

Tema: Kelapa Sawit

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN STRATEGIS NASIONAL
MASTERPLAN PERCEPATAN DAN PERLUASAN
PEMBANGUNAN EKONOMI INDONESIA 2011 – 2025
(PENTRANAS MP3EI 2011 - 2025)**

Program : 2014

TEMA KORIDOR:

**SENTRA PRODUKSI DAN PENGOLAHAN HASIL BUMI DAN
LUMBUNG ENERGI NASIONAL**

JUDUL

***INOVASI PENGEMBANGAN AGROINDUSTRI KELAPA SAWIT
DALAM RANGKA OPTIMASI NILAI TAMBAH
(APLIKASI BIOGAS SISTEM HIBRID DI PABRIK KELAPA SAWIT)***

**Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P
Dr. Ir. Udin Hasanudin, M.T
Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc**

UNIVERSITAS LAMPUNG

NOVEMBER 2014

HALAMAN PENGESAHAN
PENPRINAS MP3EI

Judul Kegiatan : INOVASI PENGEMBANGAN AGROINDUSTRI KELAPA SAWIT DALAM RANGKA OPTIMASI NILAI TAMBAH

Kode/Nama Rumpun Ilmu : 163 / Teknologi Pertanian

Fokus Koridor : Sumatera

Ketua Peneliti

A. Nama Lengkap	: Dr. Ir. AGUS HARYANTO M.P.
B. NIDN	: 0027056503
C. Jabatan Fungsional	: Lektor Kepala
D. Program Studi	: Teknik Pertanian
E. Nomor HP	: 081379078674
F. Surel (e-mail)	: agusharyid65@gmail.com

Anggota Peneliti (1)

A. Nama Lengkap	: Dr. Eng. Ir. UDIN HASANUDDIN
B. NIDN	: 0006016403
C. Perguruan Tinggi	: Universitas Lampung

Anggota Peneliti (2)

A. Nama Lengkap	: Ir. RIBUT SUGIHARTO M.Sc.
B. NIDN	: 0014036603
C. Perguruan Tinggi	: Universitas Lampung

Institusi Mitra

A. Nama Institusi Mitra	:
B. Alamat	:
C. Penanggung Jawab	:

Lama Penelitian Keseluruhan : 3 Tahun

Penelitian Tahun ke : 3

Biaya Penelitian Keseluruhan : Rp 180.000.000,00

Biaya Tahun Berjalan : - diusulkan ke DIKTI
- dana internal PT
- dana institusi lain
- inkind sebutkan

Rp 180.000.000,00
Rp 0,00
Rp 0,00

Mengetahui
Ketua LI

(Dr. Ing. Admi Syarif)
NIP/NIK 196703011992031003

Bandar Lampung, 30 - 11 - 2014,
Ketua Peneliti,

(Dr. Ir. AGUS HARYANTO M.P.)
NIP/NIK 196505271993031002



Menyetujui,
Rektor

(Prof. Dr. Ir. Sugeng P Harianto, M.S)
NIP/NIK 195809231982111001

C. Sistematika Usulan (bagi PT pengusul tim/anggota)

Identitas

1. Judul Usulan: **INOVASI PENGEMBANGAN AGROINDUSTRI KELAPA SAWIT DALAM RANGKA OPTIMASI NILAI TAMBAH: APLIKASI BIOGAS UNTUK MASYARAKAT SEKITAR PABRIK KELAPA SAWIT**
2. Ketua Tim
 - (a) Nama lengkap : Dr. Agus Haryanto, M.P.
 - (b) Bidang keahlian : Teknologi Pengolahan Hasil Pertanian
3. Anggota

No.	Nama dan Gelar	Keahlian	Institusi	Curahan Waktu (jam/minggu)
1	Dr. Ir. Udin Hasanudin, M.T	Teknologi Pengolahan Hasil Pertanian	Universitas Lampung	12
2	Ir. Ribut Sugiharto, M.Sc.	Teknologi Pengolahan Hasil Pertanian	Universitas Lampung	12

4. Strategis Utama (terkait dengan MP3EI): Penguatan Kemampuan SDM dan IPTEK Nasional
5. Topik (terkait kegiatan ekonomi utama dalam MP3EI) : Kelapa Sawit
6. Objek : Agroindustri berbasis kelapa sawit
7. Lokasi : Sumatera
8. Hasil yang ditargetkan (beri penjelasan) :
 - Kerjasama dengan pabrik pengolah kelapa sawit dalam pengembangan biogas sistem hybrid dari POME dan tandan kosong kelapa sawit.
 - Aplikasi sistem hybrid biogas dan kompos dari POME dan tandan kosong kelapa sawit sebagai upaya untuk meningkatkan produksi biogas, kompos, dan pupuk cair.
 - Manual pengoperasian dan pemeliharaan biogas sistem hybrid dari POME dan tandan kosong kelapa sawit.
 - Kuantifikasi manfaat ekonomi dan lingkungan dari penerapan biogas sistem hybrid dari POME dan tandan kosong kelapa sawit.

ABSTRAK

Tujuan program ini adalah untuk: (1) Mengkaji efisiensi agro industri kelapa sawit dalam pemanfaatan sumber daya alam (biomass), (2) Mengidentifikasi peluang serta strategi untuk memanfaatkan hasil samping dan limbah pengolahan kelapa sawit dalam rangka peningkatan nilai tambah dan meminimalkan dampak lingkungan termasuk mengurangi emisi GRK, (3) Mengidentifikasi peluang serta strategi pengembangan produk hilir berbasis kelapa sawit, (4) Membuat model zero waste pada produksi kelapa sawit, (5) Melakukan aplikasi lapangan produksi biogas skala rumah tangga dari limbah cair kelapa sawit (POME) untuk masyarakat sekitar pabrik kelapa sawit.

Limbah industri pengolahan kelapa sawit sangat potensial untuk dijadikan sebagai bahan baku industri terkait. Pemanfaatan semaksimal mungkin limbah industri pengolahan kelapa sawit sangat penting dalam kaitannya dengan konsep “Zero Emissions.” Aplikasi konsep ini dapat menjadi senjata yang ampuh guna menepis isu-isu negative berkaitan dengan pengembangan industri kelapa sawit di tanah air. Pemetaan tentang potensi agroindustri kelapa sawit dilihat dari sisi efisiensi pemanfaatan sumber daya alam (biomas), penguasaan teknologi dari hulu sampai hilir, dan sebaran sumber daya manusia ahli di bidang tersebut sangat diperlukan dalam rangka merumuskan kebijakan secara komprehensif untuk mencari terobosan baru/inovasi dalam pengembangan agroindustri kelapa sawit di Sumatera.

