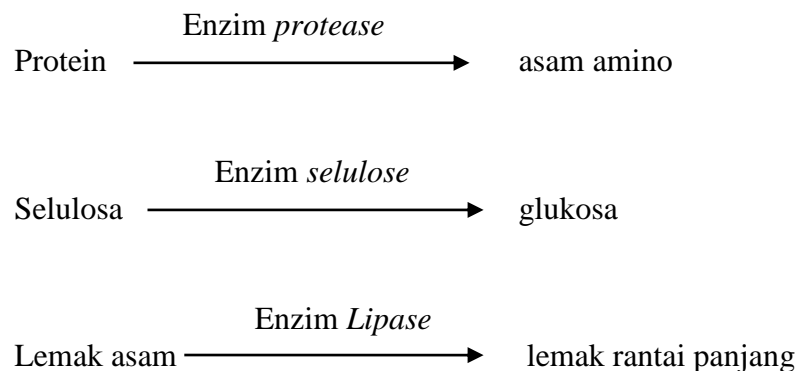


Proses pembentukan biogas memerlukan instalasi khusus yang disebut *digester* atau bioreaktor agar perombakan secara *anaerob* dapat berlangsung dengan baik. Barnett dkk (1978) menyatakan bahwa, terdapat tiga keuntungan dari instalasi penghasil biogas, yaitu : (1) penggunaan bahan bakar lebih efisien, (2) menambah nilai pupuk, dan (3) menyehatkan lingkungan. Selain itu, teknologi biogas memiliki beberapa keuntungan, antara lain : (1) sebagai sumber energi yang aman, (2) stabilisasi limbah, mikroorganisme (3) meningkatkan unsur hara, dan (4) menginaktifkan bakteri patogen (Polprasert, 1980).

Proses perombakan bahan organik secara *anaerob* yang terjadi di dalam *digester*, terdiri atas empat tahapan proses yaitu:

### 1. *Hidrolisis*

*Hidrolisis* merupakan tahapan yang paling awal proses perombakan, terjadi secara *anaerob*. Dalam tahap hidrolisis terjadi pemecahan dari senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana (*monomer*). Senyawa kompleks ini, antara lain protein, karbohidrat, dan lemak, dimana dengan bantuan *eksoenzim* dari bakteri *anaerob*, senyawa ini akan diubah menjadi *monomer* (Deublein dkk., 2008).



Proses hidrolisis karbohidrat membutuhkan waktu beberapa jam, sedangkan hidrolisis pada protein dan lemak memerlukan waktu beberapa hari.

## 2. Fermentasi (*Asidogenesis*)

*Monomer* yang dihasilkan dari tahap hidrolisis akan didegradasi pada tahap ini, Fermentasi merupakan tahap yang akan mengubah monomer menjadi asam organik rantai pendek, *asam butirat*, *asam propionat*, *asam asetat*, *asam asetic*, *alkohol*, *hidrogen*, dan karbon *dioksida* (Deublein dkk., 2008). Selain itu, terjadi pula pertumbuhan dan perkembangan sel bakteri. Pembentukan asam asam organik tersebut terjadi dengan bantuan bakteri, seperti *Pseudomonas*, *Eschericia*, *Flavobacterium*, dan *Alcaligenes* (Hambali dkk., 2007)

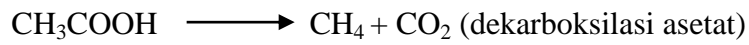
## 3. *Asetogenesis*

Asam organik rantai pendek yang dihasilkan dari tahap fermentasi dan asam lemak yang berasal dari *hidrolisis* lemak akan difermentasi menjadi *asam asetat*,  $H_2$ , dan  $CO_2$  oleh bakteri *asetogenik*. Pada fase ini, mikroorganisme *homoasetogenik* akan mengurangi  $H_2$  dan  $CO_2$  untuk diubah menjadi asam asetat (Deublein dkk., 2008).

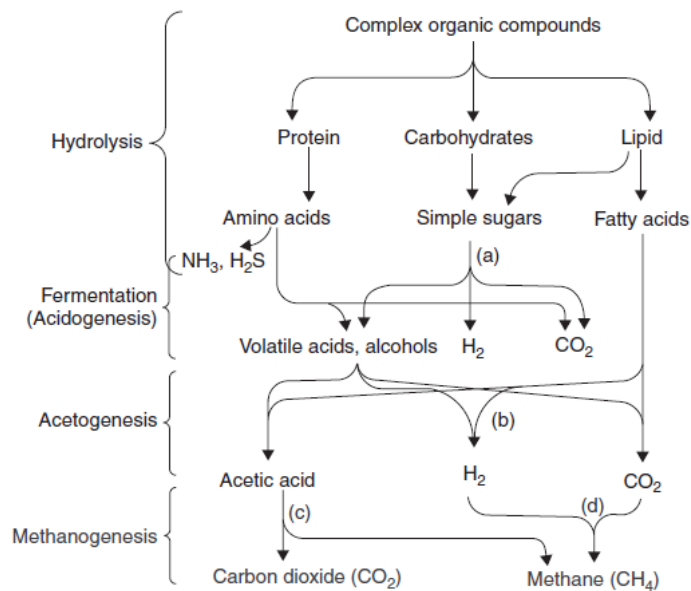
## 4. *Metanogenesis*

Merupakan tahapan dominasi perkembangan sel mikroorganisme dengan spesies tertentu yang menghasilkan gas metan sebagai komponen utama biogas. Bakteri yang berperan dalam proses ini, antara lain *Metanococcus*, *Metanobacillus*, *Metanobacterium*, dan *Metanosarcina*.

Terbentuknya gas metan terjadi karena adanya reaksi dekarboksilasi asetat dan reduksi CO<sub>2</sub>, seperti yang terlihat pada reaksi dibawah ini.



Biogas terbentuk dari perombakan bahan organik kompleks, bahan ini akan mengalami perombakan secara anaerob melalui empat tahap. Tahapan tersebut dapat dilihat secara lengkap pada Gambar 3.



Gambar 1. Skema Proses Perombakan secara Anaerob (Grady dkk., 1999)

Keuntungan utama yang diperoleh dari fermentasi *anaerob* adalah buangan bahan organik masih banyak mengandung unsur hara. Kurang lebih 99% nitrogen masih terdapat di dalam lumpur (sludge), sedangkan sisanya hilang sebagai gas amonia selama proses berlangsung.

## B. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Produksi Biogas

### 1. Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor yang menentukan keberlangsungan hidup *mikroorganisme anaerobik*. Suhu tidak terlalu berpengaruh pada terjadinya proses hidrolisis, karena pada proses hidrolisis bakteri tidak terlalu peka terhadap perubahan suhu (Gerardi, 2003). Suhu optimal untuk bakteri pembentuk asam yaitu 32-42 oC (*mesophilik*) dan 48-55 oC (*thermophilik*), sedangkan bakteri *metanogenik* kebanyakan hidup pada suhu *mesofil* dan sebagian kecil lainnya hidup pada suhu *thermofil*. Bakteri metanogenik sangat sensitif terhadap perubahan suhu, bakteri *metanogenik* yang hidup pada suhu *thermofil* lebih sensitif terhadap perubahan suhu jika dibandingkan dengan bakteri *metanogenik mesofil*.

Gas metan dapat dihasilkan pada temperatur antara 0°C sampai 97°C. Bakteri *termofilik* ditemukan di daerah beroperasi secara optimum pada temperatur 50°C sampai 75°C. *Metanothermus fervidus* ditemukan di *Iceland* dan tumbuh pada temperatur 63°C sampai 97°C. Penjagaan suhu digester agar tetap konstan ini didukung oleh pernyataan Price dan Cheremisinoff (1981) yang menyebutkan bahwa produksi gas pada proses perombakan secara anaerobik dapat berlangsung pada kisaran suhu 4°C -60°C jika suhu konstan dan apabila terjadi fluktuasi suhu maka proses akan

terganggu. Selanjutnya Price dan Cheremisinoff (1981) berpendapat bahwa, walaupun digester yang memiliki suhu yang rendah (20-25 oC) membutuhkan waktu retensi dua kali lebih lama dari digester dengan suhu mesofil, namun produksi gas, kualitas, dan parameter lain dari kestabilan proses dinilai menguntungkan. Selain itu, digester dengan suhu rendah ini dapat dijadikan alternatif pembuatan biogas di daerah beriklim dingin. Suhu tidak hanya mempengaruhi aktivitas bakteri pembentuk gas metan, tetapi juga mempengaruhi aktivitas bakteri pembentuk asam volatil.

Fluktuasi suhu dapat menguntungkan salah satu kelompok bakteri, namun merugikan bakteri kelompok lain. Contohnya, peningkatan suhu sebesar 10°C dapat menghentikan produksi metan atau aktivitas bakteri pembentuk metan selama 12 jam, sedangkan pada kondisi yang sama terjadi peningkatan asam volatil. Perubahan aktivitas pada bakteri pembentuk asam volatil akan berpengaruh pada jumlah asam organik dan alkohol yang dihasilkan dari proses fermentasi. Asam organik dan alkohol ini digunakan sebagai substrat bagi bakteri pembentuk metan, sehingga akan mempengaruhi keseluruhan performa digester (Gerardi, 2003).

