

**KAJIAN POTENSI ENERGI DAN REDUKSI EMISI GAS RUMAH KACA
DARI PENGOLAHAN AIR LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT DAN
KOTORAN SAPI PADA INTEGRASI KELAPA SAWIT-SAPI**

(Skripsi)

Oleh

RANI ANGGRAINI



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

ABSTRACT

STUDY OF ENERGY POTENTIAL AND GREEN HOUSE GASSES EMISSION REDUCTION FROM PROCESSING OF PALM OIL MILL EFFLUENT AND COW DUNG IN PALM-COW INTEGRATION

By

RANI ANGGRAINI

Palm oil plantations are potentially be integrated with the livestock. Palm-cow integration can be a source of energy and reduce green house gasses (GHG) emission. Through of palm-cow integration, palm oil mill effluent (POME) and cow dung can be used as materials for biogas production. Whereas by-product of palm oil plantations and factories can be utilized as feed of cows. The aims of this research were to find out the energy potential and GHG emission reduction from treatment process of palm oil mill effluent (POME) and cow dung. This research was done by experimental methods and calculating based on global emission factors. This research was done by using Continuous Stirred-Tank Reactor (CSTR) capacity 50 L with 3% loading rate (1.5 L/day) of the volume capacity. Substrate or feed consists of 50% POME and 50% cow dung. The results of laboratory scale calculations used to make design of factory scale with a capacity production of 60 tonnes FFB/hour.

The results of this research showed that POME and cow dung treatment process had energy potential of 129.37 kWh/m³ of POME+cow dung or equivalent with electric energy of 45.28 kWh/m³ of POME+cow dung and had GHG emission reduction potential of 194.60 kg CO₂e/ m³ of POME+cow dung. Whereas treatment process of POME and cow dung into biogas in the palm oil factory with capacity production of 60 tonnes FFB/hour could increase energy and reduce GHG emission for 41.96 %. Energy produced about 217,348.53 kWh/day or equivalent with electric energy of 76,071.99 kWh/day and produce potential GHG emissions reductions of 326,930.94 GRK kg CO₂e/day.

Key words : cow dung, energy potential, GHG emission, POME

ABSTRAK

KAJIAN POTENSI ENERGI DAN REDUKSI EMISI GAS RUMAH KACA DARI PENGOLAHAN AIR LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT DAN KOTORAN SAPI PADA INTEGRASI KELAPA SAWIT-SAPI

Oleh

RANI ANGGRAINI

Perkebunan kelapa sawit berpotensi untuk diintegrasikan dengan budidaya ternak sapi. Integrasi sawit-sapi dapat menjadi sumber energi dan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK). Melalui pola integrasi sawit-sapi, air limbah pabrik kelapa sawit dan kotoran sapi dapat dimanfaatkan sebagai bahan produksi biogas. Sedangkan produk samping perkebunan dan pabrik kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai pakan sapi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi energi dan reduksi emisi GRK dari pengolahan campuran air limbah pabrik kelapa sawit (ALPKS) dan kotoran sapi. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental dan perhitungan berdasarkan faktor-faktor emisi yang telah disepakati secara global. Penelitian dilakukan dengan menggunakan *Continuous Stirred-Tank Reactor* (CSTR) kapasitas 50 L dengan laju pembebanan 3% (1,5 L/hari) dari volume kapasitas. Substrat atau *feed* yang ditambahkan terdiri dari 50 % ALPKS dan 50% kotoran sapi. Hasil perhitungan skala laboratorium digunakan untuk membuat model rancangan skala pabrik dengan kapasitas produksi 60 ton TBS/jam.

Hasil penelitian skala laboratorium menunjukkan bahwa pengolahan campuran air limbah pabrik kelapa sawit dan kotoran sapi menghasilkan energi sebesar 129,37 kWh/m³ ALPKS+kotoran sapi atau setara dengan energi listrik sebesar 45,28 kWh/m³ ALPKS+kotoran sapi dan memiliki potensi reduksi emisi GRK sebesar 194,60 kg CO₂e/m³ ALPKS+kotoran sapi. Sedangkan pengolahan campuran ALPKS dan kotoran sapi menjadi biogas di pabrik kelapa sawit dengan kapasitas 60 tonTBS/jam dapat meningkatkan potensi energi dan reduksi emisi GRK hingga 41,96%. Energi yang dihasilkan mencapai 217.348,53 kWh/hari atau setara dengan energi listrik sebesar 76.071,99 kWh/hari serta menghasilkan potensi reduksi emisi GRK sebesar 326.930,94 kg CO₂e/hari.

Kata kunci: emisi GRK, kotoran sapi, ALPKS, potensi energi

**KAJIAN POTENSI ENERGI DAN REDUKSI EMISI GAS RUMAH KACA
DARI PENGOLAHAN AIR LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT DAN
KOTORAN SAPI PADA INTEGRASI KELAPA SAWIT-SAPI**

Oleh

Rani Anggraini

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 : **KAJIAN POTENSI ENERGI DAN REDUKSI EMISI GAS RUMAH KACA DARI PENGOLAHAN AIR LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT DAN KOTORAN SAPI PADA INTEGRASI KELAPA SAWIT-SAPI**

Nama Mahasiswa : **Rani Anggraini**


No. Pokok Mahasiswa : 1314051038

Program Studi : Teknologi Hasil Pertanian

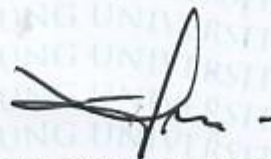
Fakultas : Pertanian




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.** 

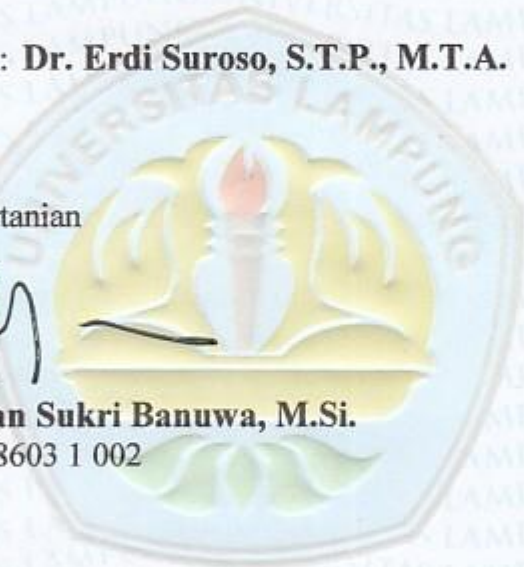
Sekretaris : **Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc.** 

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A.** 

2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP. 19641020198603 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **17 Januari 2018**

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah Rani Anggraini NPM 1314051038

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja saya sendiri yang berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil plagiat karya orang lain.

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

Bandar Lampung, 17 Januari 2018
Yang membuat pernyataan



Rani Anggraini
NPM. 1314051038

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Martapura, Kabupaten Ogan Komering Ulu Timur pada tanggal 16 Agustus 1995, sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Hendri Son dan Ibu Ros Malinda. Penulis mengawali pendidikan Sekolah Dasar di SDN 1 Martapura yang diselesaikan tahun 2007, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Martapura yang diselesaikan tahun 2010, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Martapura yang diselesaikan tahun 2013. Tahun 2013, penulis mendaftarkan diri sebagai mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama berada di bangku perkuliahan, penulis pernah menjadi asisten responsi dan praktikum di beberapa mata kuliah yaitu mata kuliah Rancangan Percobaan pada tahun ajaran 2015/2016 dan 2016/2017, mata kuliah Pengolahan Limbah Agroindustri pada tahun ajaran 2016/2017. Pada tahun 2016, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Tematik di Desa Pangkal Mas, Kecamatan Mesuji Timur, Kabupaten Mesuji pada bulan Januari-Maret 2016. Pada tahun yang sama, penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) pada bulan Juli – Agustus di PT. *Great Giant Foods* bagian LOB (*Liquid Organic Biofertilizer*) Plant Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah, Lampung dengan judul

“Kajian Penggunaan Media Pupuk Hayati Cair Sebagai Media Produksi Dekomposer di PT. *Great Giant Foods*”.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi staff Ahli Kementerian Kesejahteraan Mahasiswa dan Masyarakat pada kepengurusan Badan Eksekutif Mahasiswa Universitas Keluarga Besar Mahasiswa Universitas Lampung pada periode 2015/2016.

SANWACANA

Bismillaahirrahmaanirrahiim. Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya lah, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Kajian Potensi Energi dan Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca dari Pengolahan Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit dan Kotoran Sapi pada Program Integrasi Kelapa Sawit-Sapi**”. Selama pelaksanaan penelitian dan penulisan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, dan dorongan baik itu langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

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

nasihat dan dukungan kepada penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini serta terima kasih atas segala arahan, motivasi dan masukan selama penulis duduk di bangku perkuliahan.

5. Bapak Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A, selaku penguji utama yang telah banyak memberikan kritik, saran dan bimbingan terhadap karya skripsi penulis.
6. Seluruh bapak dan Ibu dosen jurusan Teknolgi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, terima kasih telah memberikan ilmu yang bermanfaat dan wawasan kepada penulis selama kuliah.
7. Keluargaku tercinta (Mama, Papa, Mbah, Abang dan Ayuk) yang telah memberikan dukungan, kasih sayang, motivasi, nasehat dan yang selalu menyertai penulis dalam doanya untuk menyelesaikan skripsi, serta terima kasih atas segala waktu yang telah diluangkan untuk mendengarkan keluhan kesahku.
8. Sahabat-sahabatku diperkuliahan : Suci, Siti, Astri, Eka, Amalia Agustin, Hesti, Andika Gilang N., Ridwan Cholik serta teman-teman terbaikku angkatan 2013.
9. Keluarga besar Laboratorium Pengolahan Limbah Agroindustri THP FP Unila : Mas Joko, Mr. Arafat, Pak Agus, Ela, Mba Mawar dan Mba Amel atas bantuan, dukungan, kebersamaan, semangat, canda tawa dan nasehat kepada penulis.

Akhir kata, semoga Allah SWT membalas semua kebaikan dan keikhlasanya, *Jazakumullah khairan katsiran* dan penulis sangat menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, oleh sebab itu penulis sangat mengharapkan kritik dan

saran yang membangun dan semoga skripsi ini dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi para pembaca.