Hasil penelitian tahun pertama (2012) menunjukkan bahwa teknologi pemanfaatan limbah sawit sebagai bahan baku untuk industri lain sangatlah memungkinkan. Teknologi pemanfaatan POME untuk menghasilkan biogas tampaknya memberikan peluang besar untuk meningkatkan nilai tambah pengolahan kelapa sawit. Hasil kegiatan tahun kedua (2013) menunjukkan bahwa digester biogas skala rumah tangga (5 m^3) dapat dioperasikan menggunakan POME. Pada tahun ketiga (2014) akan dikembangkan digester skala kecil dapat yang memanfaatkan sekaligus POME dan tandan kosong kelapa sawit. Mula-mula akan diinstal satu unit digester skala kecil (kapasitas 220 liter) dengan substrat tandan kosong akan diteliti melalui proses fermentasi kering sebagai percontohan. Selanjutnya, bekerjasama dengan pabrik pengolah kelapa sawit, dikembangkan digester biogas yang bekerja dengan substrat POME dilanjutkan substrat tandan kosong.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tandan kosong kelapa sawit berpotensi menghasilkan biogas melalui proses fermentasi kering. Hasil penelitian menggunakan sumber bakteri kotoran sapi menunjukkan produksi biogas dari tandan kosong mencapai 1.561,4 L dengan waktu retensi 41 hari (rata-rata sebesar 38 L). Produktivitas biogas mencapai 1074.6 L/kg VS_{removed} dengan kandungan metana 36.1%. Produksi biogas dari tandan kosong juga dapat dilakukan dengan sumber bakteri efluen dari digester biogas berbahan baku POME. Hasilnya adalah produksi biogas 1.235 L dengan waktu retensi 46 hari (rata-rata sebesar 26,8 L); produktivitas gas sebesar 1120.6 L/kg VS_{removed}; dan kandungan metana 40.1%. Efektivitas produksi biogas dua tahap sedang dalam proses pengujian untuk aplikasi genset skala kecil (1 kilowatt).

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kelapa sawit sebagai tanaman penghasil minyak sawit dan inti sawit merupakan salah satu primadona tanaman perkebunan yang menjadi sumber penghasil devisa non migas bagi Indonesia. Perkembangan industri kelapa sawit di Indonesia yang begitu cepat sangat dipengaruhi oleh permintaan dunia yang sangat besar akan produk-produk kelapa sawit khususnya untuk keperluan pangan (minyak dan lemak).

Perkembangan kelapa sawit dimulai dari pulau Sumatera, kemudian tersebar ke Kalimantan, Sulawesi, dan Papua. Di Sumatera, kegiatan ekonomi utama kelapa sawit memberikan kontribusi ekonomi yang besar. Dimana 70 persen lahan penghasil kelapa sawit di Indonesia berada di Sumatera dan membuka lapangan pekerjaan yang luas. Sekitar 42 persen lahan kelapa sawit dimiliki oleh petani kecil. Perkembangan industri kelapa sawit sangat berperan besar dalam pertumbuhan daerah-daerah terpencil dan telah meningkatkan standar hidup penduduk pedesaan.

Kelapa sawit adalah sumber minyak nabati terbesar yang dibutuhkan oleh banyak industri di dunia. Permintaan kelapa sawit dunia terus mengalami pertumbuhan sebesar 5 persen per tahun. Indonesia memproduksi sekitar 43 persen dari total produksi minyak mentah sawit (Crude Palm Oil/CPO) di dunia, dengan pertumbuhan produksi kelapa sawit di Indonesia yang sebesar 7,8 persen per tahun.

Disamping pertumbuhan produksi kelapa sawit Indonesia yang cukup tinggi, industri kelapa sawit Indonesia masih menghadapi banyak kedala yang menyebabkan produktivitas masih relatif rendah dan kapasitas industri pengolahan lanjut dalam mata rantai industri kelapa sawit, yang meliputi penyulingan, fraksinasi, oleo kimia, dan biodiesel, masih kurang memadai. Produktivitas kebun kelapa sawit di Indonesia saat ini hanya sekitar 3,8 ton minyak/ha per tahun, padahal potensinya bias mencapai 7 ton/ha per tahun. Saat ini beberapa upaya telah dilakukan untuk meningkatkan produktivitas tersebut, antara lain melalui peningkatan penggunaan pupuk organik/kompos tandan kosong kelapa sawit. Upaya ini mempunyai prospek yang baik tetapi belum ada data hasil penelitian yang akurat. Evaluasi terhadap peningkatan produktivitas dan aspek keberlanjutannya juga perlu dilakukan.

Selain itu, saat ini industri kelapa sawit di Indonesia masih bertumpu pada menghasilkan produk utama berupa CPO. Pengembangan produk turunan CPO masih terkendala pada berbagai aspek; teknologi, ekonomi, dan pasar.

Pemanfaatkan limbah atau hasil samping agroindustri kelapa sawit sampai saat ini juga belum optimal. Potensi energi dari air limbah sampai saat ini belum dimanfaatkan, padahal selain dapat menghasilkan energi terbarukan juga dapat mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) yang menjadi salah satu titik lemah agroindustri kelapa sawit di dunia internasional, khususnya Eropa, Amerika, Jepang, dan Australia.

Pemetaaan tentang potensi agroindustri kelapa sawit dilihat dari sisi efisiensi pemanfaatan sumber daya alam (biomas), penguasaan teknologi dari hulu sampai hilir, dan sebaran sumber daya manusia ahli di bidang tersebut sangat diperlukan dalam rangka merumuskan kebijakan secara komprehensif untuk mencari terobosan baru/inovasi dalam pengembangan agroindustri kelapa sawit di Sumatera. Diharapkan langkah strategis ini dapat meningkatkan nilai tambah yang dapat dihasilkan oleh petani dan agroindustri kelapa sawit.