## **2. Nilai pH**

Bakteri pembentuk gas metan hidup pada pH optimum 6,7-7,5 tetapi optimalnya pada kisaran pH antara 7,0 sampai 7,2 , proses pembentukan gas metan dapat gagal jika pH mendekati 6,0.

(Deublein dkk., 2008). Nilai pH pada proses *anaerobik* akan mengalami penurunan dengan diproduksi *asam volatil* dan akan meningkat dengan dikonsumsi *asam volatil* oleh bakteri pembentuk *metan* (Gerardi, 2003). Apabila nilai pH turun hingga di bawah 6,5 maka asam organik mulai terbentuk dengan bantuan bakteri *hidrolitik* dan tahap fermentasi mulai berhenti. Tetapi pada kenyataannya, nilai pH pada tahap ini berada pada kisaran netral karena adanya sistem penyangga (*buffering sistem*).

Selama proses fermentasi terjadi, karbon dioksida disusun secara terus menerus dan dibebaskan ke udara. Penurunan nilai pH membuat karbon dioksida larut pada substrat, sedangkan peningkatan pH membuat karbon dioksida terlarut diubah menjadi asam *karbonat* yang terionisasi, sehingga ion hidrogen dibebaskan (Deublein dkk., 2008). Peningkatan pH paling tinggi akan terjadi pada tahap metanogenesis, dimana bakteri akan tumbuh optimal pada kondisi pH tersebut. Akan tetapi, terdapat satu jenis bakteri pembentuk metan yang dapat hidup pada pH rendah yaitu >6,5, bakteri tersebut adalah *Metanosarcina* (Deublein dkk., 2008).

### **3. Total Volatile Solids (TVS)**

*Total Volatile Solids* atau total padatan yang teruapkan merupakan kandungan bahan kering organik yang berpotensi untuk dikonversi menjadi biogas. Jumlah TVS pada bahan baku pembuatan biogas akan mempengaruhi produksi biogas yang dihasilkan. Sebanyak 0,7

m<sup>3</sup> metan dihasilkan dari perombakan 1 kg *volatile solids* (VS) (Drapcho dkk., 2008). Gerardi (2003) menyatakan bahwa, dari 100 kg lumpur digester, sebanyak 70% berupa VS. Semakin banyak bahan organik yang terkandung di dalam substrat, maka semakin tinggi pula VFA yang diproduksi. *Volatile fatty acids* (VFA) yang terlalu tinggi akan menyebabkan gangguan pada nilai pH. Penurunan nilai pH yang terlalu tinggi dapat menghambat aktivitas bakteri pembentuk metan (Gerardi, 2003).

#### **4. Rasio C/N**

Rasio C/N merupakan nilai perbandingan antara karbon dan nitrogen yang terdapat pada substrat. Kisaran rasio C/N yang optimal menurut Deublein dkk(2008) adalah 16:1 – 25:1 dan 20:1 - 30:1 menurut Stafford dkk (1980). Tetapi, hal ini hanya indikasi karena Nitrogen dapat juga terikat pada struktur lignin. Substrat dengan rasio C/N yang terlalu rendah akan mengakibatkan peningkatan kadar ammonia yang dapat menghambat produksi metan. Sebaliknya, jika rasio C/N terlalu tinggi mengindikasikan terjadinya kekurangan nitrogen pada substrat, dimana hal ini membawa dampak buruk pada pembentukan protein yang diperlukan mikroba untuk tumbuh.

#### **5. Kompetisi Bakteri *Metanogen* dengan Bakteri Pemakan *Sulfat***

Bakteri pereduksi sulfat dan metanogen memperebutkan donor elektron yang sama, asetat dan H<sub>2</sub>. Bakteri pemakan sulfat memiliki afinitas yang lebih tinggi terhadap asetat (K<sub>s</sub>= 9,5 mg/l) daripada



metanogen ( $K_s=32,8$  mg/l). Ini berarti bahwa bakteri pemakan sulfat akan memenangkan kompetisi pada kondisi konsentrasi asetat yang rendah. Bakteri pemakan sulfat dan metanogen sangat kompetitif pada rasio COD:SO<sub>4</sub> berkisar 1,7 sampai 2,7. Pada kondisi rasio yang lebih tinggi baik untuk metanogen, sedangkan bakteri pemakan sulfat lebih baik pada rasio yang lebih kecil. Beberapa zat toksik yang dapat menghambat pembentukan metan antara lain:

- a. Oksigen, metanogen adalah bakteri anaerob dan dapat terhambat pertumbuhannya oleh oksigen dalam kadar *trace level*.
- b. Ammonia, ammonia beracun untuk bakteri metanogen karena produksi ammonia tergantung pH (ammonia bebas terbentuk pada pH tinggi), sedikit toksisitas yang dapat diamati pada pH netral. Ammonia dapat menghambat pembentukan metanogen pada konsentrasi 1500 sampai 3000 mg/l,
- c. Hidrokarbon terklorinasi, kloroform sangat toksik terhadap bakteri metanogen dan cenderung menghambat secara total, hal ini dapat diukur dari produksi metan dan akumulasi hidrogen pada konsentrasi di atas 1 mg/l,
- d. Senyawa benzena, formaldehid, asam volatil, asam lemak rantai panjang, logam berat, sianida, sulfida, tannin, salinitas, efek balik, sistem anaerobik dapat dihambat oleh beberapa hasil antara selama proses.

## **6. Laju Pembebanan (*Loading rate*)**

Laju pembebanan atau disebut juga *loading rate* adalah besaran yang menyatakan jumlah material organik dalam satu satuan volume yang diumpangkan pada reaktor. Substrat cair yang diumpangkan dapat didegradasi oleh mikroba, kemudian diubah menjadi metan melalui proses biologis oleh mikroba-mikroba pengurai di dalam reaktor. Perubahan laju pembebanan yang mendadak dapat mengakibatkan kenaikan yang setara dalam produksi asam, yang tidak dapat disesuaikan oleh kenaikan yang setara dalam pembentukan metan. Pembentukan produk asam asetat (asam lemak organik) akan mengakibatkan penurunan pH dan penghambatan lebih jauh dari produksi metan akan terjadi. Satuan laju pembebanan adalah kg COD/m<sup>3</sup> hari.

### **2.2 Pupuk Organik Cair**

Pupuk adalah bahan-bahan yang diberikan pada tanah agar dapat menambah unsur-unsur atau zat makanan yang diperlukan tanah baik secara langsung maupun tidak langsung (Murbandono, 2002). Sedangkan pupuk organik adalah pupuk yang berasal dari tumbuhan mati, kotoran hewan dan/atau bagian hewan dan/atau limbah organik lainnya yang telah melalui proses rekayasa, berbentuk padat atau cair, dapat diperkaya dengan bahan mineral dan/atau mikroba, yang bermanfaat untuk meningkatkan kandungan hara dan bahan organik tanah serta memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi

tanah (Permentan No.70/Permentan/SR.140/10/2011 tentang pupuk organik, pupuk hayati dan pembenah tanah).

Secara umum pupuk organik terbuat dari bahan-bahan organik yang didegradasi secara organik. Bahan baku organik dapat diperoleh dari berbagai macam sumber, seperti sisa-sisa tanaman, hewan dan manusia. Peranan bahan organik dalam memperbaiki kesuburan tanah, yaitu melalui penambahan unsur-unsur hara nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang secara lambat tersedia, dan meningkatkan kapasitas tukar kation tanah sehingga kation-kation hara yang penting tidak mudah mengalami pencucian dan tersedia bagi tanaman, memperbaiki agregat tanah sehingga terbentuk struktur tanah yang lebih baik untuk respirasi dan pertumbuhan akar, meningkatkan kemampuan mengikat air sehingga ketersediaan air bagi tanaman lebih terjamin, dan meningkatkan aktivitas mikroba tanah (Hardjowigeno, 1995).

Pupuk Organik Cair merupakan pupuk organik dalam bentuk cair dan pada umumnya merupakan bahan organik yang dilarutkan dengan pelarut seperti air (Ismawati, 2003). Pupuk organik cair dapat dibuat dari bahan-bahan organik berbentuk cair dengan cara mengomposkan dan memberi aktivator pengomposan sehingga dapat dihasilkan pupuk organik cair yang stabil dan mengandung unsur hara lengkap. Pupuk cair dapat diproduksi dari limbah industri peternakan (limbah cair dan setengah padat atau *slurry*) yaitu melalui pengomposan dan *aerasi* (Haga, 1999).