Bandar Lampung, Januari 2018

Rani Anggraini

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR ISTILAH	v
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang dan Masalah.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Kerangka Pemiikiran	4
1.4 Hipotesis	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kelapa Sawit di Indonesia.....	7
2.2 Karakteristik Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit.....	8
2.3 Pengolahan Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit	10
2.4 Program Integrasi Kelapa Sawit dan Sapi	13
2.5 Karakteristik Kotoran Sapi	17
2.6 Mekanisme Pembentukan	19
2.7 Potensi Biogas dari Limbah	25
III. BAHAN DAN METODE	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	30
3.2 Bahan dan Alat.....	30
3.3 Metode Penelitian	30
3.4 Pelaksanaan.....	31
3.5 Pengamatan	32

3.6 Perhitungan	35
IV. PEMBAHASAN	
4.1 Aklimatisasi.....	37
4.2 Potensi Energi dan Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)	42
4.3 Model Pengolahan Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit (ALPKS) Dan Kotoran Sapi Pada Intergrasi Kelapa Sawit-Sapi di Pabrik Kelapa Sawit.....	45
V. SIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Luas areal, produksi dan produktivitas kelapa sawit di Indonesia tahun 2010-2016	7
2. Karakteristik ALPKS	9
3. Baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan industri minyak sawit	10
4. Biomassa pakan dari produk samping tanaman dan olahan kelapa sawit per hektar	14
5. Komposisi kimia lumpur sawit kering yang dikutip dari berbagai sumber pustaka	16
6. Kandungan unsur hara kotoran sapi, kambing, domba dan ayam	19
7. Konversi energi biogas dan penggunaannya	28
8. Hasil karakterisasi <i>sludge</i>	37
9. Karakteristik air limbah pabrik kelapa sawit (ALPKS).....	39
10. Potensi energi dan emisi GRK dari pengolahan ALPKS secara konvensional	43
11. Potensi energi dan emisi GRK dari campuran ALPKS dan kotoran sapi dengan laju pembebanan 3% (1,5 L/hari)	44
12. Biomassa pakan dari produk samping tanaman dan olahan kelapa sawit	46
13. Biomassa pakan yang harus disuplai dari luar	48
14. Perbandingan potensi energi dan emisi GRK dari pengolahan ALPKS dan campuran ALPKS dengan kotoran sapi di pabrik kelapa sawit kapasitas 60 ton TBS/jam	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Instalasi pengolahan air limbah di pabrik kelapa sawit	12
2. Tahap utama pengolahan anaerob	20
3. Skema fermentasi bioreaktor anaerobik	25
4. Diagram proses produksi biogas dari ALPKS dan kotoran sapi.....	32
5. Nilai pH rata-rata pada tahap aklimatisasi	40
6. Rata-rata volume biogas yang dihasilkan pada tahap aklimatisasi	41
7. Model integrasi kelapa sawit-sapi pada industri kelapa sawit kapasitas 60 ton TBS/jam)	45

DAFTAR ISTILAH

No	Kata	Keterangan
1.	ALPKS	Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit
2.	PKS	Pabrik Kelapa Sawit
3.	TKKS	Tandan Kosong Kelapa Sawit
4.	TBS	Tandan Buah Segar
5.	CPO	<i>Crude Palm Oil</i>
6.	GRK	Gas Rumah Kaca
7.	CO ₂ e	<i>Carbon Dioxide Equivalent</i>
8.	COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>
9.	CODr	<i>Removal Chemical Oxygen Demand</i>
10.	TSS	<i>Total Suspended Solid</i>
11.	VSS	<i>Volatile Suspended Solid</i>
12.	BOD	<i>Biological Oxygen Demand</i>
13.	STP	<i>Standard Temperature and Pressure</i>
14.	GWP	<i>Global Warming Potential</i>
15.	EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
16.	IPCC	<i>Intergovernmental Panel On Climate Change</i>

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Masalah

Industri kelapa sawit merupakan salah satu industri penghasil devisa non migas di Indonesia dengan komoditi utama yaitu minyak sawit (*Crude Palm Oil/CPO*). Data dari Ditjen Perkebunan pada tahun 2015 luas areal kelapa sawit di Indonesia mencapai 11,3 juta Ha dengan 1,72 % atau sekitar 194.750 Ha berada di provinsi Lampung. Pabrik sawit tidak hanya menghasilkan CPO sebagai produk utama tetapi juga menghasilkan hasil samping (*by product*) berupa air limbah dan limbah padat. Tahun 2015, produksi minyak kelapa sawit di Indonesia diperkirakan sekitar 31.284.306 ton, dengan air limbah yang dihasilkan pada tahun tersebut mencapai 91,25 juta m³ (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2015).

Menurut Mahajoenoe *et al.*, (2008), setiap ton tandan buah segar (TBS) akan menghasilkan rata-rata 120-200 kg minyak kelapa sawit mentah (CPO), 230-250 kg tandan kosong kelapa sawit (TKKS), 130-150 kg serat/fiber, 60-65 kg cangkang, 55-60 kg kernel, dan 0,7 m³ air limbah. Air limbah yang dihasilkan sangat berpotensi untuk dijadikan biogas karena mengandung bahan organik seperti karbohidrat, lemak, protein serta bahan organik lainnya yang secara agregat dinyatakan dalam COD (*Chemical Oxygen Demand*). Bahan organik tersebut diuraikan oleh mikroba-mikroba pengurai dengan produk akhir berupa

biogas yang tersusun atas gas CH₄, CO₂, N₂ dan H₂S yang memiliki konsentrasi berbeda-beda (Deublein dan Steinhauser, 2008). Nilai COD air limbah rata-rata berkisar antara 15.103 – 65.100 mg/L (Departemen Pertanian, 2006).

Air limbah pabrik kelapa sawit (ALPKS) juga dapat menimbulkan emisi gas rumah kaca (GRK) karena ALPKS yang terurai menjadi biogas mengandung CH₄ dan CO₂ yang merupakan gas pemicu emisi GRK. Menurut Tan *et al.*, (2012), setiap ton CPO akan menghasilkan emisi gas rumah kaca sebesar 971 kg CO₂eq, tetapi jika menggunakan sistem penangkap biogas, maka biogas yang mampu ditangkap sebesar 85 %. Hal ini menunjukkan bahwa sumber utama gas rumah kaca dari pabrik adalah biogas dari ALPKS. Biogas ini merupakan sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif dalam memenuhi kebutuhan energi di pabrik kelapa sawit atau sebagai produk tambahan yang dapat dijual ke pabrik lain. Disamping itu, limbah padat yang dihasilkan dari proses produksi minyak sawit berupa daun sawit, pelepah sawit, lumpur sawit dan bungkil sawit juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber serat/karbohidrat dan protein bagi sapi potong.

Data dari Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan pada tahun 2015 jumlah sapi potong di Indonesia mencapai 15.419.718 ekor dengan 653.537 ekor terdapat di provinsi Lampung. Peternakan sapi potong menghasilkan limbah berupa sisa air pencucian ternak, urin, dan kotoran ternak. Namun, diantara ketiga jenis limbah tersebut, kotoran ternak (feses) merupakan limbah yang berdampak cukup serius bagi lingkungan. Selain menimbulkan bau, perombakan feses sapi potong juga menghasilkan gas CH₄ yang berperan sebagai penyumbang

pemanasan global. Limbah tersebut memiliki nilai BOD dan COD yang cukup tinggi. Metana (CH_4) yang terbentuk dihasilkan melalui perombakan senyawa organik terutama selulosa menjadi biogas. Menurut Sufyandi (2001), kotoran sapi memiliki kandungan selulosa yang tinggi, sehingga sangat cocok sebagai sumber penghasil biogas maupun biostater dalam proses fermentasi, karena kotoran sapi telah mengandung bakteri penghasil gas metan (CH_4) yang terdapat dalam perut hewan ruminansia. Melihat ketersediaan kelapa sawit dan hasil sampingnya yang melimpah di Indonesia, maka tidak salah apabila pemerintah melakukan integrasi sawit-sapi sehingga terjadi keterpaduan antara sektor perkebunan kelapa sawit dan peternakan sapi potong.

Selain penggunaan limbah padat kelapa sawit sebagai pakan ternak, sistem integrasi yang ada dapat diperkuat dengan melakukan pengolahan limbah menjadi biogas. Industri kelapa sawit menghasilkan air limbah kelapa sawit (ALPKS) sedangkan peternakan sapi menghasilkan limbah berupa feses. Melalui program pengintegrasian proses pengolahan limbah industri sawit dan peternakan sapi, diharapkan dapat menghasilkan energi lebih banyak dan menurunkan emisi gas rumah kaca. Air limbah pabrik kelapa sawit (ALPKS) dan limbah kotoran sapi yang dihasilkan dari peternakan sapi dapat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan biogas. Effluent dari proses pembentukan biogas dapat diaplikasikan kembali ke lahan sebagai pupuk cair. Produksi biogas ini dapat menjadi sumber energi tambahan yang dapat dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit (PKS) dan dapat membantu menurunkan emisi gas rumah kaca karena gas metan yang dihasilkan tidak terdispersi ke udara melainkan digunakan sebagai bahan bakar. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar potensi energi dan penurunan

emisi gas rumah kaca (GRK) yang dihasilkan pada pengolahan campuran air limbah kelapa sawit dan kotoran sapi.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menghitung potensi energi dari campuran air limbah pabrik kelapa sawit dan kotoran sapi.
2. Menghitung potensi reduksi emisi gas rumah kaca (GRK) dari campuran air limbah pabrik kelapa sawit dan kotoran sapi.

1.3. Kerangka Pemikiran

Perkebunan kelapa sawit sangat potensial untuk diintegrasikan dengan budidaya ternak sapi. Integrasi sawit-sapi dapat memberikan keuntungan timbal-balik antara kedua komoditi tersebut dan dapat mengurangi dampak negatif bagi lingkungan. Dampak negatif yang ditimbulkan dari aktivitas industri kelapa sawit yaitu meningkatkan emisi gas rumah kaca (GRK) melalui ALPKS yang dihasilkan. Tan *et al.*, (2012) menyatakan, setiap ton CPO akan menghasilkan emisi gas rumah kaca sebesar 971 kg CO₂eq, tetapi jika menggunakan sistem penangkap biogas, maka biogas yang mampu ditangkap sekitar 85 %. Disisi lain, ALPKS sangat berpotensi untuk dijadikan biogas. Paepatung *et al.*, (2006) menyatakan potensi produksi biogas dapat mencapai > 35 kali lipat dari jumlah ALPKS atau 1 m³ ALPKS dapat dikonversi menjadi 38,69 m³ biogas. Kontribusi sapi terhadap perkebunan sawit antara lain adalah penggunaan kotoran dan urine sapi sebagai bahan produksi biogas dan pupuk organik (pupuk padat dan cair).

Menurut Balai Besar Pengembangan Mekanisme Pertanian Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian (2008), menyatakan bahwa dalam setiap 25-30 kg feses sapi, kandungan bahan kering (BK) adalah 20% dan biogas yang dihasilkan adalah 0,023 sampai dengan 0,040 m³/kg BK.

Melalui pola integrasi sawit-sapi, produk samping perkebunan dan industri pengolahan kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai pakan. Selain sumber pakan berasal dari vegetasi yang tumbuh di bawahnya, juga dapat diperoleh dari pelepah dan daun sawit, tandan buah kosong, serta hasil samping industri pengolahan sawit, seperti bungkil inti sawit (BIS) dan lumpur sawit. Menurut Diwyanto *et al.*, (2002) dan Mathius (2003), biomassa pakan dari produk samping tanaman dan olahan kelapa sawit perhektar dapat menghasilkan 658 Kg (BK) daun tanpa lidi, 1640 Kg (BK) pelepah, 2.681 Kg (BK) serat perasan, 1.132 Kg (BK) lumpur sawit, dan 514 Kg (BK) bungkil inti sawit.

Pemanfaatan ALPKS dan kotoran sapi menjadi biogas dapat ditingkatkan dengan mencampurkan kedua substrat tersebut. Supriyanto (2016) menyatakan, penggunaan kotoran sapi terhadap substrat ALPKS dengan perbandingan 1:1 dapat meningkatkan produksi biogas. Produksi biogas mengalami peningkatan pada laju alir 1% hingga 4% dari volume *Continuous Stirred-Tank Reactor* (CSTR) kapasitas 50 L dengan COD removal tertinggi terdapat pada laju alir 1% (0,5L/hari) yaitu mencapai 75,68%. Nilai konversi COD menjadi metana tertinggi, terdapat pada laju alir 2% (1,0 L/hari) atau laju pembebanan 0,9956 kg/m³/hari. Penetapan tersebut didasarkan pada perolehan nilai konversi COD menjadi metana yang paling tinggi yaitu 0,320 L CH₄/gCOD removal pada

kondisi STP (*Standard Temperature and Pressure*) atau 0,362 pada temperatur 35°C.

Penelitian kali ini melakukan perhitungan mengenai potensi energi dan reduksi emisi gas rumah kaca dari campuran air limbah pabrik kelapa sawit (ALPKS) dan kotoran sapi dengan perbandingan substrat 50% ALPKS dan 50% kotoran sapi (Supriyanto, 2016) dengan perlakuan pembebanan 3% (1,5 Liter/hari) dari volume reaktor berkapasitas 50 L.