Hasil penelitian tahun pertama (2012) menunjukkan bahwa aplikasi pemanfaatan limbah sawit sebagai bahan baku untuk industri lain sangatlah memungkinkan. Teknologi pemanfaatan limbah tersedia di pasar dan beberapa industri pengolahan sawit telah mengaplikasikan pemanfaatan limbah itu untuk memperoleh nilai tambah. Pertanyaan yang muncul kemudian adalah seberapa besar dampak aplikasi teknologi pemanfaatan limbah industri kelapa sawit ini dari sudut pandang ekonomi, sosial, dan lingkungan? Jika tersedia jawaban ini secara numerik, akan mudahlah bagi pelaku industri kelapa sawit untuk pengambilan keputusan. Sehubungan dengan ini maka tujuan penelitian pada tahun kedua (2013) adalah menerapkan konsep “Zero Emission” pada proses produksi kelapa sawit yang dilanjutkan dengan evaluasi teknis ekonomi dan lingkungan terhadap aplikasi konsep “Zero Emission” tersebut.

1.2. Tujuan Khusus

- (1) Menerapkan konversi limbah cair kelapa sawit menjadi biogas melalui proses anaerobic digestion dua tahap.
- (2) Penyusunan manual pengoperasian dan pemeliharaan biogas skala rumah tangga dari POME.

- (3) Kuantifikasi nilai tambah ekonomi dan lingkungan terhadap penerapan biogas skala rumah tangga di sekitar pabrik kelapa sawit.

1.3. Urgensi/Keutamaan Penelitian

Pengembangan industri kelapa sawit di Indonesia menghadapi isu-isu negatif yang dihembuskan oleh Amerika dan Uni Eropah. Penerapan konsep zero emission pada industri kelapa sawit diharapkan mampu menepis isu negatif tersebut. Peningkatan produktivitas kebun merupakan salah satu faktor kunci dalam peningkatan nilai tambah agroindustri kelapa sawit. Pengembalian biomass ke lahan perkebunan sangat diperlukan dalam rangka menjamin keberlanjutan produksi kelapa sawit di perkebunan. Peningkatan effisiensi pemanfaatan sumber daya alam (biomass), dalam hal ini tandan buah segar kelapa sawit, sangat penting dalam rangka meningkatkan nilai tambah yang dapat dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit. Pemanfaatan hasil samping dan limbah pengolahan kelapa sawit sangat penting dalam rangka peningkatan nilai tambah dan meminimalkan dampak lingkungan termasuk mengurangi emisi GRK. Pengembangan produk hilir juga sangat diperlukan dalam rangka menjamin kemandirian bangsa dalam pemenuhan produk-produk konsumsi berbasis kelapa sawit serta mendapatkan nilai tambah dan menciptakan lapangan kerja baru.

BAB II. STUDI PUSTAKA

2.1. Perkembangan Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan salah satu tanaman perkebunan yang berperan penting bagi sub sektor perkebunan di Indonesia. Industri sawit berkembang pesat dengan dukungan pertumbuhan perkebunan yang sangat pesat pula hingga mencapai lebih dari 6,3 juta hektar yang terdiri dari sekitar 60% yang diusahakan oleh perkebunan besar dan 40% oleh perkebunan rakyat. Pertumbuhan pesat juga terjadi pada ke dua jenis pengusahaan yaitu perkebunan besar dan perkebunan rakyat. Sampai dengan tahun 2007 tercatat 965 perusahaan dengan luas perkebunan 3,753 juta hektar yang dimiliki oleh perkebunan negara swasta nasional dan asing, sementara perkebunan rakyat telah mencapai 2,565 juta hektar, seperti yang terlihat pada Tabel 1. Pengembangan komoditas kelapa sawit telah membuka kesempatan bagi petani untuk lebih meningkatkan pendapatannya serta menciptakan lapangan kerja baru.

Tabel 1. Luas areal perkebunan (Ha) berdasarkan kepemilikan.

Tahun	Rakyat	Negara	Swasta	Total
2006	2.536.508	692.204	3.056.248	6.284.960
2007	2.752.173	685.087	3.416.656	6.853.916
2008	2.881.899	626.666	3.825.142	7.333.707
2009	3.061.412	651.216	4.236.671	7.949.389
2010	3.387.258	658.492	4.503.078	8.548.828
2011	3.468.552	676.823	4.629.319	8.774.694
2012*	3.536.487	688.957	4.717.989	8.943.433

Keterangan: * Angka estimasi (Sumber: BPS, 2012)

Peningkatan pengusahaan komoditas kelapa sawit oleh petani merupakan suatu perkembangan yang luar biasa mengingat pada awal pengenalannya hanya seluas 3.125 hektar pada tahun 1979 atau hanya sekitar 1,20% dari total perkebunan sawit yang ada ketika itu. Kelapa sawit di Indonesia diolah menjadi minyak sawit kasar atau *crude palm oil* (CPO) dan minyak inti sawit atau *palm kernel oil* (PKO). Menurut Ditjen Perkebunan (2005), industri yang mengolah tandan buah segar (TBS) kelapa sawit menjadi CPO dan PKO terus mengalami peningkatan yang sejalan dengan peningkatan luas areal tanam dan produksi kelapa sawit seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Sampai dengan saat ini, unit pengolahan CPO

di Indonesia mencapai sekitar 320 unit dengan kapasitas olah sekitar sebanyak lebih dari 17.000 ton TBS/jam. Sumatera sebagai sentra produksi kelapa sawit di Indonesia menyumbang 70% dari total produksi nasional.

Tabel 2. Produksi CPO (ribu ton) dan inti sawit Indonesia tahun 2004 s/d 2012.

Tahun	CPO	Inti Sawit
2006	16.569.927	3.428.700
2007	17.796.374	4.017.477
2008	19.400.794	4.379.963
2009	21.390.326	4.829.123
2010	22.496.853	5.077.818
2011	22.899.108	5.169.555
2012*	23.471.238	5.298.136

Keterangan: * : Angka estimasi (Sumber: BPS, 2012).

Indonesia kini merupakan penghasil utama minyak kelapa sawit di dunia, mencapai 25,40 juta ton atau sekitar 48,6 % dari total produksi minyak sawit dunia (Tabel 3). Indonesia bersama Malaysia menghasilkan sekitar 80% minyak sawit dunia.