Kebanyakan dari pupuk organik mempunyai kandungan nutrisi yang rendah jika dibandingkan dengan pupuk anorganik terutama unsur N, P, dan K. Tetapi mempunyai efek yang menguntungkan bagi tanah diantaranya dapat memperbaiki kondisi tanah hingga tanah dapat menahan air lebih banyak dan menggemburkan tanah. Zat-zat unsur hara yang terkandung di dalam pupuk cair sebagian langsung dapat diserap dan sebagian lagi dengan cepat dapat diurai, sehingga cepat juga dapat diserap oleh tanaman.

Kelebihan pupuk organik cair dibanding dengan pupuk anorganik cair yaitu dapat secara cepat mengatasi defisiensi hara, tidak bermasalah dalam pencucian hara serta mampu menyediakan hara secara tepat. Kendala yang dihadapi dalam penggunaan pupuk kimia anorganik cair antara lain kurang efisien, karena pupuk ini tidak memiliki bahan pengikat sehingga saat diaplikasikan di lapangan banyak yang terbuang. Larutan pupuk anorganik yang jatuh ke permukaan tanah akan larut dan tercuci saat hujan dan N akan cepat menguap pada suhu cukup tinggi (Mulyani, 1994). Pupuk cair juga memiliki beberapa kekurangan diantaranya adalah tidak semua pupuk dalam bentuk cair bersifat organik. Pupuk anorganik dalam bentuk cair bila digunakan untuk tanaman yang langsung dikonsumsi seperti sayuran dan buah berkulit tipis, akan mempengaruhi rasa dan kandungan sayuran atau buah tersebut (Mulyani, 1994). Selain itu penggunaan yang berlebihan dan terus menerus dapat merusak tanaman dan tanah. Persyaratan teknis minimal pupuk cair organik dapat dilihat dalam tabel dibawah ini.

Tabel 2. Standar Baku Mutu Pupuk Organik Cair

No	Parameter	Satuan	Standar mutu
1	C - organik	%	Min 6
2	Bahan ikutan (Plastik, kaca, kerikil)	%	Maks 2
3	Logam berat		
	- As	ppm	Maks 2,5
	- Hg	ppm	Maks 0,25
	- Pb	ppm	Maks 12,5
	- Cd		Maks 0,5
4	pH		4 - 9
5	Hara Makro:		
	- N	%	3 - 6
	- P <sub>2</sub> O	%	3 - 6
	- K <sub>2</sub> O	%	3 - 6
6	Mikroba kontaminan		
	- E.colli	MPN/ml	Maks 10 <sup>2</sup>
	- Salmonella sp	MPN/ml	Maks 10 <sup>2</sup>
7	Hara Mikro		
	- Fe Total atau	ppm	90 - 900
	- Fe tersedia	ppm	5 - 50
	- Mn	ppm	250 - 5000
	- Cu	ppm	250 - 5000
	- Zn	ppm	250 - 5000
	- B	ppm	125 - 2500
	- Co	ppm	5 - 20
	- Mo	ppm	2 - 10
8	Usur lain:		
	- La	ppm	0
	- Ce	ppm	0

**Sumber:** Peraturan Menteri Pertanian NOMOR 70/Permentan/SR.140/10/2011 Tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati Dan Pembenh Tanah.

### 2.3. Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit

#### A. Produksi Air Limbah pabrik Kelapa Sawit

Limbah pada dasarnya adalah suatu bahan yang terbuang atau dibuang dari suatu sumber hasil aktivitas manusia, maupun proses-proses alam dan tidak atau belum mempunyai nilai ekonomi, bahkan dapat mempunyai nilai

ekonomi yang negatif. Maksud dari mempunyai nilai ekonomi yang negatif adalah karena penanganan limbah memerlukan biaya yang cukup besar disamping juga dapat mencemari lingkungan (Sa'id, 1994).

Pengolahan tandan buah segar (TBS) kelapa sawit menjadi minyak kelapa sawit (CPO) menghasilkan dua bentuk limbah cair, yaitu air kondensat dan *effluent* proses pengolaha. Air kondensat biasa digunakan sebagai umpan boiler untuk mengoperasikan mesin pengolahan kelapa sawit. *Efluent* yang banyak mengandung unsur hara dimanfaatkan sebagai bahan pengganti pupuk anorganik. Pencemaran lingkungan akibat limbah cair dapat diatasi dengan cara mengendalikan limbah cair tersebut secara biologis. Pengendalian secara biologis tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan bakteri *anaerob* (Tobing et al., 1992).

Di Indonesia kelapa sawit memiliki peran sangat strategis, karena selain sebagai bahan baku produk kebutuhan masyarakat, kelapa sawit juga menjadi sumber kehidupan bagi sebagian penduduk Indonesia. Pada tahun 2017 produksi minyak kelapa sawit/ *Crude Pam Oil* (CPO) di Indonesia mencapai 42,01 juta ton, nilai ekspor minyak kelapa sawit/CPO Indonesia mencapai 32,18 juta ton dan setara dengan US\$ 22,97 miliar. (Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia, 2018). Artinya jumlah limbah cair yang dihasilkan pada tahun 2017 mencapai 105,03 juta m<sup>3</sup>.

Rahardjo (2009), menyatakan bahwa sampai saat ini limbah cair industri minyak kelapa sawit di Indonesia masih ditangani dengan cara relatif sederhana yaitu dengan mengalirkan dan membiarkan terdekomposisi di

dalam sistem kolam (*ponding sistem*). Di dalam sistem ini, bahan organik sebagian besar terdegrasi secara anaerobik dan menyebabkan bau busuk serta menimbulkan emisi gas metan. Sistem ini juga memerlukan waktu yang lama yakni 55 hari hingga 110 hari sehingga membutuhkan lahan instalasi yang sangat luas (Ahmad dkk., 2005).

Limbah cair pabrik kelapa sawit (ALPKS) merupakan sumber pencemar lingkungan yang serius jika langsung dibuang di sungai, hal ini disebabkan oleh nilai COD dan BOD yang sangat tinggi (Chandkk., 2012). Oleh karena itu, ALPKS harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke perairan umum. Di sisi lain ALPKS dengan nilai COD yang tinggi memiliki potensi sebagai sumber energi.

### **B. Karakteristik Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit (ALPKS)**

Limbah cair pabrik kelapa sawit mengandung bahan organik yang dapat mengalami degradasi. Jini (2006) menyatakan bahwa, limbah cair dari buangan pabrik kelapa sawit yang berkapasitas 30 ton TBS per jam, mengandung polutan yang sama dengan buangan domestik 300.000 orang. Selain itu buangan ini memiliki kandungan COD sebesar 50.000 mg/l, BOD sebesar 30.000 mg/l, minyak dan lemak sebesar 6000 mg/l, suspended solid sebesar 59,350 dan total nitrogen 750 mg/l (Ahmad et al., 2005). Kondisi tersebut sangat berpotensi mencemari lingkungan tanah, air dan udara. Karakteristik dari limbah cair industri pengolahan kelapa sawit dipaparkan pada Tabel 3.

**Tabel 3. Karakteristik Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit**

No	Parameter	Rata-rata <sup>1</sup> (g/l)	Rata-rata <sup>2</sup> (g/l)	Rata-rata <sup>3</sup> (mg/l)	Baku Mutu <sup>4</sup> (g/l)
1	Nilai pH	4,2	4,4	4,5	6-9
2	BOD	25,00	27,72	29.000	0,11
3	COD	51,00	56,20	64.000	0,25
4	Total Padatan	40,00	28,24	23.000	0,25
5	Padatan Tersuspensi	18,00	15,15	22.000	0,10
6	Minyakdan Lemak	6,00	29,30	7.000	0,03
7	Total Nitrogen	0,75	27,70	1200	0,02

Sumber :<sup>1</sup> Tong, 2011; <sup>2</sup> Mahajoeno, 2008; <sup>3</sup> Wu, 2008; <sup>4</sup>MENKLH-NORAD,2004

### **C. Potensi Air Limbah Kelapa Sawit (ALPKS) menjadi Biogas**

Dari karakteristik air limbah kelapa sawit (ALPKS) dapat diketahui bahwa limbah cair pabrik kelapa sawit memiliki nilai COD yang cukup tinggi yaitu 51.000 mg/l- 64.000 mg/l. Dengan kondisi tersebut sangat memungkinkan COD tersebut dirombak oleh mikroba dari jenis metanogen untuk tumbuh dan merubah bahan organik yang ada menjadi biogas. Saron (2013) menyatakan bahwa pembuatan biogas dari ALPKS kurang menguntungkan, hal ini disebabkan karena gas metan yang dihasilkan sangat kecil (0,28 L/g COD) dan membutuhkan waktu yang lama. Hal tersebut disebabkan karena ALPKS memiliki COD 40.000-50.000 mg/l tetapi miskin unsur N sehingga proses produksi gas metan menjadi lambat dan sedikit. Salah satu alternatifnya adalah penambahan nutrisi lain yang



kaya unsur N. Limbah yang kaya akan unsur N dan tersedia dalam jumlah yang besar adalah kotoran ternak. Kotoran sapi yang mengandung kandungan hara dan energi yang tinggi berpotensi untuk dijadikan bahan baku penghasil biogas. Selain itu, kotoran sapi mengandung rasio C/N yang rendah sehingga mampu menurunkan rasio C/N yang tinggi pada POME

Wang j (2015) menyatakan, dengan pengaturan 9,8 d HRT (*Hydraulic Retention Time*) pada reaktor anaerobik EGBS mampu mengurangi COD dari 71179 mg/l menjadi 12341 mg/l. Kusri E dkk (2014) juga menyatakan bahwa biogas dari POME dengan menggunakan proses pengadukan anaerob menghasilkan gas dengan komposisi CH<sub>4</sub> 89%, dan 11% CO<sub>2</sub>.