1.4. Hipotesis

Hipotesis yang diajukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan campuran substrat ALPKS dan kotoran sapi dapat meningkatkan produksi biogas sehingga energi yang diperoleh lebih besar.
2. Pengolahan campuran substrat ALPKS dan kotoran sapi dapat menurunkan emisi gas rumah kaca.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kelapa Sawit di Indonesia

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas hasil pertanian yang berkontribusi tinggi dalam penyediaan kebutuhan pangan dunia. Kelapa sawit sangat berpotensi bagi perekonomian negara karena kelapa sawit banyak digunakan sebagai bahan baku industri pangan untuk dijadikan beberapa produk pangan terutama minyak sayur dan produk-produk turunannya. Kelapa sawit di Indonesia berkembang sangat pesat, hal ini dapat dilihat dari luas areal perkebunan kelapa sawit yang terus meningkat selama beberapa tahun terakhir. Data luas areal, produksi dan produktivitas kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2010-2016 disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Luas areal, produksi dan produktivitas kelapa sawit di Indonesia tahun 2010-2016

Tahun	Luas Panen (juta Ha)	Produksi Kelapa Sawit per tahun (juta ton)	Produktivitas Kelapa Sawit per Ha (ton/Ha)
2010	8,39	21,96	2,62
2011	8,99	23,10	2,57
2012	9,57	26,02	2,72
2013	10,47	27,78	2,65
2014	10,75	29,28	2,72
2015*	11,30	31,28	2,77
2016**	11,67	33,50	2,87

Catatan : *) Angka sementara **) Angka estimasi

Sumber : Direktorat Jenderal Perkebunan, 2015

Di Indonesia kelapa sawit memiliki prospek yang cerah dan memiliki peran yang sangat penting bagi subsektor perkebunan sehingga memacu pemerintah untuk terus mengembangkan perkebunan kelapa sawit. Produksi kelapa sawit yang terus meningkat setiap tahunnya menjadikan Indonesia sebagai pengeksportir CPO terbesar di dunia. Tahun 2015 produksi kelapa sawit di Indonesia mencapai 31.284.306 Kg. Nilai ekspor CPO Indonesia pada tahun 2014 mencapai 24,372 juta ton dan setara dengan US\$ 17.465 juta (Ditjen Perkebunan, 2015). Produksi kelapa sawit yang terus meningkat sangat memberikan manfaat baik bagi petani maupun masyarakat Indonesia.

2.2. Karakteristik Air limbah Pabrik Kelapa Sawit

Air limbah atau Air limbah pabrik kelapa sawit (ALPKS) adalah salah satu produk samping dari pabrik minyak kelapa sawit (PMKS) yang berasal dari kondensat, stasiun klarifikasi, air *hydrocyclone* (*claybath*), dan air pencucian pabrik. ALPKS ini memiliki beban pencemaran yang besar karena mengandung senyawa organik yang tinggi. Apabila senyawa organik yang terkandung didalam ALPKS tidak terdegradasi maka akan menyebabkan pencemaran lingkungan di sekitar pabrik kelapa sawit. ALPKS mengandung berbagai senyawa kompleks seperti karbohidrat, lemak, protein, dan senyawa terlarut termasuk serat-serat pendek, hemiselulosa dan turunannya, asam organik bebas, dan campuran mineral-mineral. Bahan organik tersebut secara agregat dinyatakan dalam COD atau BOD₅ dan tergolong mudah terdegradasi secara biologis baik dalam kondisi aerobik maupun anaerobik (Capps *et al.*, 1995). ALPKS ini umumnya berwarna kecoklatan, mengandung padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid dan

residu minyak dengan BOD dan COD yang tinggi. BOD (*Biochemical oxygen demand*) merupakan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme pengurai untuk memecahkan bahan-bahan organik yang terdapat di dalam air limbah.

Menurut Sasongko (1990), nilai BOD dapat diketahui dengan menginkubasi air limbah selama 5 hari pada suhu 20°C, sehingga disebut dengan BOD₅. Inkubasi yang dilakukan selama 5 hari tersebut hanya dapat mengukur sekitar 68% dari total BOD, sehingga pengujian BOD tidak menunjukkan jumlah keseluruhan bahan-bahan organik yang terdapat pada air limbah. COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendegradasi zat organik secara kimia. Pengoksidasi yang digunakan dalam pengukuran COD yaitu K₂Cr₂O₇ atau KMnO₄. Nilai COD menunjukkan ukuran pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air (Alaerts dan Santika, 1984). Kandungan COD dan BOD pada ALPKS berkisar antara 15.103-65.100 mg/L dan 8.200-35.000 mg/L (Departemen Pertanian, 2006). Karakteristik selengkapnya disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik ALPKS

No.	Parameter Lingkungan	Satuan	Kisaran	Rata-rata
1.	BOD	mg/L	8.200-35.000	21.280
2.	COD	mg/L	15.103-65.100	34.720
3.	TSS	mg/L	1.330-50.700	31.170
4.	Nitrogen Total	mg/L	12-126	41
5.	pH	-	3,3-4,6	4.0
6.	Minyak dan Lemak	mg/L	190-14.720	3.075

Sumber : Departemen Pertanian, 2006

Air limbah pabrik kelapa sawit merupakan nutrien yang kaya akan senyawa organik dan karbon, dekomposisi dari senyawa-senyawa organik oleh bakteri aerob dapat menghasilkan biogas (Deublein dan Steinhauser, 2008). Apabila gas-gas tersebut tidak dikelola dan dibiarkan lepas ke udara bebas maka akan menjadi salah satu penyebab pemanasan global karena gas metana dan karbondioksida yang dilepaskan adalah termasuk kedalam gas rumah kaca yang disebut-sebut sebagai sumber pemanasan global saat ini. Emisi gas metana 21 kali lebih berbahaya dari karbondioksida. Gas metana merupakan sumber penyumbang gas rumah kaca terbesar (Sumirat dan Solehudin, 2009). Maka dari itu sebelum limbah dibuang ke lingkungan dan agar tidak mencemari lingkungan, air limbah pabrik kelapa sawit (ALPKS) harus memenuhi baku mutu yang telah ditentukan oleh Kementerian Lingkungan Hidup. Baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan industri minyak kelapa sawit disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan industri minyak sawit

No	Parameter	Kadar Paling Tinggi (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Tinggi (kg/ton)
1	BOD ₅	100	0,25
2	COD	350	0,88
3	TSS	250	0,63
4	Minyak & Lemak	25	0,0063
5	Nitrogen Total (Sebagian N)	50	0,125
6	pH		6,0-9,0
7	Debit limbah paling tinggi	2,3 m ³ per ton	produk minyak CPO

Sumber : Permen LH No.5 Tahun 2014.

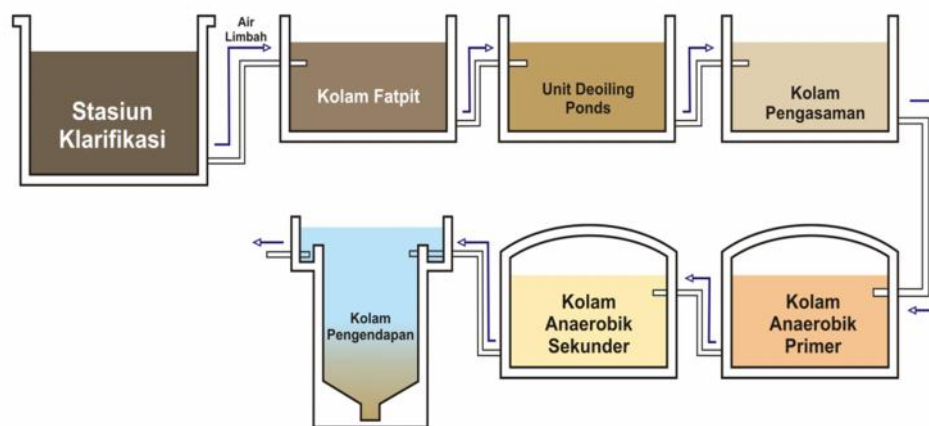
2.3. Pengolahan Air limbah Pabrik Kelapa Sawit

Pengolahan air limbah yang umum diterapkan di pabrik kelapa sawit adalah dengan menggunakan unit pengumpul (*fat pit*) yang kemudian dialirkan ke

deoiling ponds (kolam pengutipan minyak). Fungsi kolam penggumpal yaitu untuk menampung cairan-cairan yang masih mengandung minyak yang berasal dari air kondensat dan stasiun klarifikasi. Sedangkan fungsi deoiling ponds yaitu untuk mengambil kembali minyak yang masih ada pada air limbah pabrik kelapa sawit (ALPKS) serta menurunkan suhunya dari 70-80°C menjadi 40-45°C melalui menara atau bak pendingin. Selanjutnya air limbah tersebut dialirkan kekolam pengasaman, proses pada kolam ini menggunakan mikroba untuk menetralkan keasaman cairan limbah. Pengasaman bertujuan agar air limbah yang mengandung bahan organik lebih mudah mengalami biodegradasi dalam suasana anaerobik. Air limbah dalam kolam ini mengalami asidifikasi yaitu terjadinya kenaikan konsentrasi asam-asam yang mudah menguap. Waktu penahanan hidrolisis air limbah dalam kolam pengasaman ini selama lima hari. Selanjutnya sebelum diolah di unit pengolahan limbah kolam anaerobik, limbah dinetralkan terlebih dahulu dengan menambahkan kapur tohor hingga mencapai pH antara 7,0-7,5.

Proses selanjutnya air limbah dialirkan ke kolam anaerobik primer. Pada proses ini memanfaatkan mikroba dalam suasana anaerobik atau aerobik untuk merombak BOD dan biodegradasi bahan organik menjadi senyawa asam dan gas. Waktu penahanan hidrolisis dalam kolam ini mencapai 40 hari. Setelah 40 hari air limbah tersebut dialirkan menuju kolam anaerobik sekunder. Waktu penahanan hidrolisis limbah dalam kolam ini mencapai 20 hari. Kebutuhan lahan untuk kolam anaerobik primer dan sekunder mencapai 7 hektar untuk pabrik kelapa sawit dengan kapasitas 30 ton tandan buah segar/jam.

Kemudian limbah dialirkan ke kolam pengendapan. Kolam pengendapan ini bertujuan untuk mengendapkan lumpur-lumpur yang terdapat dalam air limbah. Waktu penahanan hidrolisis limbah dalam kolam ini berkisar dua hari. Kolam ini biasanya merupakan pengolahan terakhir sebelum limbah dialirkan ke badan air dan diharapkan pada kolam ini limbah sudah memenuhi standar baku mutu air sungai (Departemen Pertanian, 2006). Teknik pengolahan ini dilakukan karena cukup sederhana dan dianggap murah. Namun teknik ini tidak efektif karena memerlukan lahan pengolahan limbah yang luas dan selain itu emisi gas metana yang dihasilkan dari kolam-kolam tersebut merupakan masalah yang dapat memicu pemanasan global. Instalasi pengolahan air limbah di pabrik kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Instalasi pengolahan air limbah di pabrik kelapa sawit (Departemen Pertanian, 2006).

2.4. Program Integrasi Kelapa sawit dan Sapi

Indonesia memiliki perkebunan kelapa sawit yang sangat potensial dengan luas areal mencapai 11,3 juta hektar untuk diintegrasikan dengan budidaya ternak sapi (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2015). Produk samping industri kelapa sawit (IKS) memiliki biomassa yang sangat besar untuk dijadikan sebagai sumber pakan sapi. Sejak tahun 1990-an, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian telah melakukan penelitian tentang hal tersebut dan disimpulkan bahwa integrasi sawit-sapi dapat meningkatkan produktivitas kelapa sawit, memperbaiki ekosistem lahan perkebunan dan menambah pasokan daging sapi (Mathius, 2008). Terdapat dua cara pendekatan dalam pengembangan model integrasi sawit-sapi agar dapat berjalan dengan baik. Pertama, sinergisme kedua usaha tersebut dalam meningkatkan efisiensi melalui pemanfaatan produk samping IKS bagi usaha sapi. Sebaliknya, kotoran sapi melalui proses pengolahan lebih lanjut dimanfaatkan sebagai sumber energi dan pupuk organik yang dapat meningkatkan produksi tandan buah segar (TBS).