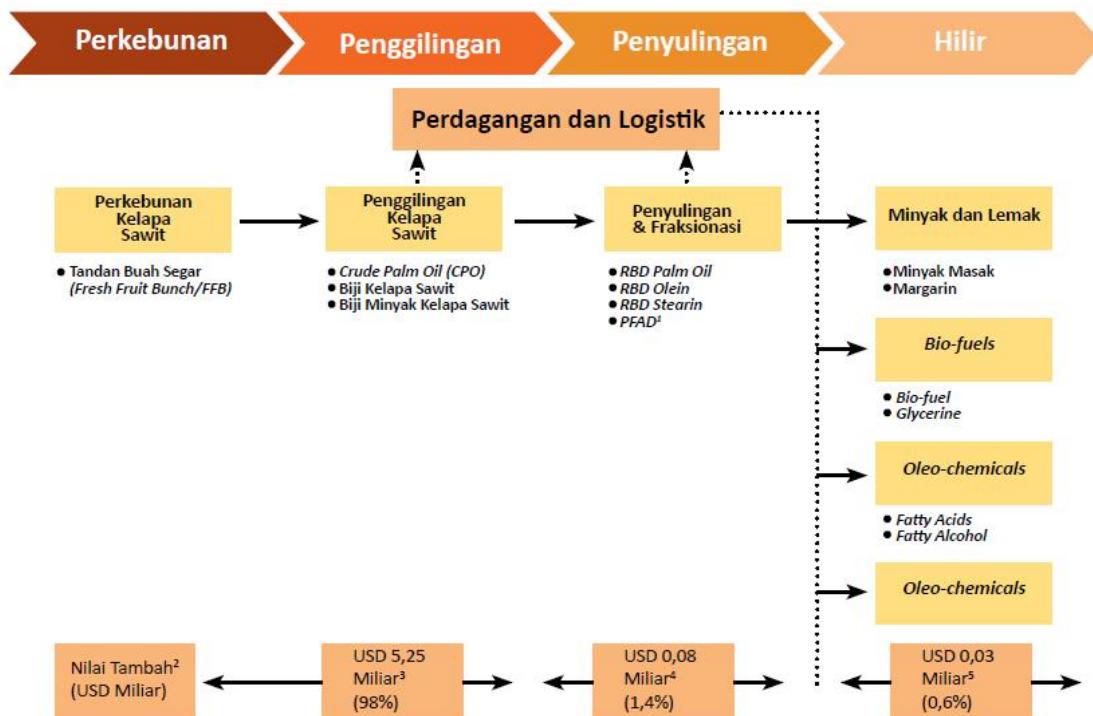
Tabel 3. Produksi minyak sawit dunia (juta ton)

Negara	2009	2010	2011	2012F
Indonesia	21,00	22,10	23,90	25,40
Malaysia	17,57	16,99	18,91	19,20
Amerika Tengah dan Selatan	2,40	2,33	2,73	2,87
Negara lain	4,30	4,44	4,64	4,81
Dunia	45,27	45,86	50,18	52,28

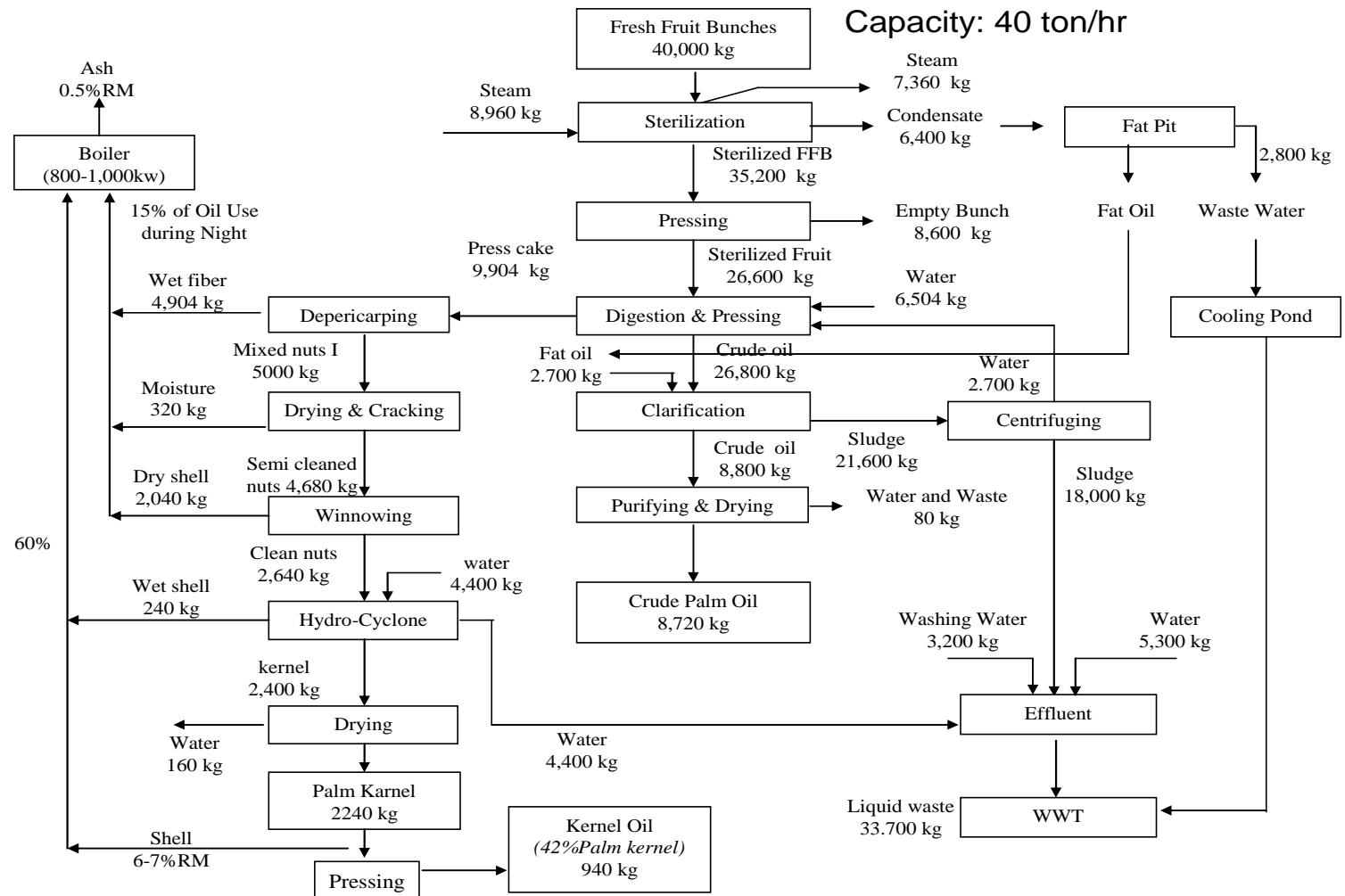
Kelapa sawit adalah sumber minyak nabati terbesar di dunia dengan permintaan yang terus meningkat sebesar 5 %/tahun. Cerahnya prospek komoditi minyak kelapa sawit dalam perdagangan minyak nabati dunia telah mendorong pemerintah Indonesia untuk memacu pengembangan areal perkebunan kelapa sawit. Industri kelapa sawit tumbuh pesat dan pada tahun 2012 ini produksi minyak kelapa sawit diproyeksikan tumbuh 6,4% sehingga produksi minyak sawit Indonesia akan mencapai 25 juta ton.