#### **2.4. Kotoran Sapi**

Limbah peternakan adalah hasil buangan dari proses pengolahan usaha peternakan atau buangan proses metabolisme yang bersifat tidak ramah lingkungan. Peternakan kecil maupun peternakan besar selalu menghasilkan limbah yang berupa limbah padat, cair, dan juga limbah gas (CH<sub>4</sub> dan NH<sub>3</sub>). Sahidu (1983) mengemukakan, hasil pengamatan beberapa peneliti bahwa rata-rata satu ekor sapi menghasilkan kotoran sebanyak 27 kg/ekor/hari. Kotoran sapi banyak mengandung karbohidrat terutama jenis selulosa dan serat-seratan, disamping protein dan lemak. Kotoran sapi adalah limbah peternakan yang merupakan buangan dari usaha peternakan sapi yang bersifat padat dan dalam proses pembuangannya sering bercampur dengan urin dan gas seperti metan dan amoniak.

Populasi ternak sapi yang besar merupakan potensi sumber energi yang potensial dalam pengolahan produksi biogas karena jumlahnya yang sangat banyak. Menurut Direktorat Jendral Peternakan kemetriann pertaniaa Republik Indonesia pada tahun 2017 populasi sapi potong diIndoesia 16.599.247. Jika per ekor sapi menghasilkan kotoran sebanyak 29/kg perhari, maka akan dihasilkan limbah kotoran sapi sebesar 481.378 ton perhari. Dengan potensi 1 kg kotoran sapi akan menghasilkan minimal 0,023m<sup>3</sup> biogas maka potensi biogas yang bisaa dihasilkan sebesar 9.887.608m<sup>3</sup> (Wahyuni, 2013).

#### A. Karakteristik Kotoran Sapi

Kandungan unsur hara dalam kotoran sapi bervariasi tergantung pada tingkat produksinya, jumlah makanan yang dimakannya, serta individu ternak sendiri (Abdulgani, 1988). Kandungan unsur hara dalam kotoran sapi, antara lain N0,29%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,17% dan K<sub>2</sub>O0,35% (Hardjowigeno, 2003).

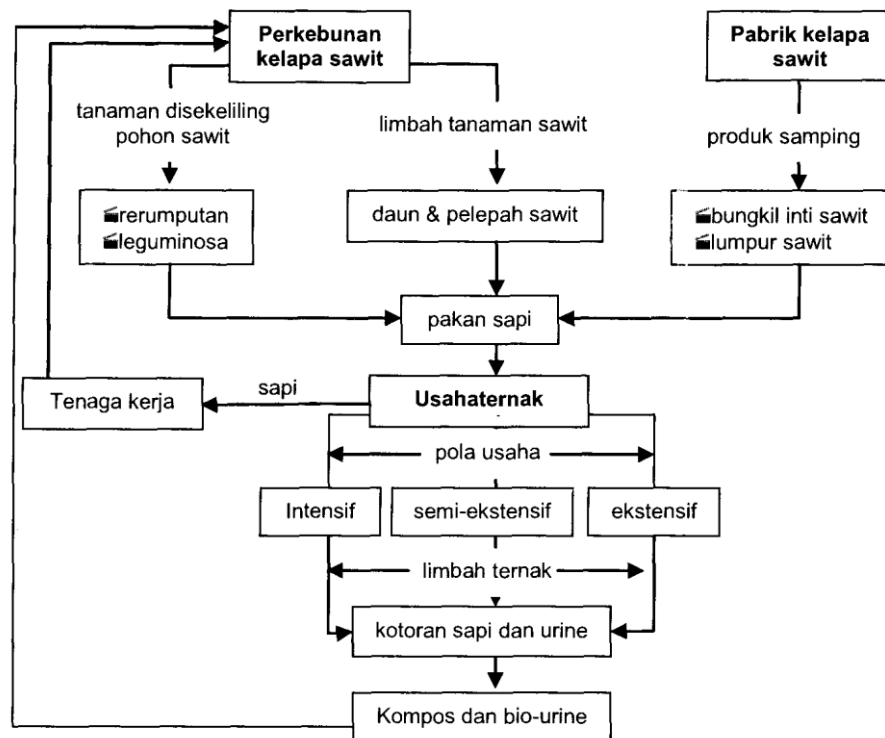
**Tabel 4. Kandungan Unsur Hara Limbah Peternakan**

Jenis Hewan	Unsur hara makro (%)					Unsur mikro (%)			
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
<b>Ayam</b>	1,72	1,82	2,18	9,23	0,86	610	3475	160	501
<b>Sapi</b>	2,04	0,76	0,82	1,29	0,48	528	2597	56	239
<b>Kambing</b>	2,43	0,73	1,35	1,95	0,56	468	2891	42	291
<b>Domba</b>	2,03	1,42	1,61	2,45	0,62	490	2188	23	225

Sumber: *Organik vegetabel cultivation in Malaysia* (2005)

## B. Sistem Integrasi Sawit-Sapi

Konsep sistem integrasi sawit-sapi adalah saling memanfaatkan dari sub sistem perkebunan kelapa sawit dan/pabrik kelapa sawit dengan sub sistem usaha ternak sapi, sehingga dihasilkan manfaat ganda. Sub sistem perkebunan kelapa sawit dapat memanfaatkan produk samping dan meningkatkan efisiensi pengelolaan usaha perkebunan menuju usaha perkebunan kelapa sawit ramah lingkungan. Sub sistem usaha ternak sapi dapat menekan biaya pakan yang merupakan komponen biaya produksi terbesar melalui pemanfaatan produk samping sub sistem perkebunan dan atau pabrik sawit. Diagram alir sistem integrasi sawit sapi disajikan dalam diagram dibawah ini.



Gambar 2. Diagram Alir Sistem Integrasi Sawit Sapi

## 2.5 Emisi Gas rumah kaca

Pemanasan global merupakan peningkatan temperatur *atmospher* bumi akibat dari meningkatnya intensitas efek Rumah Kaca (*green house effect*) pada atmosfir bumi. Peningkatan intensitas efek Rumah Kaca tersebut disebabkan meningkatnya konsentrasi gas-gas rumah kaca (*green house gas/ GHG*) pada atmosfir bumi, diatas konsentrasi alamiahnya. Gas-gas rumah kaca yang dimaksud adalah uap air ( $H_2O$ ), karbon dioksida ( $CO_2$ ), metane ( $CH_4$ ), senyawa nitrogen oksida ( $N_2O$ ), dan gas-gas buatan manusia seperti golongan *Chlorofluorocarbon* (CFC) dan *halogen* (GAPKI, 2013 yang mengutip dari Kiehl, et al. 1957; IPCC, 1991; IPCC, 2001; IPCC, 2007; Isaac and Brian, 2000; Hansen et al 2000; NRC, 2008; IEA, 2009; dan IEA, 2010). Dengan meningkatnya intensitas efek rumah kaca tersebut, radiasi atau panas sinar matahari yang terperangkap pada atmosfir bumi menjadi lebih besar dari alamiahnya sehingga memanaskan temperatur udara bumi.

Pengurangan emisi gas rumah kaca dapat dilakukan melalui berbagai cara, antara lain penghematan energi atau konservasi energi, diversifikasi energi serta pemanfaatan CCS (*Carbon Dioxide Capture and Storage*). Untuk memperjelas penerapan teknologi untuk mengurangi pencemaran tersebut, langkah pengurangan juga dideskripsikan per sektor.

## A. Cara Pengurangan Emisi Co2

### 1. Konservasi

Konservasi atau penghematan energi dapat dilaksanakan melalui peningkatan efisiensi peralatan, penggunaan peralatan yang lebih efisien serta melaksanakan manajemen energi.

#### a. Peningkatan efisiensi Peralatan.

Peningkatan efisiensi peralatan dilaksanakan dengan mengganti sebagian atau seluruh peralatan pengguna energi dengan peralatan yang lebih efisien.

#### b. Penggunaan Peralatan yang lebih efisien.

Penggunaan peralatan yang lebih efisien akan dapat menurunkan konsumsi energi seperti mengganti peralatan yang sudah tua dan boros energi dengan yang lebih efisien.