Disamping kualitas bibit serta penanganan dan pencegahan penyakit dalam sistem produksi sapi potong, pakan merupakan komponen utama yang menentukan produktivitas. Kualitas pakan harus dapat memenuhi kebutuhan sapi untuk mencapai produktivitas yang optimal karena, biaya pakan merupakan komponen tertinggi (60-70%) dari seluruh biaya produksi (Tangendjaja, 2009). Oleh sebab itu, pengembangan teknologi produksi banyak diarahkan pada peningkatan efisiensi penggunaan pakan. Yusdja *et al.*, (2003) menyatakan, strategi meningkatkan populasi dan produktivitas sapi potong adalah dengan fokus pada

penerapan berbagai program peternakan pada areal tertentu yang tersedia cukup pakan dengan pengawasan intensif. Perkebunan kelapa sawit dengan luas 11,3 juta hektar adalah kawasan yang memiliki potensi sangat besar sebagai penyedia sumber pakan sapi potong. Hal ini berpeluang dalam mewujudkan program pemerintah dalam meningkatkan populasi sapi potong di dalam negeri melalui program integrasi sawit-sapi.

Bagian tanaman dari kelapa sawit yang dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak terdiri dari pelepah dan daun, sedangkan dari hasil samping proses pengolahan minyak sawit yang dapat dimanfaatkan untuk pakan yaitu lumpur sawit/solid dan bungkil inti sawit (BIS) yang tersedia sekitar 10 ton berat kering (BK)/ha (Mathius, 2008). Biomassa pakan dari hasil samping tanaman dan olahan kelapa sawit disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Biomassa pakan dari produk samping tanaman dan olahan kelapa sawit per hektar

Biomassa	Segar (Kg)	Bahan kering (Kg)
Daun tanpa lidi	1.430	658
Pelepah	6.292	1.640
Tandan kosong	3.680	3.386
Serat perasan	2.880	2.681
Lumpur sawit/solid	4.704	1.132
Bungkil kelapa sawit	560	514
Tottal biomasa	19.546	10.011

Sumber: Diwyanto *et al.* (2002); Mathius (2003)

Tabel 4 menunjukkan bahwa setiap pohon sawit dapat menghasilkan 22 pelepah/tahun dan rata-rata bobot pelepah untuk pakan 2,2 kg/batang sehingga dihasilkan 6,3 ton pelepah segar/ha/tahun atau 1,64 ton BK/ha/tahun. Bobot daun untuk pakan sekitar 0,5 kg/pelepah sehingga diperoleh 0,66 ton BK/ha/tahun (Mathius, 2008). Biomassa pakan yang dihasilkan dari pelepah dan daun sebagai

pakan serat, sedangkan lumpur sawit/solid dengan BIS hasil dari proses pengolahan minyak sawit (*crude palm oil / CPO*) merupakan sumber bahan konsentrat. Satu buah pabrik dapat menghasilkan 20 ton lumpur sawit/solid per hari, dimana secara rinci pengolahan TBS menghasilkan solid basah 5% dan solid kering (*dried decanter solid*) 2%, 5% inti sawit dan 2,3% BIS. Semua bahan pakan konsentrat ini mengandung protein sedang sampai tinggi, disukai ternak dan tersedia sepanjang tahun (Ardila, 2014).

Penggunaan lumpur sawit/solid diberikan maksimal 1,5% berat kering (BK) bahan dari bobot sapi dan menghasilkan penambahan bobot badan harian (PBBH) 0,2-0,3 kg/ekor (Utomo dan Widjaja, 2012). Penggunaan BIS sebesar 2-3% (BK) bahan dari bobot sapi dapat menghasilkan PBBH sebesar 0,8 kg/ekor (Siregar *et al.*, 2006). Solid dan BIS mengandung Cu (*Copper*) yang cukup tinggi sehingga perlu penambahan mineral lain secukupnya. Mathius (2008) menyampaikan bahwa pelepah dan daun jangan diberikan secara tunggal ke sapi, karena dapat menyebabkan kekurangan gizi. Ransum sapi Bali menggunakan pelepah dan daun maksimal mencapai 33% berat kering (BK) ransum dan perlu ditambahkan BIS dan solid untuk meningkatkan kualitas pakan (Wan Zahari *et al.*, 2003). Pemberian campuran limbah kebun dan industri sawit menghasilkan PBBH 0,6-0,8 kg/ekor/hari (Batubara, 2003; Mathius *et al.*, 2005).

Lumpur sawit/solid kering mengandung zat gizi yang hampir sama dengan dedak, akan tetapi bahan ini mengandung serat yang cukup tinggi. Berbagai peneliti sudah melaporkan kandungan gizi lumpur sawit yang sangat bervariasi.

Komposisi kimia dan kandungan gizi lumpur sawit yang dikutip dari berbagai sumber pustaka disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Komposisi kimia lumpur sawit yang dikutip dari berbagai sumber pustaka

Uraian	Kisaran
Bahan kering, %	90
Lemak kasar, %	10,4
Serat kasar, %	11,5-32,9
Energi kasar (GE), Kkal/kg	3315-4470
Energi metabolis (TME), Kkal/ kg	1125-1593
Protein kasar, %	9,6-14,52
Abu, %	9-25

Sumber : Sinurat *et al.* (2000)

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk memanfaatkan lumpur sawit sebagai bahan pakan untuk ternak ruminansia dan non ruminansia. Sutardi (1991) melaporkan penggunaan lumpur sawit untuk menggantikan dedak dalam ransum sapi perah jantan maupun sapi perah laktasi menunjukkan bahwa penggantian semua (100%) dedak dalam konsentrat dengan lumpur sawit memberikan pertumbuhan dan produksi susu yang sama dengan kontrol (ransum tanpa lumpur sawit). Bahkan ada kecenderungan bahwa kadar protein susu yang diberi ransum lumpur sawit lebih tinggi dari kontrol. Menurut Chin (2002), pemberian lumpur sawit yang dicampur dengan bungkil inti sawit dengan perbandingan 50:50 adalah yang terbaik untuk pertumbuhan sapi. Sapi *droughtmaster* yang digembalakan di padang penggembalaan rumput *Brachiaria decumbens* hanya mencapai pertumbuhan 0,25 kg/ekor/hari, tetapi dengan penambahan lumpur sawit yang dicampur dengan bungkil inti sawit, mampu mencapai 0,81 kg/ekor/hari.

Pemanfaatan produk samping tanaman dan olahan kelapa sawit sebagai pakan ternak belum cukup untuk memperkuat program sawit-sapi, aspek lain yang dapat

memperkuat sistem integrasi kedua sektor yaitu dengan melakukan pengolahan limbah yang berasal dari kedua sektor. Selain limbah padat, industri kelapa sawit juga menghasilkan limbah berbentuk cair atau biasa disebut air limbah pabrik kelapa sawit (ALPKS), sedangkan peternakan sapi potong menghasilkan limbah berupa feses. Kedua limbah ini berpotensi untuk dijadikan bahan baku pembuatan energi alternatif, salah satunya adalah biogas.

Program integrasi sawit-sapi memberikan keuntungan bagi kedua sektor. Biogas yang dihasilkan dari pengolahan limbah kedua sektor dapat dimanfaatkan dalam memenuhi kebutuhan energi di pabrik kelapa sawit sehingga dapat memperkecil biaya produksi bagi pabrik kelapa sawit. Selain itu, integrasi sawit-sapi dapat meningkatkan produktivitas kelapa sawit dan memperbaiki ekosistem lahan perkebunan. Sementara itu, keuntungan bagi sektor peternakan sapi melalui program integrasi ini yaitu dapat meningkatkan produktivitas sapi melalui peningkatan kualitas pakan dan meminimalisir biaya pakan serta menambah pasokan daging sapi yang dapat meningkatkan keuntungan bagi peternak sapi.

2.5. Karakteristik Kotoran Sapi

Kotoran sapi adalah biomassa yang mengandung karbohidrat, protein dan lemak. Kotoran ini merupakan bahan baku potensial dalam pembuatan biogas karena mengandung pati dan lignoselulosa (Deublein & Steinhauser., 2008). Drapcho *et al.*, (2008) berpendapat bahwa biomassa yang mengandung karbohidrat tinggi akan menghasilkan gas metana yang rendah dan CO₂ yang tinggi, jika dibandingkan dengan biomassa yang mengandung protein dan lemak dalam jumlah yang tinggi. Secara teori, produksi metana yang dihasilkan dari

karbohidrat, protein, dan lemak berturut-turut adalah 0,37; 1,0; 0,58 m³ CH₄ /kg bahan kering organik. Kotoran sapi memiliki warna yang bervariasi dari kehijauan hingga kehitaman, tergantung pakannya. Umumnya setelah terpapar udara, warna dari kotoran sapi cenderung menjadi gelap.

Jumlah kotoran sapi yang dihasilkan setiap harinya berbeda-beda, tergantung dari berat badan atau bobot sapi. Menurut Riliandi (2010), sapi perah dewasa menghasilkan 25 kg feses perhari. Sama halnya dengan yang diungkapkan oleh Soedono (1990), bahwa sapi laktasi dengan berat 450 kg menghasilkan kurang lebih 25 kg urin dan feses per hari. Potensi satu ekor sapi dengan bobot 450 kg dapat menghasilkan limbah berupa feses dan urin lebih kurang 25 kg/hari. Menurut Balai Besar Pengembangan Mekanisme Pertanian Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian (2008), menyatakan bahwa dalam setiap 25-30 kg feses sapi, kandungan bahan kering (BK) adalah 20% dan biogas yang dihasilkan adalah 0,023 - 0,040 m³/kg BK.

Kotoran sapi mengandung hemiselulosa sebesar 18,6 %, selulosa 25,2 %, lignin 20,2 % dan C/N rasio 6,6-25 % (Windyaswara, 2012). Kandungan unsur hara dalam kotoran sapi bervariasi tergantung pada keadaan tingkat produksinya, jenis, jumlah konsumsi pakan serta individu ternak sendiri (Abdulgani, 1998). Kandungan unsur hara dalam kotoran sapi, terdiri atas nitrogen (0,29%), P₂O₅ (0,17%) dan K₂O (0,35%) (Hardjowigeno, 2003). 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/hari, maka akan dihasilkan limbah

kotoran sapi sebesar 429.896 ton/hari. Dengan potensi 1 kg kotoran sapi menghasilkan minimal 0,023 m³ biogas maka akan menghasilkan biogas 9.887.608 m³ (Wahyuni, 2013). Kandungan unsur hara dalam kotoran sapi bervariasi tergantung pada keadaan tingkat produksinya, jumlah makanan yang dimakannya, serta individu ternak sendiri (Abdulgani, 1998). Kandungan unsur hara dalam kotoran sapi disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Kandungan unsur hara kotoran sapi, kambing, domba dan ayam

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

Sumber: Aini *et al.* (2005)

2.6 Mekanisme Pembentukan Biogas

Prinsip proses pengolahan air limbah secara anaerobik adalah pengolahan air limbah tanpa memanfaatkan oksigen dengan tujuan untuk mendapatkan gas metana (Angelidaki *et al.*, 2003). Kelompok bakteri yang berperan dalam proses pengolahan bahan organik secara biologi anaerob sampai menghasilkan senyawa-senyawa kimia sederhana, dibedakan menjadi tiga macam, yaitu :

1. Kelompok pertama terdiri dari bakteri fermentasi

Bakteri ini berperan dalam proses hidrolisis dan asidogenesis. Proses ini melibatkan peran ekso-enzim untuk menghidrolisis polimer, seperti protein, lemak, dan karbohidrat menjadi senyawa-senyawa organik yang lebih sederhana. Kemudian senyawa-senyawa sederhana tersebut masuk kedalam

sel dan melakukan proses oksidasi-reduksi sehingga menghasilkan asam-asam volatil, karbondioksida, dan hidrogen.