Pertumbuhan produksi kelapa sawit di Indonesia yang sebesar 7,8 persen per tahun juga lebih baik dibanding Malaysia yang sebesar 4,2 persen per tahun (Tim MP3EI. 2011). Produktivitas industri kelapa sawit sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh keberhasilan di tingkat perkebunan (kondisi tanah dan iklim) dan pengolahan. Perusahaan yang mempunyai management yang baik akan menghasilkan produktivitas yang tinggi, yaitu sekitar 23 ton tandan buah segar (TBS)/ha/tahun dengan rendemen minyak (CPO) sekitar 24%. Sedangkan produktivitas rendah berkisar pada 13 ton TBS/ha/tahun dengan rendemen CPO sekitar 18% (Daryono. 2009).

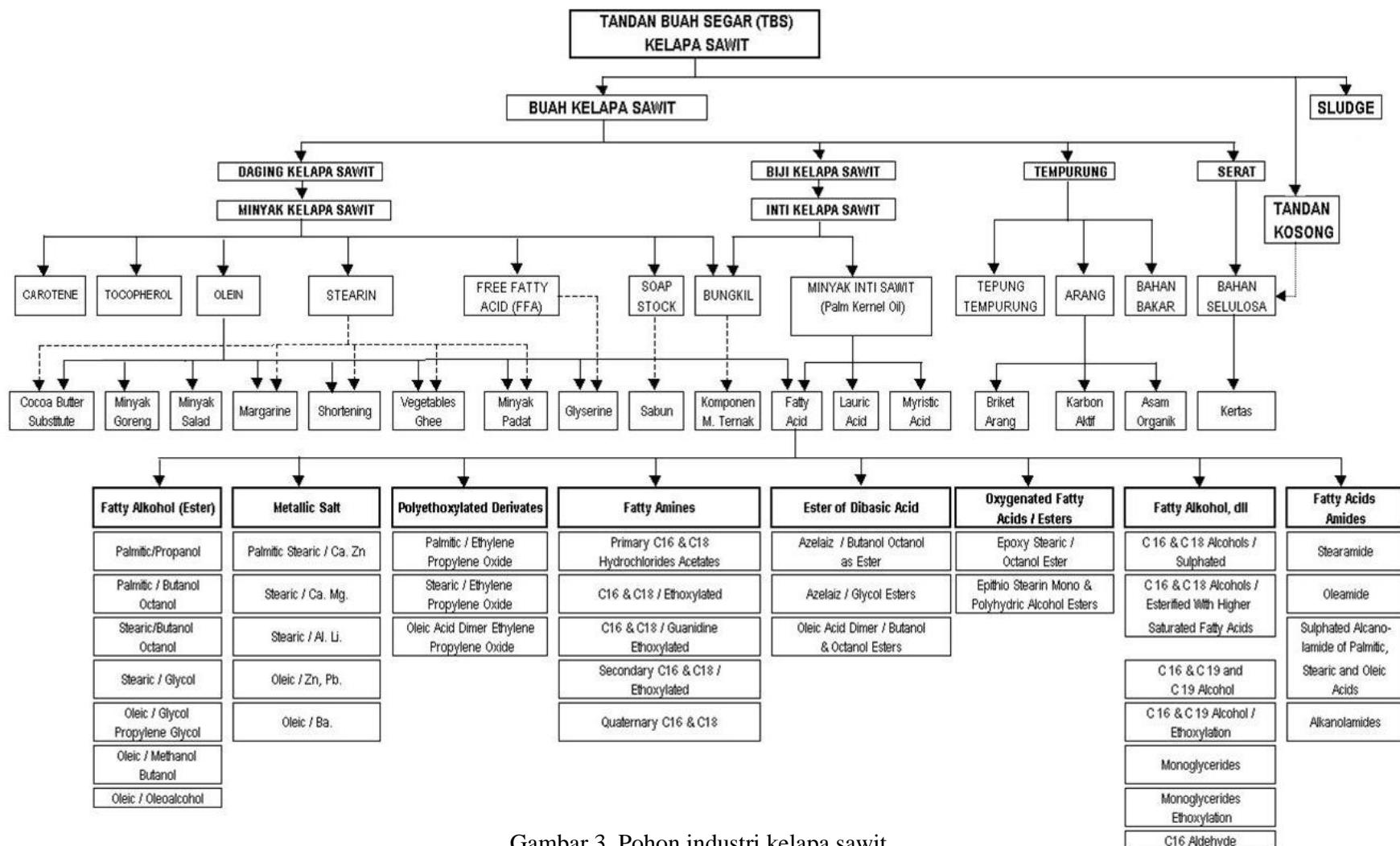
Potensi nilai tambah yang signifikan terdapat di industri hulu kelapa sawit, sehingga peningkatan produktivitas kebun menjadi sangat penting. Peningkatan nilai tambah dari industri hilir tidak terlalu signifikan. Gambar 1 memperlihatkan rantai nilai tambah industri kelapa sawit dari mulai perkebunan, penggilingan, penyulingan, dan pengolahan kelapa sawit di industri hilir. Walaupun demikian pengembangan industri hilir juga perlu dilakukan dalam rangka menjamin kemandirian bangsa dalam memenuhi kebutuhan konsumsi masyarakatnya serta penguasaan teknologi dan penciptaan lapangan kerja baru.