#### c. Manajemen penggunaan energi (*Demand Side Management*)

Pengelolaan di sisi pengguna, selain dari penggantian peralatan, juga dapat dilakukan dengan mengubah kebiasaan yang boros menjadi hemat energi. Misalnya mematikan lampu saat akan keluar kamar, mengangkat barang secara sekaligus, serta berbagai aktifitas yang menyangkut pola kerja atau kebiasaan. Penghematan dapat juga dilakukan dengan pemasangan peralatan otomatis untuk peralatan elektronik, misal lampu kamar yang mati bila kamar kosong, eskalator yang berhenti bila tidak diinjak orang dan lain-lain.

## 2. Diversifikasi Energi

Diversifikasi energi atau penggantian bahan bakar dengan jenis energi lain, bertujuan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar yang mempunyai kandungan karbon tinggi dengan jenis energi yang mempunyai kandungan karbon rendah atau tanpa kandungan karbon.

### a. Substitusi Energi

Substitusi energi adalah upaya untuk mengganti energi yang ada dengan jenis energi lain yang lebih murah, mudah secara teknis dan tanpa mengurangi kinerja alat. Dalam pembangkitan listrik maka penggantian minyak solar pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan *biofuel* atau Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), tenaga angin dan lain-lain akan mengurangi pelepasan CO<sub>2</sub> ke atmosfer. Biomasa, walaupun mempunyai kandungan karbon yang cukup tinggi, tetapi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dianggap dihisap kembali oleh tanaman yang sedang tumbuh sehingga emisinya dianggap 0 atau tanpa emisi. Hal ini disebabkan pohon dianggap merupakan *sink* atau penyerap CO<sub>2</sub> hanya pada masa pertumbuhan (0 sampai 12 tahun), sehingga pemotongan pohon dianggap bagian dari penciptaan *sink*.

### b. Penggunaan Teknologi Rendah Karbon

Pemanfaatan teknologi rendah karbon sebagai pengganti Pembangkit Listrik Tenaga bahan bakar fosil secara drastis akan

dapat mengurangi pelepasan gas rumah kaca ( $\text{CO}_2$ ) ke atmosfer. Teknologi yang termasuk dalam kategori ini antara lain Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Demikian pula aplikasi kendaraan sel bahan bakar (*Fuel cell*) menggunakan metanol atau hidrogen akan mengurangi GRK pada sektor transportasi secara drastis, walaupun saat ini teknologi ini belum komersial.

c. **CCS (*Carbon Dioxide Capture And Storage*)**

CCS merupakan teknologi yang berupaya untuk menangkap  $\text{CO}_2$  dan menyimpannya pada cekungan dalam dibawah permukaan bumi. Secara umum teknologi CCS terdiri dari 4 subsektor yaitu penangkapan  $\text{CO}_2$  (*Capture*), pengangkutan (pipa atau kapal), injeksi, serta *reservoir geologi storage*. Selain dari penggunaan CCS,  $\text{CO}_2$  dapat disimpan pada lautan (kedalaman > 2 Km), karbonisasi mineral (reaksi kimia  $\text{CO}_2$  terhadap oksida logam akan mengikat  $\text{CO}_2$  sebagai karbonat) yang stabil dan digunakan dalam proses industri.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni 2016 sampai dengan Oktober 2017, di Laboratorium pengolahan limbah Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Universitas Lampung dan di Laboratorium Analisis Politeknik Negeri Lampung.

#### 3.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *sludge* (dari kolam *anaerob* instalasi pengolahan air limbah pabrik kelapa sawit PTPN VII unit usaha Bekri), Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit (ALPKS) (diambil dari Pabrik Kelapa Sawit PT Perkebunan Nusantara VII Unit usaha Bekri), Kotoran sapi (diambil dari Laboratorium Kandang Politeknik Negeri Lampung), Kalium Dikromat, Fero Amonium Sulfat, Asam Sulfat, Natrium Hidroksida, Aquades, Aquabides, Kertas Saring bahan kimia lain yang digunakan untuk analisis COD, TSS, VSS, Gas Metan dan analisa kandungan pupuk organik.



Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: Bioreaktor *Completely Stirred Tank Reactor* (CSTR) kapasitas 50 liter, *gas flow meter*, pH meter, *gas sampler bag*, *thermometer*, neraca analitik, *furnace*, oven, tanur, *spektrofotometer*, *gas kromatografi* dan beberapa gelas lainnya.

### 3.3 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan eksperimen laboratorium, produksi gas dan analisa parameter dilaksanakan di Laboratorium Pengolahan limbah Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Universitas Lampung dan Laboratorium Analisis Politeknik Negeri Lampung.

Bioreaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah bioreaktor *Completely Stirred Tank Reactor* (CSTR), perlakuan yang diujikan dalam penelitian ini adalah tingkatan *loading rate* (*LR*) atau laju pembebanan yang dimasukkan kedalam bioreaktor. Ada 4 taraf perlakuan yang diujikan yaitu *loading rate* 1% (0,5 L/hari), 2% (1,0 L/hari), 3% (1,5 L/hari) dan 4% (2,0 L/hari) atau setara dengan WTH 100 hari, 50 hari, 33,3 hari dan 25 hari dan dilakukan dengan 3 kali ulangan. Penelitian dilakukan dengan 4 tahapan yaitu: Karakterisasi bahan, Proses aklimatisasi, proses produksi biogas dan proses perhitungan potensi energi yang bisa dihasilkan dan perhitungan pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang bisa dikurangi akibat pemanfaatan ALPKS menjadi biogas.

Perubahan yang diamati dalam penelitian ini antara lain:

- a. pH inlet dan outlet
- b. *Chemical Oxygen Demand* (COD)
- c. *Total Suspend solid* (TSS)
- d. *Volatil Suspended Solid* (VSS)
- e. Volume biogas yang dihasilkan
- f. Komposisi biogas yang dihasilkan.

Metode penyajian data yang digunakan adalah metode deskriptif yaitu menyajikan data pengamatan dalam bentuk tabel dan grafik dan dianalisa secara deskriptif.

### **3.3.1 Karakterisasi Bahan**

Karakterisasi terhadap bahan yang digunakan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat dan karakter dari masing-masing bahan yang dipakai, sehingga bisa menjadi pembanding setelah dilaksanakan penelitian. Proses karakterisasi dilakukan sebelum tahapan penelitian utama dilaksanakan. Bahan yang dikarakterisasi antara lain *Sludge* yang dijadikan sebagai inokulum utama dalam produksi biogas, Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit (ALPKS), kotoran sapi, dan campuran ALPKS dengan kotoran sapi. Parameter yang dianalisa dari masing masing bahan tersebut antara lain pH, *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Volatil Suspended Solid* (VSS).

### 3.3.2 Proses aklimatisasi

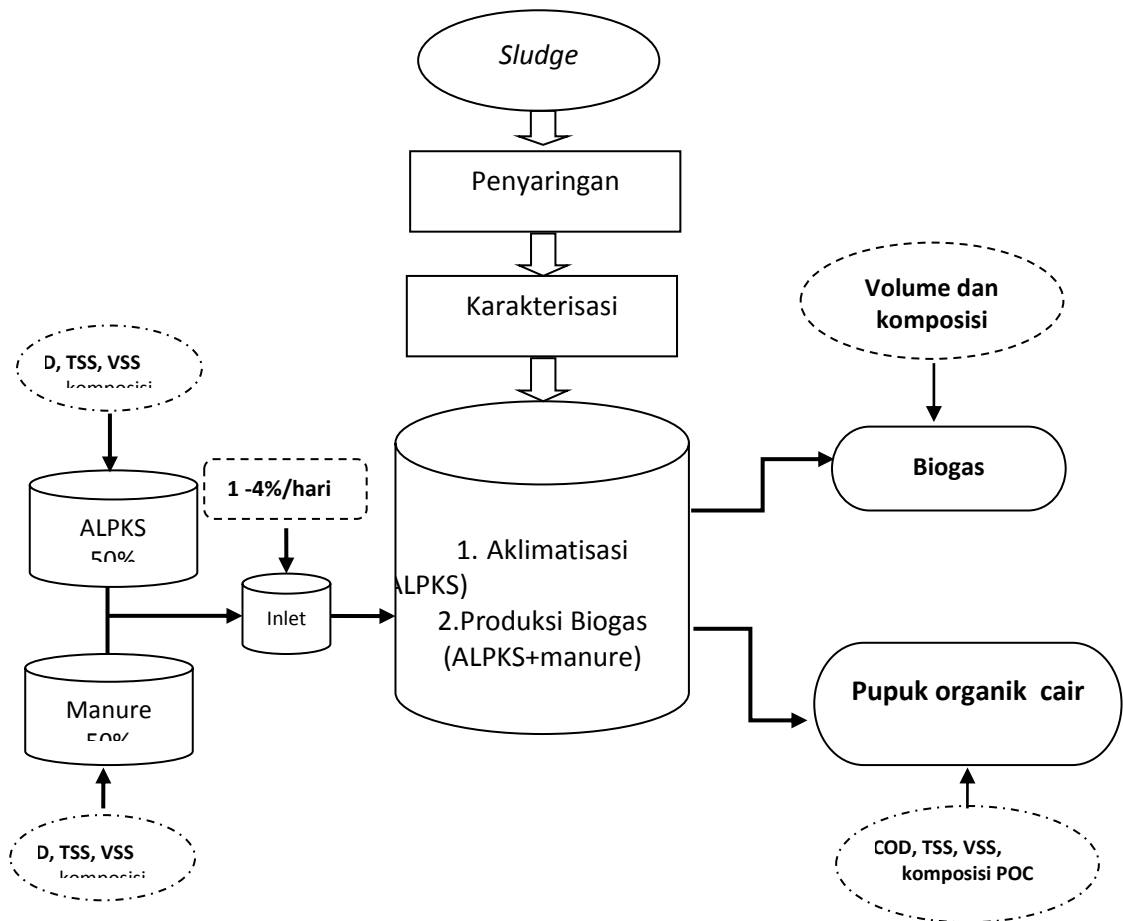
Proses aklimatisasi dilakukan dengan memasukkan 50 liter *sludge* kedalam 3 buah bioreaktor CSTR. Substrat yang dimasukkan dalam bioreaktor pada tahap aklimatisasi adalah Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit (ALPKS). Pemberian substrat sebagai umpan dilakukan dengan memasukkan ALPKS kedalam masing-masing bioreaktor sebanyak 1 % (0,5 Liter) dari kapasitas bioreaktor 50 Liter. Sebelum ALPKS dimasukkan kedalam bioreaktor, volume *sludge* dalam bioreaktor dikurangi sebanyak 1% (0,5 liter) untuk menjaga volume bioreaktor stabil. Proses aklimatisasi dilakukan sampai diperoleh produksi biogas dan pH outlet dari bioreaktor stabil. Parameter yang diamati pada tahapan aklimatisasi antara lain pH, volume biogas, COD, TSS dan VSS.