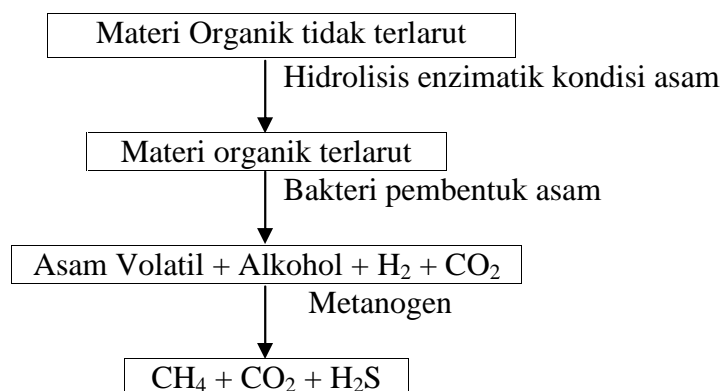
2. Kelompok kedua terdiri dari bakteri asetonik

Bakteri asetonik berperan dalam memecah produk yang dihasilkan pada tahap asidifikasi untuk membentuk asetat, hidrogen, dan karbondioksida.

3. Kelompok ketiga terdiri dari bakteri metanogenik

Bakteri ini berperan dalam konversi asetat atau karbondioksida dan hidrogen menjadi gas metana. Proses pengolahan secara anaerob, substrat metanogenik lain seperti methanol, karbonmonoksida, dan metilamine tidak banyak diperlukan.

Tahapan-tahapan proses anaerob oleh ketiga kelompok bakteri tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahap utama pengolahan anaerob (Shuler dan Kargi, 1992)

Menurut Toerien *et al.* (1970), proses biokimia anaerobik terbagi menjadi empat fase yaitu : hidrolisis, asidogenesis, asetonogenesis, dan metanogenesis.

a. Hidrolisis

Merupakan tahap pemutusan rantai atau pemecahan molekul bahan organik kompleks menjadi lebih sederhana. Pemutusan rantai bertujuan agar bahan organik tersebut lebih mudah diserap dan dicerna oleh bakteri dalam metabolismentya. Menurut Grady dan Lim (1980) senyawa organik yang akan dikonsumsi mengalami pelarutan dan reduksi ukuran molekul untuk memudahkan transpor melalui membran sel. Proses ini didukung oleh enzim-enzim ekstraseluler yang dihasilkan mikroorganisme sebagai katalisator. Contohnya adalah pemecahan karbohidrat, lemak dan protein menjadi molekul-molekul gula, peptida dan asam amino. Molekul hasil hidrolisis akan dimanfaatkan mikroorganisme sebagai sumber karbon dan energi.

b. Asidogenesis

Tahapan pada proses ini terjadi penguraian lebih lanjut dari sebagian materi organik hasil proses hidrolisis menjadi senyawa-senyawa alkohol dan asam-asam volatil seperti metanol, etanol, asam butirat, formiat, propionat dan lain-lain. Proses ini dilakukan oleh bakteri-bakteri pembentuk asam yang bersifat fakultatif. Asam-asam yang dihasilkan pada proses ini akan menurunkan pH sehingga diperlukan kontrol pH agar tidak menghambat pertumbuhan bakteri pembentuk metan yang membutuhkan pH optimal 6,5-8.

c. Asetogenesis

Proses pada tahapan ini, asam-asam volatil, alkohol dan sebagian materi-materi organik hasil proses hidrolisis diubah menjadi asam asetat, asam formiat, H₂ dan CO₂. Tahapan ini penting untuk menghindarkan akumulasi asam lemak

volatil yang menghambat terjadinya tahapan metanogenesis. Gas H₂ dihasilkan oleh bakteri penghasil hidrogen melalui proses hidrogenesa. Bakteri jenis ini dapat menghasilkan asam tetapi tidak semua bakteri penghasil asam dapat menghasilkan gas H₂. Oleh karena itu bakteri jenis ini dimasukkan kedalam jenis bakteri penghasil asam. Bila gas H₂ tidak terbentuk maka fase nonmetanogen menghasilkan sedikit penurunan COD karena tidak semua elektron yang lepas dalam oksidasi senyawa organik diterima akseptor organik dalam media. Sedangkan bila gas H₂ terbentuk penurunan COD akan lebih signifikan.

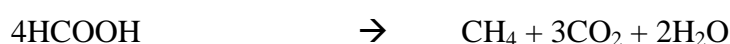
d. Metanogenesis

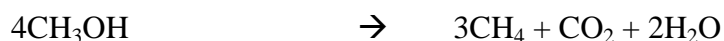
Metanogenesis merupakan tahap terakhir proses anaerob dimana terbentuk metan (CH₄) dan CO₂ sebagai produk akhir. Asam asetat diubah menjadi CH₄ dan CO₂ dan kemudian CO₂ direduksi menjadi CH₄. Keberadaan asam asetat merupakan prekursor dari terbentuknya gas metan (CH₄) di dalam reaktor. Persamaan umum reaksi menurut Droste (1997), adalah sebagai berikut :



Bakteri yang bekerja pada tahap ini adalah bakteri pembentuk metan. Metcalf dan Eddy (1991) menyatakan bahwa bakteri ini hanya dapat menggunakan substrat yang terbatas dalam pembentukan metan. Substrat substrat tersebut adalah CO₂ + H₂, asam format, asam asetat, metanol, metilamina dan CO₂.

Sedangkan reaksi lengkapnya menurut Metcalf dan Eddy (1991), adalah sebagai berikut :





Kecepatan metabolisme bakteri pembentuk metan lebih kecil daripada bakteri pembentuk asam, sehingga produksi metan merupakan tahap *ratelimiting* (reaksi pembatas) dalam penguraian anaerob. Bakteri pembentuk metan juga lebih sensitif terhadap lingkungan dibandingkan bakteri pembentuk asam sehingga kondisi lingkungan perlu terus dikontrol.

Pertumbuhan mikroorganisme anaerobik dipengaruhi oleh faktor – faktor lingkungan. Faktor lingkungan yang berpengaruh antara lain suhu, pH, konsentrasi substrat, dan zat beracun.

a. Suhu

Suhu sangat berpengaruh terhadap pembentukan gas metan, karena bakteri metanogenik dapat bekerja pada suhu optimumnya yaitu kisaran 40–65°C. Suhu harus dijaga konstan sebab pada suhu optimum tersebut bakteri akan menghasilkan enzim dalam jumlah banyak. Bakteri akan mengalami penurunan apabila terjadi kenaikan suhu. Laju produksi gas metan akan naik sebesar 100,0 – 400,0% setiap kenaikan suhu 12,0°C pada suhu yang berkisar antara 40 – 65 °C.

b. Derajat Keasaman

Perubahan pH dalam proses anaerobik sangat mempengaruhi kerja bakteri penghasil gas metan. Nilai pH optimum untuk bakteri penghasil gas metan berkisar antara 6,4 – 7,4. Pengaturan terhadap pH awal proses perlu

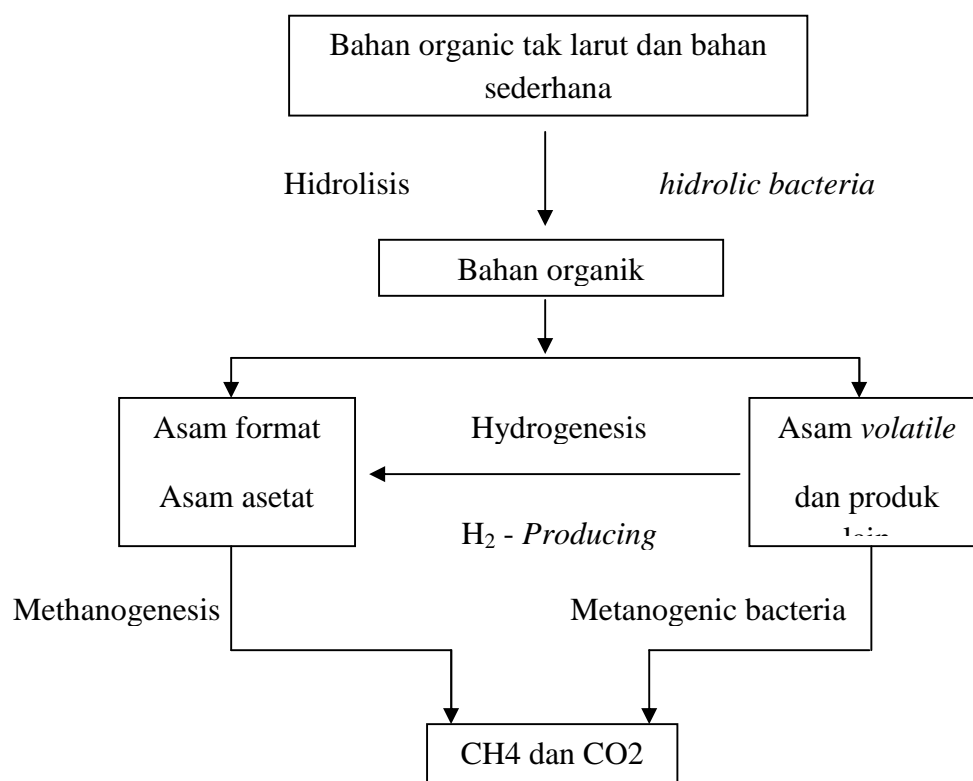
dilakukan sebab bakteri pembentuk gas metana sangat sensitif terhadap pH. Seperti pada tahap pembentukan asam akan mengakibatkan terjadinya penurunan pH. Penurunan yang drastis akan menghambat aktivitas mikroba penghasil gas metana dan untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan dengan penambahan kapur.

c. Konsentrasi substrat

Komponen yang terkandung dalam sel mikroba antara lain Karbon, Nitrogen, Fosfor, dan Sulfur dengan perbandingan 100 : 10 : 1 : 1. Unsur – unsur kimia tersebut harus terdapat dalam sumber makanan (substrat) untuk pertumbuhan mikroorganisme. Kondisi optimum tercapai apabila jumlah mikroba sebanding dengan konsentrasi substrat. Selain itu, air juga berpengaruh terhadap proses kerja mikroba. Kandungan air yang tinggi dapat memudahkan terjadinya proses penguraian homogenitas pada sistem menyebabkan kontak antar mikroba dengan substrat menjadi lebih baik.

d. Bahan Beracun

Bahan beracun dapat berupa kandungan bahan organik maupun anorganik dan dapat bersifat larut maupun membentuk suspensi. Bahan beracun tersebut dapat berupa; logam berat, semakin tinggi valensi, dan semakin berat atomnya maka sifat racun dari logam berat tersebut juga semakin tinggi (Manurung, 2004). Bahan beracun tersebut dapat menghambat pertumbuhan mikroba terutama pada konsentrasi tinggi. Bakteri penghasil metana lebih sensitif terhadap racun dibandingkan bakteri penghasil asam. Skema fermentasi bioreaktor anaerobik dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema fermentasi bioreaktor anaerobik (Grady and Lim, 1980)

2.7. Potensi Biogas dari Limbah

Satu mol metana memerlukan dua mol oksigen untuk dapat dioksidasi menjadi CO_2 dan air, maka setiap produksi 16 gram metana dapat menurunkan COD air limbah sebanyak 64 gram. Kondisi suhu dan tekanan standar, setiap stabilisasi 1 pound COD dapat menghasilkan 5,62 ft^3 metana atau 0,35 m^3 metana/kg COD (Grady dan Lim, 1980). Potensi produksi biogas dari seluruh air limbah pabrik kelapa sawit (ALPKS) kurang lebih sebesar 1075 juta m^3 . Nilai kalor (*heating value*) biogas rata-rata berkisar antara 4700-6000 kcal/m^3 (20-24 MJ/m^3), maka dengan nilai kalor tersebut, 1075 juta m^3 biogas akan setara dengan 516.000 ton gas LPG atau 559 juta liter solar atau 66,5 juta liter minyak tanah atau 5052,5 MWh listrik (Mahajoenoe *et al.*, 2008).