Gambar 1. Rantai nilai tambah industri kelapa sawit dari mulai perkebunan, penggilingan, penyulingan, dan pengolahan kelapa sawit di industri hilir (Sumber: Analisis Tim MP3EI, 2011)



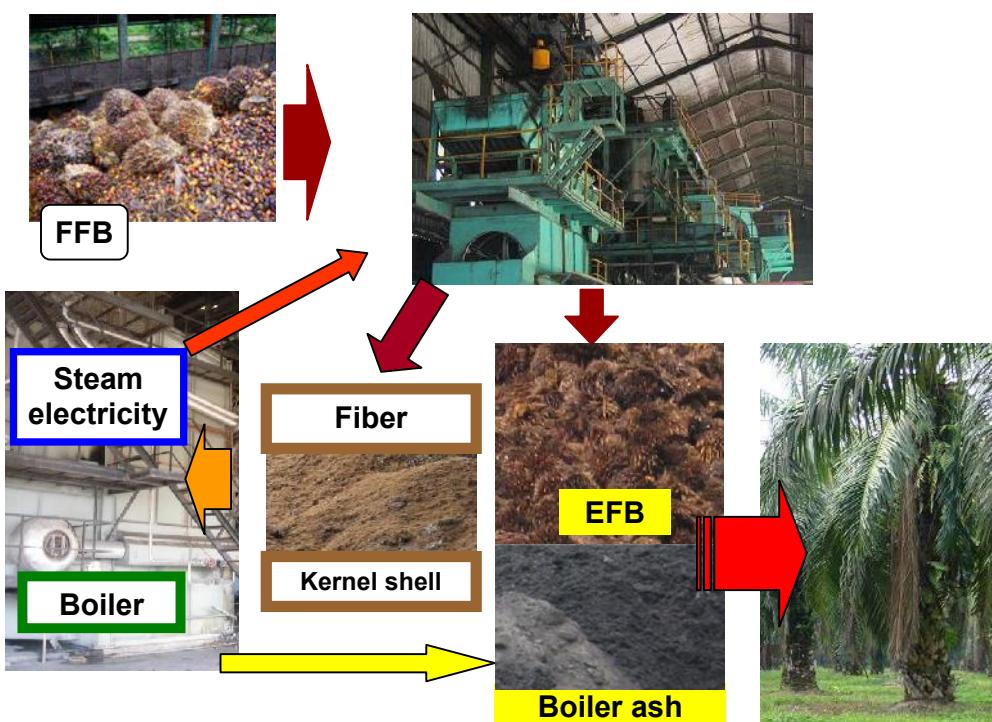
Gambar 2. Diagram dan keseimbangan masa proses pengolahan kelapa sawit dengan kapasitas 40 ton TBS/jam



Gambar 3. Pohon industri kelapa sawit

Diagram skematik pengolahan minyak kelapa sawit dan jumlah dan jenis produk serta limbah yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan perhitungan dalam diagram tersebut, proses pengolahan kelapa sawit menghasilkan limbah padat dalam bentuk tandan kosong kelapa sawit (TKS), sabut, dan cangkang sekitar 40% dari berat TBS. Potensi pengembangan industri hilir berbasis kelapa sawit diperlihatkan pada Gambar 3.

Industri kelapa sawit menghasilkan limbah padat, yaitu tandan kosong kelapa sawit (TKS), sabut, cangkang, dan abu boiler, masing-masing sebesar 0,20, 0,13, 0,05, dan 0,005 ton/ton TBS. Pemanfaatan limbah biomassa industri kelapa sawit saat ini adalah terutama untuk memenuhi kebutuhan energi dan kebutuhan steam untuk proses pengolahan kelapa sawit (Gambar 4). Pemanfaatan limbah biomassa kelapa sawit dilakukan dengan cara pembakaran sabut dan cangkang secara langsung di dalam unit boiler. Sebanyak 85% sabut dan 55% cangkang digunakan sebagai bahan bakar system boiler untuk menghasilkan listrik dan uap yang dibutuhkan untuk proses pengolahan kelapa sawit. Dari sistem boiler ini akan dihasilkan abu boiler. Sisa sabut dan cangkang saat ini tidak digunakan atau dijual ke industri lain seperti untuk pembangkit listrik independen (Gambar 5).



Gambar 4. Pemanfaatan limbah biomassa di agro-industri kelapa sawit



Gambar 5. Pembangkit Listrik Tenaga Uap Listrindo Kencana (Bangka) menggunakan bahan bakar limbah padat kelapa sawit (cangkang, fiber, dan janjang kosong).

Sementara itu, tandan kosong, air limbah, dan abu boiler dari pengolahan kelapa sawit dikembalikan ke kebun dan digunakan sebagai pupuk untuk mengurangi penggunaan pupuk kimia serta mempertahankan kesuburan tanah (Gambar 6). Tandan kosong kelapa sawit juga dapat dimanfaatkan untuk pembuatan kompos (Gambar 7). Dibandingkan penggunaan TKS untuk mulsa secara langsung di kebun, pemanfaatan unsur hara dari kompos oleh tanaman kelapa sawit relatif lebih mudah. Walaupun demikian mulsa TKS juga berfungsi untuk menjaga kelembaban tanah dan menyerap air dan mineral yang penting bagi tanaman.



Gambar 6. Pemanfaatan TKS untuk mulsa di perkebunan kelapa sawit



Gambar 7. Pembuatan kompos dari tandan kosong kelapa sawit

Pabrik pengolahan kelapa sawit juga menghasilkan air limbah dalam jumlah sekitar $1 \text{ m}^3/\text{ton TBS}$. Umumnya air limbah ini diolah menggunakan kolam-kolam pengolah limbah dan untuk kemudian dialirkan ke kebun untuk *land application* (Gambar 8).