### 3.3.3 Produksi Biogas

Setelah proses aklimatisasi selesai tahap selanjutnya adalah proses produksi biogas. Tahapan produksi biogas dalam penelitian ini dilakukan dengan 4 perlakuan dan tiga kali ulangan. Perlakuan yang diujikan adalah *Loading Rate* atau laju pembebanan yang diberikan pada bioreaktor dengan taraf perlakuan 1% (0,5 L/hari), 2% ( 1,0 L/hari), 3% (1,5 L/hari) dan 4% (2,0 L/hari).

Substrat yang digunakan pada penelitian ini adalah campuran antara Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (ALPKS) dengan kotoran sapi dengan perbandingan 1:1. Kotoran sapi yang akan digunakan terlebih dahulu

diencerkan dengan menambahkan air sebanyak 750 ml kedalam 1 Kg kotoran sapi, lalu diaduk sampai tercampur merata dan disaring untuk menghilangkan kotoran/serat yang ada. *Kotoran sapi* yang sudah disaring dicampur ALPKS dengan perbandingan 1:1. Secara keseluruhan skema penelitian pada tahap aklimatisasi dan produksi biogas dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3. Rancangan penelitian**

Pengamatan yang dilakukan selama penelitian antara lain, pH, volume biogas, komposisi biogas, *Total Suspended Solid* (TSS), *Volatil Suspended Solid* (VSS), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan kandungan unsur hara pupuk cair.

**a. pH**

Pengamatan pH dilakukan dengan menggunakan pH meter dan dilakukan terhadap substrat yang akan dimasukkan kedalam biorektor dan *effluent* yang keluar dari bioreaktor. Pengukuran dilakukan dengan cara memasukkan pH meter kedalam sampel sludge sambil diaduk-aduk. Hasil pengukuran pH meter dicatat setelah pembacaan alat pada pH meter berhenti bergerak (DKK-TOA Corporation, 2004).

**b. Volume biogas yang dihasilkan**

Pengukuran volume biogas dilakukan setiap hari pada masing-masing perlakuan dengan menggunakan gas flow meter. Hasil yang ditunjukkan oleh gas flow meter dicatat dan volume gas yang dihasilkan adalah hasil pengurangan angka yang terbaca pada *gas flow meter* hari ini dikurangi dengan angka yang terbaca pada hari sebelumnya (Shinagawa Corporation, 2006).

**c. Komposisi Biogas**

Pengujian komposisi biogas dilakukan dengan cara mengukur biogas yang dihasilkan pada masing-masing perlakuan yang telah ditampung kedalam *gas bag sampler* kemudian diukur dengan menggunakan *Gas Chromatography* (GC) untuk mengetahui jenis gas dan konsentrasi gas yang dihasilkan pada saat penelitian (Shimadzu Corporation, 2004).

Alat ini akan mendeteksi komponen gas-gas berupa metana, karbondioksida, dan nitrogen serta menampilkannya dalam bentuk grafik persentase volume gas. Alat kromatografi gas terdiri dari pencadangan gas pembawa (*syringe*), lubang penyuntikan gas, kolom pemisah zat, alat detektor dan alat pencatat. Kolom pemisah zat yang digunakan adalah jenis kolom *zink carbon*, sedangkan detektor yang digunakan berjenis TCD atau *Thermal Conductivity Detector*. Pertamata biogas diambil menggunakan *syringe* dari *sample bag* yang diisi sampel biogas dari masing-masing reaktor sebanyak 0,5 ml. Lalu gas diinjeksikan melalui lubang untuk dipanaskan dan dipisahkan zat-zatnya di daerah kolom pemisah zat.

**d. *Chemical Oxygen Demand (COD)***

Pengukuran kadar COD pada sample dilakukan dengan menggunakan *spektrofotometer* HACH DR4000 sinar tampak (400 nm - 700 nm). Senyawa organik dan anorganik, terutama organik dalam contoh uji dioksidasi oleh  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  dalam refluks tertutup menghasilkan  $\text{Cr}^{3+}$ . Jumlah oksidan yang dibutuhkan dinyatakan dalam ekuivalen oksigen ( $\text{O}_2$  mg/l) diukur secara spektrofotometri sinar tampak.  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  kuat mengabsorpsi pada panjang gelombang 420 nm dan  $\text{Cr}^{3+}$  kuat mengabsorpsi pada panjang gelombang 620 nm.

**e. *Total Solid Solvent (TSS) dan Total Volatil Solvent (TVS)***

Pengukuran TSS dan VSS dilakukan dengan metode gravimetri, Sebanyak 50 ml sampel dimasukkan ke dalam tabung sentrifius

kemudian disentrifius dengan kondisi pengoperasian sentrifius pada putaran 300 rpm selama 15-20 menit.

Endapan yang terbentuk dari hasil sentrifius dimasukkan ke dalam cawan porselin yang telah diketahui berat keringnya, kemudian cawan + sampel dimasukkan ke dalam elektrik oven pada suhu 105°C selama 2 jam. Setelah 2 jam cawan sampel dimasukkan ke dalam desikator sekitar 30 menit atau sampai suhu ruang kemudian ditimbang.

Selisih berat cawan + sampel setelah dioven pada 105°C selama 2 jam dengan berat kering cawan kosong dibagi volume sampel yang disentrifius dalam liter adalah TSS (APHA, 1998).

$$\text{TSS} = \frac{\text{Berat cawan setelah dioven (g) - berat kering cawan (g)}}{\text{volume sampel yang disentrifius (L)}}$$

Kemudian cawan + sampel yang telah dioven 105°C dan ditimbang pada analisis TSS dimasukkan ke dalam *electrical furnace* pada temperatur 600°C selama 40 menit, setelah 40 menit biarkan cawan + sampel dalam *furnace* hingga suhu dalam *furnace* turun sampai 60°C cawan dimasukkan ke dalam desikator selama 30 menit atau sampai suhu ruang dan setelah itu ditimbang. Selisih berat cawan + sampel setelah dioven pada 105°C selama 2 jam dengan cawan + sampel setelah ditanur pada 600°C dan dibagi dengan volume sampel yang disentrifius dalam liter merupakan nilai VSS (APHA, 1998).

$$VSS = \frac{\text{Berat cawan setelah dioven (g) - Berat cawan setelah di tanur(g)}}{\text{volume sampel yang disentrifius (L)}}$$

**f. Kandungan pupuk Cair**

Kandungan unsur hara yang terkandung dalam air keluaran bioreaktor dianalisa kandungannya dengan menggunakan metode SNI. Dilakukan dengan mengukur kandungan nutrisi yang ada pada keluaran dari bioreaktor yaitu dengan mengukur kandungan N, P dan K yang terdapat dalam pupuk cair hasil fermentasi campuran ALPKS dan kotoran sapi.