Khemkhao *et al.*, (2012) menyatakan bahwa ALPKS yang memiliki *organic loading rates* (OLR) antara 2,2-9,5 gCOD/liter/hari dengan perombakan anaerobik dapat menghasilkan biogas 13,2 liter/hari. Tong (2011) menyatakan, PKS dengan kapasitas produksi 60 ton TBS/jam atau 360.000 ton TBS/tahun akan menghasilkan ALPKS sebanyak 216.000 m³/tahun dengan total COD 10.800 ton/tahun. Produksi ALPKS tersebut dapat menghasilkan CH₄ sebanyak 2.657 ton/tahun atau biogas 6.726.318 m³/tahun atau setara dengan energi yang dihasilkan 133.398.934 MJ/tahun atau 31.859.243 M Cal./tahun atau 37.039 MWh/tahun.

Suprihatin *et al.* (2008) menyatakan, pabrik minyak kelapa sawit dengan kapasitas olah 60 ton TBS/jam, memiliki potensi untuk memperoleh manfaat sebesar Rp 300 juta/tahun, yang berasal dari pemanfaatan biogas sebesar Rp 240 juta/tahun dan insentif melalui proyek *Clean Development Mechanism* (CDM) Rp 66 juta/tahun. Battacharya *et al.* (2003) menyatakan, bahwa ALPKS dengan perombakan anaerob memiliki COD lebih dari 1,5 kg/m³. Produksi 1 m³ LCPMKS dapat menghasilkan 20-28 m³ biogas. Paepatung *et al.* (2006) menyatakan potensi produksi biogas dapat mencapai > 35 kali lipat dari jumlah LCPMKS atau 1 m³ LCPMKS dapat dikonversi menjadi 38,69 m³ biogas.

Sementara itu, kotoran sapi juga sangat berpotensi untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas. Pada penelitian Hanif (2010) menyatakan bahwa 1 ekor sapi menghasilkan kotoran 25 kg/ekor/hari maka dari 411 ekor sapi dapat menghasilkan 10.275 kg dengan kandungan bahan kering sebesar 2.055 kg. maka akan menghasilkan biogas 82,2 m³/hari. Sedangkan setiap 1 m³ biogas

menghasilkan 4,7 kWh. Oleh karena itu dari kotoran dari 441 ekor sapi berpotensi menghasilkan energi listrik sebesar 386,6 kWh/ hari.

Wahyuni (2008) menyatakan, Setiap 1 m³ biogas sebanding dengan 0,46 kg elpiji. Dengan asumsi tersebut, tabung gas 3 kg dapat diisi 6,5 m³ biogas dari 4,3 ekor sapi, sedangkan tabung gas 12 kg dapat diisi 26 m³ biogas dari 17,4 ekor sapi. Susilaningih *et al.*, (2007) menyatakan, jika peternak rata-rata memiliki sapi perah empat ekor maka satu tabung gas 3 kg dapat dipenuhi dalam jangka waktu 1-2 hari, sedangkan satu tabung gas 12 kg dapat dipenuhi dalam jangka waktu 4-5 hari. Apabila dikelola dengan benar, dalam satu bulan peternak dapat menghasilkan 15-30 tabung gas 3 kg atau 6-8 tabung gas 12 kg.

Biogas yang terbentuk dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi bahan bakar yang ramah lingkungan. Energi yang terkandung dalam biogas tergantung pada konsentrasi metanaanya (CH₄). Sebagian besar biogas tersusun atas 55-57% gas metanaa (CH₄), 25-45% karbondioksida (CO₂), dan beberapa kandungan gas lain yang memiliki persentase kecil seperti 1-5% hidrogen (H₂), 0-3% hidrogen sulfida (H₂S), amonia (NH₃) serta nitrogen (N) (Pambudi, 2008). Biogas dapat diubah menjadi beberapa bentuk energi, yaitu energi panas atau dengan bantuan generator diubah menjadi energi listrik maupun mekanik. Konversi energi biogas dan penggunaannya disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Konversi energi biogas dan penggunaannya

Penggunaan	Energi 1 m ³ biogas
Penerangan	Sebanding dengan lampu 60-100W Selama 6 jam
Pengganti bahan bakar	
• Solar	0,52 Liter
• Minyak tanah	0,62 Liter
Listrik	Sebanding dengan 1,25 KWH listrik

Sumber : Kristoferson dan Bolkaders (1991).

Disisi lain, apabila gas metana yang dihasilkan tidak dimanfaatkan dengan baik maka gas metana tersebut dapat memicu pemanasan gobal. Sejak tahun 1960-an, penyebab utama meningkatnya suhu bumi adalah akibat efek rumah kaca yang menurut sebagian ahli disebabkan oleh meningkatnya kandungan gas karbon dioksida dan partikel polutan lainnya di atmosfer bumi. Efek rumah kaca disebabkan karena meningkatnya konsentrasi gas-gas rumah kaca (Trismidianto *et al.*, 2008). Gas rumah kaca (GRK) adalah gas-gas di atmosfer yang memiliki kemampuan untuk menyerap radiasi matahari yang dipantulkan oleh bumi, sehingga menyebabkan suhu di permukaan bumi menjadi hangat. Menurut konvensi PBB mengenai perubahan iklim (*United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC*, 2005), terdapat enam jenis gas yang digolongkan sebagai GRK, yaitu: karbondioksida (CO₂), dinitro oksida (N₂O), metana (CH₄), sulfurheksaflorida (SF₆), perflorokarbon (PFCs), dan hidroflorokarbon (HFCs).

Kontribusi gas rumah kaca terhadap pemanasan global tergantung dari jenis gasnya. Setiap gas rumah kaca mempunyai potensi pemanasan global (*Global Warming Potential – GWP*) yang diukur secara relatif berdasarkan emisi CO₂ dengan nilai 1 (satu). Semakin besar nilai GWP maka akan semakin bersifat

merusak (Sugiyono, 2006; Tyler dan Ensminger, 2006). CO₂ merupakan gas rumah kaca yang terpenting karena kontribusinya yang paling tinggi terhadap efek rumah kaca, yaitu sebesar 55% (Houghton, 2009). Setiap gas rumah kaca memiliki GWP berbeda-beda dan dibandingkan dengan besarnya GWP CO₂. CH₄ memiliki GWP 20-30 kali lebih tinggi dibandingkan gas CO₂ (Porteous, 1998) dan menurut Venterea (2005), CH₄ memiliki GWP 23 kali lebih tinggi dibandingkan gas CO₂. Dengan demikian gas-gas rumah kaca termasuk gas yang menimbulkan efek rumah kaca yang menyebabkan terjadinya pemanasan global.

Ministry of Environment (2010) dalam Indonesian *Second National Communication* (SNC) menyatakan sektor pertanian berkontribusi sebesar 5% terhadap total emisi nasional, tanpa memperhitungkan emisi dari kebakaran gambut dan dari drainase lahan gambut. Total emisi nasional pada tahun 2000 adalah 1.415.998 Gg dan emisi sektor pertanian hanya 75.420 Gg CO₂e. Gas N₂O merupakan GRK terbesar dari sektor pertanian (79,2%) dan yang kedua adalah CH₄ (21,5%). Total emisi pada tahun 2000 dari tiga GRK sektor pertanian (CO₂, CH₄, dan N₂O) mencapai 75.420 Gg; dan pada tahun 2005 meningkat 6,3% menjadi 80.179 Gg CO₂e. Hasil penelitian Hakim (2013), industri kelapa sawit menghasilkan emisi GRK sebesar 1472,24 kg CO₂e dalam produksi 1 ton CPO dengan sumber kontribusi terbesar yaitu air limbah pabrik kelapa sawit (ALPKS) dengan jumlah emisi sebesar 1026,4 kg CO₂e. Pengolahan air limbah kelapa sawit secara anaerobik menghasilkan gas CH₄ akibat terdekomposisinya bahan-bahan organik dalam kondisi anaerobik.

III. BAHAN DAN METODE

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Pengolahan Limbah Agroindustri Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei sampai dengan Juli 2017.

3.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain Air limbah Pabrik Kelapa Sawit (ALPKS) yang diambil dari Pabrik Kelapa Sawit PT Perkebunan Nusantara VII Unit usaha Bekri, Kotoran sapi yang diambil dari Laboratorium Kandang Politeknik Negeri Lampung, reagent COD, aquades dan bahan analisis lainnya.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : *Continuous Stirred-Tank Reactor*(CSTR), *gas sampler bag*, HACH spektrofotometer DR/4000U, *gas chromatography* (Shimadzu GC-2014), reactor unit DRB200, dan beberapa alat gelas lainnya.

3.3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental. Data dihitung berdasarkan faktor-faktor emisi dan dianalisis secara deskriptif. Penelitian

dilakukan skala pilot menggunakan *Continuous Stirred-Tank Reactor* (CSTR) berkapasitas 50 Liter dengan laju pembebanan 3% (1,5 L/hari) dari volume kapasitas reaktor dengan 3 kali ulangan (Supriyanto, 2016). Substrat atau *feed* yang ditambahkan terdiri dari campuran 50 % ALPKS dan 50% kotoran sapi (Supriyanto, 2016). Data laju pembebanan, konsentrasi gas metana, COD *inlet* dan COD *outlet* digunakan untuk menghitung potensi energi dan potensi reduksi emisi GRK yang ditentukan berdasarkan perhitungan yang telah disepakati secara global. Dari perhitungan tersebut dibuat model rancangan skala pabrik untuk integrasi sawit-sapi.

3.4. Pelaksanaan

Proses pengolahan ALPKS dan kotoran sapi dilakukan dalam skala pilot dengan menggunakan *Continuous Stirred-Tank Reactor* (CSTR) berkapasitas 50 Liter. Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam dua tahap yaitu :

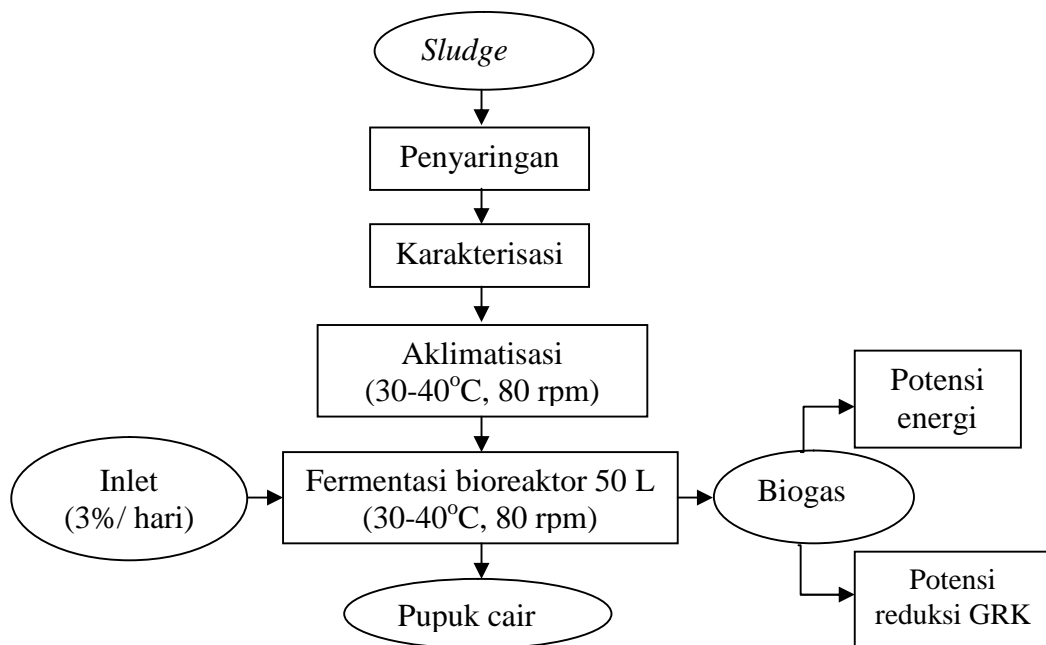
1) Proses Aklimatisasi

Proses aklimatisasi dilakukan dengan memasukkan *sludge* yang berasal dari kolam anaerobik instalasi pengolahan limbah PTPN VII unit usaha Bekri, kedalam 3 buah bioreaktor masing-masing 50 Liter. Sebelum dimasukkan, *sludge* tersebut dilakukan analisis pH, COD, TSS, dan VSS pada *sludge*. Selama tahapan aklimatisasi pemberian 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). Proses aklimatisasi dilakukan sampai diperoleh produksi biogas dan penyisihan COD pada bioreaktor stabil.