Gambar 8. Pemanfaatan air limbah kelapa sawit untuk mengairi kebun kelapa sawit (*land application*)

Melalui teknologi penguraian anaerobik, air limbah juga dapat diproses untuk menghasilkan biogas (Gambar 9) dengan komposisi utama gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Gas CH_4 merupakan gas rumah kaca yang mempunyai efek pemanasan global 21 kali lebih tinggi dari gas CO_2 . Tetapi CH_4 dapat digunakan sebagai bahan bakar yang merupakan sumber energi terbarukan. Pemanfaatan air limbah pabrik pengolahan kelapa sawit untuk sumber energi dapat memberikan tiga kemanfaatan sekaligus, yaitu: (1) memberi kontribusi terhadap pengurangan pencemaran lingkungan, (2) mengurangi penggunaan bahan bakar fosil, dan (3) mengurangi pemanasan global.



Gambar 9. Digester biogas tipe covered lagoon berukuran 50 m x 110 m dengan kedalaman 6,5 m di PKS Tandun, PTPN V Riau, menjadi sumber bahan bakar PLT Biogas dengan kapasitas 1 MW.

Air limbah kelapa sawit juga dapat dimanfaatkan untuk budidaya algae (Gambar 10) yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan dari kosmetik, pakan, makanan suplemen, dan bahan bakar (biodiesel). Budidaya algae sangat prospektif karena pertumbuhan yang cepat dan produktivitas yang tinggi. Panen perdana budidaya algae dapat dilakukan antara 7 – 10 setelah tanam. Selanjutnya panen dapat dilakukan dua hari sekali selama 30 hari. Pemanenan algae spirulina cukup mudah, yaitu dengan memompakan air ke suatu tangki yang diberi saringan kain. Algae akan tersaring dan airnya dikembalikan lagi ke kolam. Pemanenan algae chlorella relatif lebih sulit karena ukuran algae yang lebih kecil sehingga tidak bisa disaring

menggunakan saringan kain. Saat ini pemanenan dilakukan dengan metode flokulasi dengan cara menambahkan tawas. Algae akan mengendap sehingga dapat dipisahkan dari airnya. Selanjutnya algae dikeringkan hingga mencapai kadar air sekitar 10%.



Gambar 10. Budidaya algae skala pilot di PTPN VII UU Bekri

Keberlanjutan (sustainability) dari aplikasi teknologi zero emission dapat dinilai dari berberapa indikator, baik dari indikator ekonomi, sosial, dan lingkungan.

Indikator Ekonomi

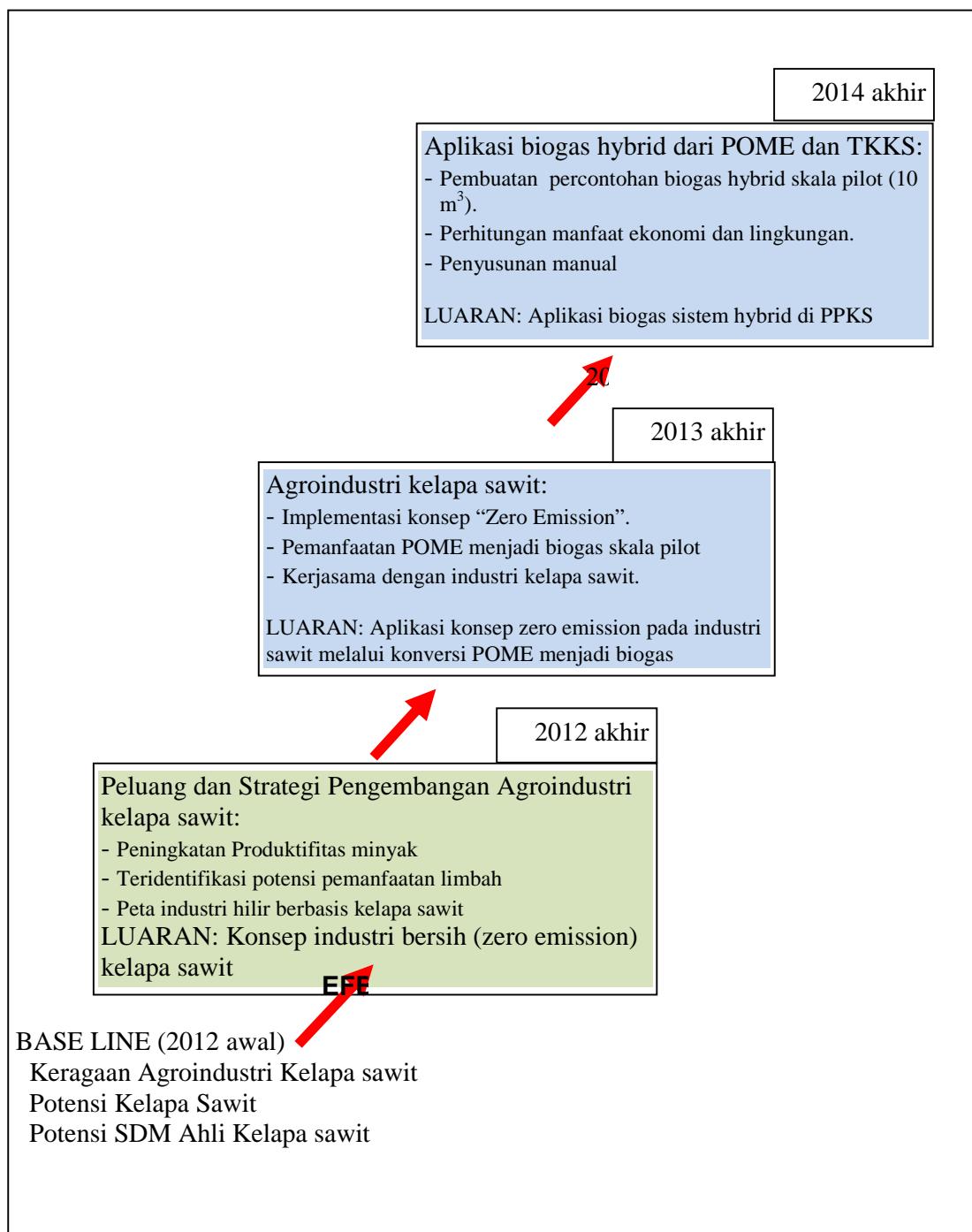
Manfaat ekonomi dari aplikasi teknologi zero emission diantaranya dapat dinilai dari aspek profit (keuntungan) neto yang diperoleh perusahaan, yaitu pendapatan dikurangi biaya