**g. Analisis potensi biogas dan energi yang dihasilkan**

Perhitungan potensi biogas dan energi yang akan dihasilkan didasarkan pada hasil kesimpulan penelitian produksi biogas yang telah dilakukan, yaitu perlakuan yang paling optimal dalam menghasilkan biogas dan pupuk cair. Menurut Rahayu dkk 2015 dalam Buku Panduan Konversi POME menjadi Biogas yang diterbitkan oleh *winrock International*, perhitungan potensi biogas dan potensi pembangkit energi yang dihasilkan dilakukan dengan menggunakan nilai beberapa parameter, antara lain:

1. Jam operasional pabrik kelapa sawit (jam/hari) yaitu rata-rata jumlah jam operasional pabrik dalam sehari.
2. Hari operasioanal pabrik (hari/tahun), yaitu rata-rata jumlah hari pabrik beroperasi dalam setahun.



3. Jumlah buah sawit yang diolah (ton TBS/tahun) yaitu jumlah tandan buah segar (TBS) yang diproses dalam satu tahun.
4. Rasio air limbah pabrik kelapa sawit (ALPKS) terhadap TBS yang diolah ( $\text{m}^3/\text{ton TBS}$ ), yaitu rasio volume ALPKS yang dihasilkan per ton TBS yang diolah.
5. Nilai *Chemical oxygen Demand* (COD) substrat bioreaktor yang dianalisa dengan spektrofotometer.
6. Efisiensi COD *removal*(%) yaitu persentase COD yang bisa dirubah menjadi gas metan.
7. Rasio konversi  $\text{CH}_4$  terhadap COD ( $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{Kg COD removal}$ ) yaitu volume gas metan yang dihasilkan per Kg COD yang dihilangkan dari substrat.
8. Nilai energi metan  $\text{CH}_{4,\text{ef}}$  ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ ) yaitu jumlah potensi energi yang dikandung gas metan, nilainya adalah 35,7.
9. Rata-rata efisiensi kelistrikan/ $\text{Gen}_{\text{eff}}$  (%) yaitu efisiensi *gas engine* dalam mengkonversi nilai energimetan menjadi energi listrik. Nilainya berkisar antara 35 – 42.

#### **h. Perhitungan pengurangan Emisi gas rumah kaca (GRK)**

Pemanfaatan biogas menjadi pembangkit listrik merupakan salah satu alternatif dalam rangka mengganti atau mensubstitusi pembangkit listrik tenaga fosil. Air limbah pabrik kelapa sawi (ALPKS) yang diolah menggunakan instalasi pengolahan limbah dengan sistem pengolahan kolam terbuka dalam waktu tertentu akan melepaskan gas  $\text{CH}_4$  ke udara akibat proses fermentasi alami, begitu juga dengan pembuangan kotoran

sapi. CH<sub>4</sub> termasuk salah satu penghasil gas rumah kaca selain CO<sub>2</sub>. CH<sub>4</sub> mempunyai sifat polutan 21 kali lipat jika dibandingkan dengan CO<sub>2</sub>. Berdasarkan hal tersebut pemanfaatan ALPKS dan kotoran sapi sebagai bahan baku biogas mempunyai kontribusi dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Besarnya pengurangan emisi gas rumah kaca dihitung dari jumlah gas metan yang berhasil diproduksi dan dibakar sebagai bahan baku pembangkit listrik, lalu dikonversikan ke gas CO<sub>2</sub> dan dikalikan dengan GWPI (*Global warming Potensial Index*) CH<sub>4</sub>. Nilai GWPI CH<sub>4</sub> adalah 21.

Perhitungan pengurangan emisi akibat pemanfaatan gas metan yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

- Menghitung besarnya gas metan (CH<sub>4</sub>) yang dihasilkan dari instalasi biogas.
- Jumlah gas metan (m<sup>3</sup>) = Volume gas metan yang dihasilkan
- Menghitung besarnya gas metan (CH<sub>4</sub>) dalam satuan Kg gas.
- Jumlah gas metan (Kg) = Jumlah gas metan (m<sup>3</sup>) x massa jenis gas
- Menghitung gas metan (CH<sub>4</sub>) yang dikonversi menjadi CO<sub>2</sub>
- Emisi CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>) = jumlah gas metan (Kg) x GWPI

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

1. Laju pembebanan 1,0 L/hari merupakan laju pembebanan yang paling optimal menghasilkan gas metan dibandingkan dengan laju pembebanan yang lain, Hal ini ditandai dengan nilai COD *removal* dan nilai konversi COD menjadi metan tertinggi yaitu COD *removal* 77, 54% dan nilai konversi COD *removal* menjadi gas metan mencapai 0,322 L CH<sub>4</sub>/gr COD *removal*.
2. Kandungan unsur hara pupuk organik cair yang paling baik terdapat pada laju pembebanan 1,0 L/hari yaitu kandungan Nitrogen (amonia) 0,111 %, Phospat 0,221 % dan K<sub>2</sub>O 0,0592 %. Potensi pupuk NPK yang dihasilkan adalah Nitrogen 559,44 ton/tahun, Phospat 1.113,84 ton/tahun dan K<sub>2</sub>O 298,37 ton/tahun. Atau setara dengan 1,55 kg Nitrogen/ton TBS, 3,09 kg Phospat/ton TBS dan 0,83 kg K<sub>2</sub>O/ton TBS.
3. Potensi energi yang bisa dihasilkan dari pemanfaatan Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit (ALPKS) dan kotoran sapi yang diolah menjadi biogas sebesar 707,54 GJ/hari.
4. Emisi gas rumah kaca yang bisa dikurangi akibat pengolahan Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit (ALPKS) dan kotoran sapi adalah sebesar 297,29 ton CO<sub>2</sub> eq/hari.

## **5.2 Saran**

1. Perlu dilakukann kajian tentang aplikasi penggunaan Pupuk Organik Cair (POC) yang dihasilkan dari produk sampingan fermentasi campuran ALPKS dengan kotoran sapi untuk tanaman sawit dan tanaman lainnya.
2. Perlu dilakukan kajianekonomi terhadap produksi biogas dan pupuk organik cair, sehingga akan didapatkan informasi yang akurat tentang keuntungan yang akan diperoleh perusahaan secara finansial.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdulgani, I. K., 1988. *Seluk Beluk Kotoran Sapi serta Manfaat Praktisnya*. Fakultas Peternakan, Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Ahmad, A. L., Ismail, S. & S. Bhatia. 2005. Water Recycling from Palm Oil Mill Effluent using Membrane Technology. *Desalination* 157:87-95.
- Ahmad A., Bahrudin, S.Z. Amraini dan D. Andrio. 2012. Uji Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob dalam mengolah Limbah cair Pabrik Kelapa Sawit dengan beban kejut. Prosiding Seminar Nasional dan Kongres MAKSI 2012. MAKSI-IPB. Bogor
- Aminah, T.S. 2011. *Potensi Hasil Samping Produksi Biogas Dari Limbah Cair Kelapa Sawit Dengan Penambahan Aktivator Kotoran Sapi Poton Sebagai Pupuk Organik*. Departemen Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Apriani, I. 2009. *Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit Sebagai Energi Alternatif Terbarukan (Biogas)*. Tesis. Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Barnett, A., L. Pyle, & S.K. Subramanian. 1978. *Biogas Technology in the 3th World: A Multidisciplinary Review*. Ottawa, Canada.
- Bernal M. P., C. F'aredes, M. A. Sbnchez-Monedero & J. Cegarra. 1998. *Maturity And St, Bility Parameters Of Composts Prepared With A, Wide Range Of Organik Wastes..* Bioresourch Technology 63 (1998). Great Britain.
- Chan, Y.J., M.F. Chong and C.L. Law, 2011. *Start-up, steady state performance and kinetic evaluation of a thermophilic integrated anaerobic-aerobic bioreactor (IAAB)*. Bioresource Technology Volume 125, December 2012, Pages 145-157
- Deublein, D., & A. Steinhauser. 2008. *Biogas from Waste and Renewable Resource*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Foth, H.D., 1988. *Dasar – Dasar Ilmu Tanah*. Diterjemah E.D. Purbayanti. Gadjah Mada University Press. Jakarta

- Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI)/ *Indonesian Oil Palm Associated*. 2018. *Indonesian Palm Oil Statistik Data 2017*, Jakarta.
- Gaur, A. C. 1983. *A Manual of Rural Composting*. Project Field Document No. 15 FAO, Rome. Gaur, A. C. 1983. *A Manual of Rural Composting*. Project Field Document No. 15 FAO, Rome.
- Gerardi M.H. 2003. *The Microbiology of Anaerobic digesters, Waste water microbiology series*. Wiley Interscience A John Wiley and Sons, Inc Publication. USA.
- Gunawan, A. dan Y. Surdiyanto. 2001. *Pembuatan Kompos dengan Bahan Baku Kotoran Sapi*. Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Peternakan. 24: 12-17.
- Grady, C. P. L., G. T. Daigger, & H. C. Lim. 1999. *Biological Wastewater Treatment. 2nd ed*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Haandel A.C. Dan Lubbe J.G.M. 2012. *Handbook Of Biological Waste Water Treatment Design And Optimisation Of Activated Sludge System Second Edition*. London.
- Haga, K. 1999. Development of composting Technology in animal waste treatment. J. Anim. Sci. National institute of animal industry. Tsukuba. Ibakari. 12:604-606.
- Hambali, E., S. Mujdalipah, A. H. Tambunan, & A. W. Patiwiri. 2007. *Pengantar Teknologi Bioenergi*. Lembaga Penelitian dan Pemberdayaan Masyarakat, Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Hardjo S. 1989. *Biokonversi Pemanfaatan Limbah Industri Pertanian*. Bogor: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Direktorat jendral Pendidikan Tinggi Pusat.
- Hardjowigeno S. 1995. *Ilmu Tanah*. Akademika Pressindo. Jakarta.
- Hardjowigeno S. 2003. *Ilmu Tanah*. Akedemika Pressindo. Jakarta. 288 hlm.
- Hasanudin, U. 1993. *Pengolahan limbah cair pabrik minyak kelapa sawit dengan bioreaktor ungun fluidisasi anaerobik dua tahap*. Tesis. Program Studi Teknik Kimia, Program Pasca Sarjana. ITB. Bandung.
- Hasanudin, U. Suroso, E. Risfaheri dan Misgiyarta. 2007. *Optimasi Fermentasi Air Limbah Tapioka sebagai sumber biogas*. Laporan Hasil Penelitian. Universitas Lampung
- Hong-yan Z., Jie L.I., Jing-jing L., Yu-cai L., Xiao-fen W., and Zong-jun C. 2013. *Microbial Community Dynamics During Biogas Slurry and Cow Manure Compost*. Journal of Integrative Agriculture, 12:1087-1097

- Ismawati, E. 2003. *Pupuk Organik*. Penebar Swadaya. Jakarta
- Jini, A. G. M. 2006. *Treatment of Modified UASB for Palm Oil Mill Effluent. Faculty or Civil Engeering*. Universiti Teknologi Malaysia.
- Kaparaju Prasad., Serrano Maria.,Thomsen anne Belinda., Kongjan Prawit., Angelidaki irini. 2015. *Bioetanol, Biohydrogen and Biogas production from wheat straw in biorefinery concept*. Elsevier Bioresource Tecnology. Hal 2562 -2568.
- Khaerunnisa Gita dan Rahmawati Ika. 2013. *Pengaruh pH dan rasio COD:N terhadap produksi dengan ahhan baku Limbah industri alkohol (Vinase)*. Jurnnal Tekologi Kimia da Industri, Vol 2, nno 3, 1 1-7 Universitas Diponegoro. Semarang.
- Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2014. *Peraturan Menteri Lingkungan hidup Nomor 05/PermenLH/ /2014 Tentang Baku mutu air limbah*. Kementerian lingkungan hidup Republik Indonesia. Jakarta.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 2011. *Peraturan Menteri Pertanian Nomor 70/Permentan/Sr.140/10/2011 Tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati Dan Pembengah Tanah*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia. Jakarta.
- Khemkhao M, Nuntakumjorn B, Techkarnjanaruk S, and Phalakornkule C. 2012. *UASB performance and microbial adaptation during a transition from mesophilic to thermophilic treatment of palm oil mill effluent*. Journal of Environmental Management. 103: 74-82.
- KusriniEny, LukitaMaya, Gozan Misri, Susanto Bambang Heru, Widodo Teguh Wikan, Nasution Dedy Alharis, Wu Shella, Rahman Arif,Siregar YusrainiDian Inayati. 2015. *Biogas from Palm Oil Mill Effluent: Characterization and Removal of CO2 using Modified Clinoptilolite Zeolites in a Fixed-Bed Column*.International Journal of Technology. Vol 7, No 4 (2016).
- Li X, Li L, Zeng M, Fu G, dan Lar JS. 2009. *Anaerobic Co-Digestion of Cattle manurewith corn stover preteared by sodium Hydroxide for efficient Biogas Production*. Energy and fuel, 23 (9), pp 4635 -4639.
- Mahajoeno E, Lay BW, Sutjahjo SH, Siswanto. 2008. *Potensi Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit untuk Produksi Biogas*. Biodiversitas. 9:48-52
- Mulyani, M. S. 1994. *Pupuk dan Cara Pemupukan*. PT. Rineka Cipta, Jakarta.
- Murbandono, L. H. 2002. *Membuat Kompos*. PT. Penebar Swadaya, Jakarta.

- Nasir I.M., Mohd G., Omar R., dan Idris A. 2013. *Palm Oil Mill Effluent As an additive with cattle manure in Biogas Production*. International conference on advance science an contemporary engineering 2012. Universiti Putra Malaysia.
- Nasution, M.A. 2012. *Pengolahan LCPKS keluaran Fat pit, Kolam Anaerobik dan Reaktor Biogas dengan Elektrokoagulasi*. Bogor. Prosiding InSINas 2012.
- Price dan Cheremisinoff. 1981. *Encyclopedia of Chemical Processing and Design, Vol.1*. New York.
- Polprasert, C. 1980. *Organik Waste Recycling*. John Willey and Sons, Chicester
- Rahardjo PN,. 2009. Studi Banding Teknologi Pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 10:9-18.
- Rahayu Sri Ade, Dhiah Karsiwulan, Hari Yuwono, Ira Trisnawati, Shinta Mulyasari, S Raharjo, Sutato Hokermin dan Vidia Paramita. 2015. *Buku Panduan Konversi POME Menjadi Biogas Pengembangan Proyek di Indonesia*. Winrock International.
- Romli, M. 2010. *Teknologi Penanganan Limbah Anaerobik*. TML Publikasi, Bogor.
- Sa'id, E. G. 1994. *Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Industri Kelapa Sawit*. Badan Kerjasama Pusat Studi Lingkungan.
- Sahidu, S. 1983. *Kotoran Ternak Sebagai Sumber Biogas*. Dewaruci, Jakarta
- Sakinah, Abu Bakar Tawali,. Musrizal Muin. 2012. *Pengaruh Konsentrasi Biostarter Kotoran Sapi Dan Kotoran Ayam Pada Produksi Biogas Dengan Menggunakan Limbah Jerami Padi*. Universitas Hasanuddin. Makasar.
- Sarono. 2013. *Strategi Pengurangan Gas Rumah Kaca Melalui Konversi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit menjadi energi listrik (Studi kasus di Lampung)*. Disertasi. IPB. Bogor.
- Siahaan D, Panjaitan FR, dan Purba A. 2013. *Integrasi Sawit Sapi Energi (Isse): Studi Kasus Kebun Bukit Sentang Di Langkat Sumatera Utara*. Prosiding Seminar Nasional dan Kongres MAKSI 2013. Bogor, 25September.
- Supriyanto. 2016. *Produksi Biogas dari Campuran Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dan Kotoran Sapi Menggunakan Bioreaktor CSTR*. Tesis. Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Bandar Lampung.



- Suzuki, K., Takeshi, W. & Vo Lam. 2001. *Consentration and cristalization of phosphate, ammonium and minerals in the effluent of bio-gas digester in the Mekong Deltha, Vietnam*. Jircan and Cantho University, Cantho Vietnam. Japan Agriculture Research Quarter 32 (4), 271-276.
- Stafford, D. A., D. L. Hawkes, & R. Horton. 1980. *Methane Production from Waste Organic Matter*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
- Tobing, P. L. & Darnoko. 1992. *Penetapan kualitas limbah cair pabrik minyak sawit dengan metode pengujian sederhana*. Berita Penelitian Perkebunan 2(3) : 145- 150.
- Tong SL. 2011. Recent Development On Pslm Oil Mill Residues Biogas Recovery and utilization. International conference and exhibition of palm oil. Jakarta, 11-13 may.
- Wahyuni Sri. 2013. *Panduan Praktis Biogas*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Wang J, Mahmood Qaisar, Ping Jiang Qiu, Li Yin-Sheng, Chang Yoon-Seong, and Li Xu-Dong. 2015. Anaerobic Treatment of Palm Oil Mill Effluent in Pilot-Scale Anaerobic EGSB Reactor. BioMed Research International Volume 2015 (2015), Article ID 398028, 7 pages.
- Wu TY. Mohammad AW, Jahim, N Anuar. 2010. Polution control technologies for the treatment of palm oil mill effluent (POME) trough end-of pipe processes. Journal of environ-mental Management. 9:1467-1490.
- Yuliasari R dkk.. 2001. *Pengelolaan Limbah Cair Kelapa Sawit dengan Reaktor Anaerobik Unggun Tetap Tipe Aliran ke bawah*. Bogor:Warta PPKS
- Zhang, Y., Yan L., Chi L., Long X., Mei Z., & Zhang Z. 2008. *Startup and operation of anaerobic EGSB reactor treating palm oil effluent*. Journal of Environmental Science. 20: 658-663.