2) Produksi Gas

Setelah proses aklimatisasi selesai, tahap penelitian selanjutnya adalah proses produksi biogas. Pada tahap ini substrat air limbah pabrik kelapa sawit dan kotoran sapi yang telah dicampur dengan perbandingan 50% : 50% (Supriyanto, 2016) diumpungkan ke dalam bioreaktor sebanyak 3% (1,5 L/hari). Secara keseluruhan skema penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram proses produksi biogas dari ALPKS dan kotoran sapi

3.5 Pengamatan

Pengamatan yang dilakukan yaitu pengukuran laju pembebanan volumetrik pH, COD, TSS, VSS dan konsentrasi gas metana (CH₄)

1. Pengukuran pH

Pengukuran pH limbah dilakukan dengan menggunakan alat pH meter HM-20P produksi Jepang secara langsung setelah sampel air limbah dikeluarkan dari dalam bioreaktor. Caranya dengan memasukkan pH meter HM-20P ke dalam sampel limbah sambil diadukan kemudian catat nilai pH pada alat (DKK-TOA Corporation, 2004).

2. Pengukuran COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Sampel limbah keluaran dari bioreaktor dihomogenkan dengan cara diaduk. Sebanyak 0,2 mL atau 200 μ L sampel limbah diambil dengan menggunakan mikropipet, dan dimasukkan ke dalam *vial* yang berisi reagen COD yang terdiri dari 1,5 mL larutan pencerna dan 3,5 mL larutan pereaksi asam sulfat lalu dipanaskan menggunakan *reactor* unit DBR200 pada suhu 150°C selama 2 jam. Setelah dipanaskan, *vial* dikeluarkan dan dibiarkan sampai suhu ruang kemudian dilakukan pengukuran nilai COD dengan menggunakan HACH Spektrofotometri DR4000 pada panjang gelombang 620 nm (HACH Company, 2004).

3. Pengukuran *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Volatil Suspended Solid* (VSS)

Sebanyak 50 mL sampel limbah keluaran dari bioreaktor dimasukkan ke dalam tabung sentrifius kemudian disentrifius dengan kondisi pengoprasian sentrifius 6000 rpm selama 15-20 menit. Endapan yang terbentuk dari sentrifius 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. Selisih berat cawan + sampel setelah dioven 105°C selama 2 jam dengan berat kering cawan kosong dibagi dengan volume sampel yang disentrifius dalam Liter adalah nilai TSS (Total Suspended Solid) (APHA, 1995).

$$\text{TSS} = \frac{\text{berat sampel setelah dioven } 105^{\circ}\text{C, 2 jam (g)} - \text{berat kering cawan (g)}}{\text{volume sampel yang disentrifius (L)}}$$

Kemudian cawan + 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 + sampel dalam furnace hingga suhu dalam furnace turun sekitar 60°C kemudian cawan dimasukan 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 + sampel yang difurnace 600°C dan dibagi dengan volume sampel yang disentrifius dalam Liter merupakan nilai VSS (volatile suspended solid (APHA, 1995).

$$\text{VSS} = \frac{\text{berat cawan stlh dioven } 105^{\circ}\text{C (g)} - \text{berat cawan stlh difurnace } 600^{\circ}\text{C (g)}}{\text{volume sampel yang disentrifius (L)}}$$

4. Pengukuran Konsentrasi Biogas

Pengukuran konsentrasi biogas dilakukan dengan cara menampung gas yang terbentuk pada bioreaktor ke dalam gas *sampler bag* kemudian sampel gas dianalisa dengan menggunakan Gas *Chromathography* (GC) (Shimadzu, 2014) dengan detektor konduktivitas termal pada suhu 200°C, tekanan injeksi 100 kPa, waktu injeksi 1 menit dan suhu injeksi 100°C. Gas

Chromathography (GC) dilengkapi dengan kolom *shincarbon* dengan panjang 4,0 m dan diameter 3 mm. Gas helium digunakan sebagai gas pembawa dengan laju alir 40 mL/menit (Hasanudin *et al.*, 2015).

3.6. Perhitungan

1. Potensi Energi

Tahapan dalam perhitungan energi air limbah pabrik kelapa sawit adalah sebagai berikut :

- Nilai Pembebanan COD (*COD load*)

$$\text{Pembebanan COD} = \text{Laju alir} \times \text{CODin}$$

Keterangan :

Pembebanan COD = Nilai COD (Kg/hari)

Laju alir = Jumlah air Limbah (m³/hari)

CODin = COD *inlet* (mg/L)

Sumber : (Tchobanoglous *et al.*, 2003)

- COD *removal*

$$\text{CODr} = \text{CODin} - \text{CODout} \times \text{Laju alir}$$

Keterangan :

COD *removal* = Nilai COD terurai (mg/L)

CODin = Nilai COD *inlet* (mg/L)

COD *out* = Nilai COD *outlet* (mg/L)

Laju alir = Jumlah air limbah (m³/hari)

Sumber : (Tchobanoglous *et al.*, 2003)

- Potensi Gas Metana

$$\text{CH}_4 = \text{CODr} \times 0,35^*$$

Keterangan :

CH₄ = Jumlah potensi gas metana (m³/hari)

CODr = COD removal (Kg/hari)
 Berat CH₄ = mol CH₄ x berat molekul CH₄
 *) 1 kg CODr = 0,35 m³ CH₄ dalam keadaan STP (*Standard Temperature and Pressure*) pada suhu 0⁰C dan tekanan 1 atm.
 Sumber : (Tchobanoglous *et al.*, 2003)

- Potensi Biogas

$$\text{Biogas} = \text{CH}_4 / \% \text{ metana}$$

Keterangan :

Biogas = Jumlah potensi biogas (m³/hari)
 CH₄ = Jumlah potensi gas metana (m³/hari)
 % metana = konsentrasi gas metana dalam biogas
 Sumber : (Tchobanoglous *et al.*, 2003)

- Potensi Energi

$$\text{Potensi Energi} = \text{CH}_4 \times \text{nilai kalor gas metana (Heating value)}$$

Keterangan :

1 MJ = 1000 KJ
 1 KJ = 1/3600 Kwh
 1 m³ gas CH₄ mengandung energi sebesar 35,9 MJ/ m³ (Nakamura, 2006)

2. Potensi Reduksi Emisi CO₂e dari *Global Warming Potential* (GWP_{CH₄})

$$\text{Potensi Reduksi Emisi} = \text{CH}_4 \times \text{GWP}_{\text{CH}_4}$$

Keterangan :

Potensi Reduksi Emisi = Potensi reduksi emisi CO₂e dari CH₄ (gCO₂e/hari)
 CH₄ = Total metana dari biogas (g/hari)
 GWP_{CH₄} = 21 (EPA, 2015)

Sumber : (IPCC, 2014)

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Simpulan yang diperoleh pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Proses pengolahan campuran ALPKS dan kotoran sapi dengan laju pembebanan 3% atau 1,5 L/hari memiliki potensi energi sebesar 129,37 kWh/m³ALPKS+kotoran sapi atau setara dengan energi listrik sebesar 45,28 kWh/m³ALPKS+kotoran sapi dan memiliki potensi reduksi emisi GRK sebesar 194,60 kg CO₂e/m³ALPKS+kotoran sapi
2. Pengolahan campuran ALPKS dan kotoran sapi menjadi biogas dengan perbandingan substrat 50% ALPKS dan 50% kotoran sapi di PKS dengan kapasitas 60 ton TBS/jam dapat meningkatkan energi dan mereduksi emisi GRK hingga 41,96%. Energi yang dihasilkan mencapai 217.348,53 kWh/hari atau setara dengan energi listrik sebesar 76.071,99 kWh/hari serta menghasilkan potensi reduksi emisi GRK sebesar 326.930,94 kg CO₂e/hari.

5.2. Saran

Saran pada penelitian ini adalah perhitungan mengenai investasi pada penerapan pengolahan campuran ALPKS dan kotoran sapi pada integrasi kelapa sawit-sapi masih perlu dipelajari.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulgani, IK. 1998. Seluk Beluk Mengenai Kotoran Sapi Serta Manfaat Praktisnya. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Aini, Z., A. Sivapragasam, P. Vimala, and Mohamad Roff, M. N. 2005. Organic Vegetable Cultivation in Malaysia. Malaysian Agriculture Research and Development Institute, MARDI.
- Alaerts, G dan Santika, S. S. 1984. *Metoda Penelitian Air*. Usaha Nasional. Surabaya. 149 hlm.
- Amelia, J.R. 2012. Rekayasa Proses aklimatisasi Bioreaktor Akibat Perubahan Substrat dari Thinslop ke Vinnase. Universitas Lampung.
- American Public Health Association (APHA). 1995. Standard Methods of the Examination of Water and Waste Water. 19th ed. AWWA. WEF. New York. pp. 1015.
- Angelidaki, I and L. Ellegaard. 2003. Codigestion of Manure and Organic Wastes in Centralized Biogas Plants. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 109, 95–105.
- Ardila, Y. 2014. Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jaqs). Makalah seminar umum. Yogyakarta (Indonesia): Program Studi Agronomi Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada.
- Astari, W. 2016. Studi Potensi Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca dari Industri Kelapa Sawit Melalui Pengolahan Limbah Terintegrasi. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung. 37 pp.
- Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Lampung. 2008. Teknologi Budidaya Kelapa Sawit. Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian. Lampung. 20 hlm.
- Batubara, LP. 2003. Potensi Integrasi Peternakan dengan Perkebunan Kelapa Sawit sebagai Simpul Agribisnis Ruminan. *Wartazoa.* 13:83-91.
- Bhattacharya, TK., A.P. Salam, H. Runqing, H.I. Somashekar, D.A. Rechhis,

- D.G. Ratnashiri, and R. Yinyuard 2003. An Assessment of the Potential for Non Plantation Biomass Resources in Selectives Asian Countries for 2010. <http://www>.
- Capps, R.W., G.N. Mantelli, dan M.L. Dradford. 1995. Design Concepts for Biological Treatment. *Environmrntal Progress Journal*. Vol. 14. Pp 1-8.
- Chin, F.Y. 2002. Utilization of Palm Kernel Cake as Feed in Malaysia. *Asian Livestock* 26 (4): 19–26. FAO Regional Office, Bangkok.
- Deublin, D and A. Steinhauser. 2008. *Biogas from Waste and Renewable Resource*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA. Weinheim.
- Departemen Pertanian. Direktorat Jenderal Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian (PPHP) Subdit Lingkungan. 2006. *Pedoman Pengolahan Limbah Industri Kelapa Sawit*. Jakarta.
- Departemen Pertanian. 2008. *Kebijakan Teknis Program Pengembangan Usaha Agribisnis Perdesaan: Departemen Pertanian*. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2015. *Statistik Perkebunan Indonesia Kelapa Sawit 2014-2016*. Direktorat Jenderal Perkebunan. Departemen pertanian Republik Indonesia. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan. 2015. *Populasi dan Produksi Peternakan di Indonesia*. Jakarta (Indonesia): Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan.
- Diwyanto, K., B.R. Prawiradiputra, dan D. Lubis. 2002. Integrasi Tanaman-Ternak dalam Pengembangan Agribisnis yang Berdaya Saing dan Berkelanjutan. *Wartazoa*. 12:1-8.
- DKK-TOA Corporation. 2004. *G Series pH meter HM-306/506/606 Instruction Manual* DKK-TOA Corporation. Japan.
- Drapcho C.M., N.P. Nhuan dan T.H. Walker. 2008. *Biofuels Engineering Process Technology*. USA: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Droste, R.L. 1997. *Theory and Practice of Water and Wastewater*. John Wiley & Sons.
- Enviromental Protection Agency (EPA) of United States. 2015. *Overview of Greenhouse Gases (Methane Emissions)*. <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>. Diakses 28 Februari 2017.

- Firdausi, A., T. Susilawati, M, Nasich dan Kuswati. 2012. Pertambahan Bobot Badan Harian Sapi Brahman Cross pada Bobot Badan dan Frame Size yang Berbeda. *J. Ternak Tapioka*. 13(1):941-971.
- Grady, C.P.L. and H.C Lim. 1980. *Biological Wastewater Treatment*. Marcel Dekker Inc. New York.
- HACH Company. 2004. DR/4000 Spectrophotometer Models 48000 and User Manual 08/04 3ed. HACH Company World Headquarters. Colorado.
- Hakim, H. M. 2013. Life Cycle Assessment (LCA) Produksi Crude Palm Oil (CPO) Kebun dan Pabrik Kelapa Sawit Pelaihari PT Perkebunan Nusantara XIII. (Tesis). Program Pascasarjana. Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Hanif, A. 2010. Studi Pemanfaatan Biogas sebagai Pembangkit Listrik 10 kw Kelompok Tani Mekarsari Desa Dander Bojonegoro Menuju Desa Mandiri Energi. Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Hardjowigeno, S. 2003. *Ilmu Tanah*. Akademika Presindo, Jakarta. Hal 58-64.
- Hartanto. 2008. Estimasi Konsumsi Lahan Kering, Protein Kasar, Total Digestible Nutrients dan Sisa Pakan pada Sapi Peranakan Simmental. *Agromedia*. 26(2):34-43.
- Hasanudin, U. 1993. Pengolahan Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit dengan Bioreaktor Unggun Fluidisasi Anaerobik Dua Tahap. (Tesis). Program Studi Teknik Kimia. Program Pasca Sarjana. ITB. Bandung. 197 pp.
- Hasanudin, U., E. Suroso, Risfaheri dan Misgiyarta. 2007. Optimasi Fermentasi Air Limbah Tapioka Sebagai Sumber Biogas. Laporan Hasil Penelitian. Universitas Lampung.
- Hasanudin, U., R. Sugiharto, A. Haryano, T. Setiadi dan K. Fujie. 2015. Palm Oil Mill Effluent Treatment and Utilization to Ensure The Sustainability of Palm Oil Industries. *J of Water Science and Technology*. 72(7):1090.
- Houghton SJ. 2009. *Global Warming: The Complete Briefing*. 4th Edition. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_volume5/v5_1_Ch1_Introduction.pdf. diakses pada tanggal 17 Februari 2017.

- Kementrian Lingkungan Hidup. 2014. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia, Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Kementrian Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Khaerunnisa, G., dan I, Rahmawati. 2013. Pengaruh pH dan Rasio COD : N Terhadap Produksi dengan Bahan Baku Limbah Industri Alkohol (*Vinasse*). *J. Teknologi Kimia dan Industri*, 2(3):1-7.
- Khemkhao, M., B. Nuntakumjorn, S. Techkarnjanaruk, and C. Phalakornkule. 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.
- Kristoferson, L.A dan V. Bolkaders. 1991. *Renewable energy Technologies Their Application in Developing Countries*. ITDG. Publishing.
- Mahajoeno, E., B.W. Lay, S.H. Sutjahjo, dan Siswanto. 2008. Potensi Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit untuk Produksi Biogas. *Biodiversitas*. 9:48-52.
- Manurung, R. 2004. Proses Anaerobik Sebagai Alternatif untuk Mengolah Limbah Sawit. <http://library.usu.ac.id/download/ft/tkimia-renita.pdf>. Diakses pada tanggal 23 Maret 2017.
- Mathius ,I.W., A.P. Sinurat, B.P. Manurung, D.M. Sitompul, and Azmi. 2005. Pemanfaatan Produk Fermentasi Lumpur Bungkil Sebagai Bahan Pakan Sapi Potong. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner. Bogor,12-13 September 2005. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak.
- Mathius, I. W. 2003. Perkebunan Kelapa Sawit dapat Menjadi Basis Pengembangan Sapi Potong. *Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. 25:1-4.
- Mathius, I.W. 2008. Pengembangan Sapi Potong Berbasis Industri Kelapa Sawit. *Pengembangan Inovasi Pertanian*. 1:206-224.
- Metcalf and Eddy. 1991. *Waste Water Engineering : Treatment, Disposal And Reuse* . New York : McGraw-Hill.
- Ministry Environment. 2010. Indonesian Second National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change: Climate change protection for present and future generation. Ministry of Environment, Republic of Indonesia.
- Nakamura, H. 2006. Metana production technologies and its contribution to clean

development mechanism (CDM). Proceeding. Seminar Sustainable Society Achievement by Biomass Effective Use, EBARA Hatakeyama Memorial Fund, January 24-25, 2006. Jakarta.

Paepatung, N., P. Kullavanaya, O. Loapitinar, A. Nopparatina, W. Shongkasri and P Chaiprasert. 2006. Assessment of Palm Oil Mill Effluent as Biogas Energy Source in Thailand. www.cppo.gov.th.

Pambudi, N. A. 2008. Pemanfaatan Biogas Sebagai Energi Alternatif. www.dikti.org. Akses : 13 Agustus 2015

Porteous, A. 1998. Energy from Waste: a Wholly Acceptable Waste-Management Solution. *Applied Energy*. 58: 177-208.

Riliandi.D.K.2010. Studi Pemanfaatan Kotoran Sapi untuk Genset Listrik Biogas, Penerangan dan Memasak Menuju Desa Nongkojajar (Kecamatan Tukur Mandiri energi.<http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-13491Presentation.pdf> diakses pada tanggal 18 Agustus 2017.

Sasongko, S.B. 1990. *Beberapa Parameter Kimia sebagai Analisis Air*. Edisi keempat, Reaktor. Semarang. 72 hlm.

Shimadzu Corporation. 2014. GC-2014 Gas Chromathography Instruction Manual. Shimadzu Corporation Analitical and Measuring Instrument Division. Kyoto. Japan.

Shuler, M.L. dan F. Kargi. 1992. *Bioprocess Engineering Basic Concepts*. New Jersey: Prentice-Hall. 185 hlm.

Sinurat, A.P., T. Purwadaria, P. Ketaren, D. Zainuddin dan I.P. Kompiang. 2000. Pemanfatan Lumpur Sawit untuk Ransum Unggas: 1. Lumpur Sawit Kering dan Produk Fermentasinya Sebagai Bahan Pakan Ayam Broiler. *JITV*. 5 (2): 107–112.

Siregar Z, S. Hasnudi, Umar, I. Sembiring . 2006. Tim Jurusan Peternakan Fakultas Pertanian USU bekerjasama dengan PTPN IV dalam Rangka Membangun Pabrik Pakan Ternak Berbasis Limbah Sawit. Universitas Sumatera Utara. Medan.

Soedono, A. 1990. *Pedoman Beternak Sapi Perah*. Edisi Kedua. Direktorat Jenderal Peternakan Departemen Pertanian. Jakarta. Hal 7, 35, 48.

Sufyandi, A. 2001. *Informasi Teknologi Tepat Guna untuk Pedesaan Biogas*. Bandung. 57 hlm.

Sugiyono, A. 2006. Penanggulangan Pemanasan global di Sektor Pengguna Energi. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*. 7: 15-19.

- Sumirat, U. dan A. Solehudin. 2009. Nitrous Oksida (N₂O) dan Metana (CH₄) sebagai Gas Rumah Kaca. Jurnal TORSI. Vol. VIII, No.2, Juli 2009.
- Suprihatin, N.S. Indrasti, dan M. Romli. 2008. Potensi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca melalui Pengomposan Sampah. Jurnal Teknologi Industri Pertanian. 18: 53-59.
- Supriyanto. 2016. Produksi Biogas dari Campuran Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dan Kotoran Sapi Menggunakan Bioreaktor CSTR. Tesis. Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Bandar Lampung
- Sutardi, T. 1991. Aspek Nutrisi Sapi Bali. Proc. Sem. Nas. Sapi Bali. Fakultas Peternakan UNHAS, Ujung Pandang. Hal. 85–109
- Susilaningsih, I., P. Erik, dan V. Oktaviyanto. 2007. Pemanfaatan Limbah Kotoran Sapi sebagai Pengganti Bahan Bakar Rumah Tangga yang Lebih Memberikan Keuntungan Ekonomis. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Tangendjaja. 2009. Teknologi Pakan dalam Menunjang Industri Peternakan di Indonesia. Pengembangan Inovasi Pertanian. 2:192-207.
- Tan, Y.A., H. Muhamad, H. Zulkifli, S. Vijaya, C.W. Puah, and Y.M. Choo. 2012. GHG Emissions Inventories and Mitigation Strategies in the Oil Palm Sector. 3rd International Conference on Oil Palm and Environment (ICOPE). Bali, Indonesia. 22-24 February 2012.
- Tchobanoglous, G., F. L. Burton, dan H. D. Stensel. 2003. *Waste Water Engineering. Treatment and Reuse*. Metcalf and Eddy Inc. New York.
- Toerien, D. F., T.E. Cloete, J. D Roux, dan A. J. H. Pieterset 1970. Oxygen Dynamics and Heterotrophic Aspects of a Pond Treatment System for Cattle Feedlot Effluent. *Agricultural Wastes*. Volume 7 (3) 147-174.
- Tong, S.L. 2011. Recent Developments on Palm Oil Mill Residues Biogas Recovery and Utilisation. International Conference and Exhibition of Palm Oil, 11-13 May 2011 Jakarta.
- Trismidianto, T. Samiaji, E. Hermawan, Martono, dan M. Hadi. 2008. Studi Penentuan Konsentrasi CO₂ dan Gas Rumah Kaca (GRK) di Wilayah Indonesia. SMART (Seminar on Application and Research in Industrial Technology). Jurusan Teknik Mesin dan Industri FT UGM, 27 Agustus 2008. Yogyakarta
- Tyler, H D., and M.E. Ensminger. 2006. *Dairy Cattle Science: Fourth Edition*. Pearson Education Inc. New Jersey. Hal. 83-87.
- United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC. 2005. Key

GHG Data: Greenhouse Gas Emissions Data for 1990-2003. The United Nations Framework Convention on Climate Change. http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/reporting_requirements/items/2759.php. (8 Januari 2012).

Utomo, B.N., E. Widjaja. 2012. Pengembangan Sapi Potong Berbasis Industri Perkebunan Kelapa Sawit. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. 31:153-161.

Venterea, R.T., M. Burger, and K.A. Spokas. 2005. Nitrogen Oxide and Fertilizer Management. *Journal Environment*. 34:1467-1477.

Wahyuni, S. 2008. Analisa Kelayakan Pengembangan Biogas sebagai Energi Alternatif Berbasis Individu dan Kelompok. Tesis Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Wahyuni, Sri. 2013. *Panduan Praktis Biogas*. Penebar Swadaya. Jakarta. 34 hlm.

Wan Zahari, M., O.B. Hassan, H.K. Wong, and J.B. Liang. 2003. Utilization of Oil Palm Frond-Based Diets for Beef Cattle Production in Malaysia. *Asian-Aust J Anim Sci*. 16:625-634.

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

Yusdja Y, Ilham N, dan W.K. Sejati. 2003. Profil dan Permasalahan Peternakan. *Forum Penelit Agro Ekon*. 21:44-56.