Indikator Lingkungan

Manfaat lingkungan dari aplikasi teknologi zero emission dapat dinilai emisi gas rumah kaca yang ditimbulkannya. Gas rumah kaca yang umum meliputi CO₂, CH₄, SO_x, dan NO_x. Dalam hal ini, emisi gas rumah kaca akan diperhitungkan sebagai emisi CO₂ ekivalen dan jumlah kontribusi gas rumah kaca non CO₂ diperhitungkan berdasarkan pada potensi pemanasan global gas rumah kaca tersebut (IPCC, 2007)

BAB III. PETA JALAN

Peta jalan penelitian yang telah dan akan dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Peta jalan penelitian selama 3 tahun (2012-2014)

BAB IV. MANFAAT

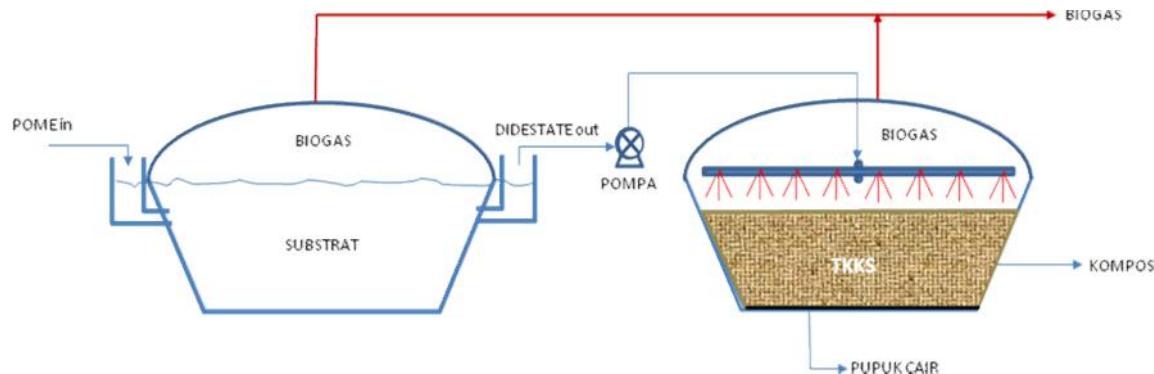
Manfaat yang dihasilkan dari penelitian adalah :

1. Adanya aplikasi teknologi pemanfaatan limbah cair (POME) dan tandan kosong kelapa sawit secara hybrid yang dapat meningkatkan produksi biogas, kompos, dan pupuk cair yang lebih baik dan dapat mengurangi emisi GRK.
2. Tersedianya strategi pengembangan pengelolaan limbah industri sawit berbasis konsep “Zero Emission”.
3. Terciptanya kerjasama antara peneliti dengan industri kelapa sawit di daerah Lampung dalam pengembangan biogas hybrid sehingga dapat mempercepat tercapainya agroindustri kelapa sawit yang mempunyai produktivitas tinggi, effisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

BAB V. METODE

Metode penelitian yang akan dilakukan dalam meliputi survey lapangan dan pembuatan contoh digester sistem hybrid dari POME dan TKKS untuk menghasilkan biogas, kompos, dan pupuk cair skala kecil (5 m^3). Analisis manfaat ekonomi dan lingkungan didasarkan pada data kinerja digester. Adapun tahapan-tahapan metode penelitian yang akan dilakukan pada tahun III adalah sebagai berikut :

1. Survey lapangan (ke pabrik pengolah kelapa sawit Bekri)
2. Penelitian produksi biogas dari TKKS melalui proses fermentasi kering.
3. Penelitian digester biogas sistem hybrid skala kecil bekerjasama dengan pabrik kelapa sawit (sketsa pada Gambar 12). Berdasarkan perhitungan, efluen dari digester 5 m^3 dapat digunakan untuk melakukan pengomposan 1,6 ton TKKS secara anaerobik (dry fermentation).
4. Evaluasi manfaat ekonomi dan lingkungan aplikasi teknologi biogas dari POME.
5. Penyusunan manual biogas dari POME.
6. Sosialisasi hasil penelitian kepada industri kelapa sawit kepada para pemangku kepentingan (stake holder).



Gambar 12. Skema digester biogas sistem hybrid dari POME dan TKKS.

BAHAN DAN PROSEDUR

Penelitian produksi biogas dari TKKS melalui proses fermentasi kering dilakukan pada bulan Februari - Mei 2014 di Laboratorium Daya dan Alat Mesin Pertanian Jurusan Teknik

Pertanian dan Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah tandan kosong kelapa sawit yang diperoleh dari PTPN 7 unit usaha Rejosari Natar Lampung Selatan, kotoran sapi dari warga Desa Sidosari, Natar, Lampung Selatan dan efluen (*digestate*) sisa produksi biogas menggunakan limbah cair produksi kelapa sawit milik Jurusan Teknologi Hasil Pertanian (THP), Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah drum plastik ukuran 220 liter sebagai digester, pipa paralon, pompa air, selang, kran air, ember, galon air 19 liter sebagai penampung gas hasil produksi, bak penampung sumber bakteri, panel buka tutup, *gas chromatograph* dan alat tulis.



Gambar 13. Rangkaian penelitian produksi biogas dari TKKS melalui proses fermentasi kering

Pada penelitian ini dilakukan dua perlakuan berdasarkan perbandingan antara bahan baku limbah dan kosong kelapa sawit dan sumber bakteri yang berupa kotoran sapi dan *digestate* sisa produksi biogas dari limbah cair produksi kelapa sawit. Sebelum dicampurkan dengan sumber bakteri limbah tandan kosong kelapa sawit telebih dahulu diproses menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan digunakan apa adanya tanpa pelakuan khusus tertentu. Perbandingan berat antara limbah TKKS dan kedua sumber bakteri adalah 4 : 1. Selanjutnya setiap hari dilakukan penyiraman sumber bakteri sebanyak 10 liter cairan sumber bakteri yang berfungsi untuk melembabkan bahan TKKS dan memberi pasokan bakteri pembentuk biogas. Produksi gas dihitung setiap harinya untuk mengetahui jumlah produksi harian dan produksi kumulatif. Komposisi biogas diukur menggunakan alat *gas chromatograph* (GC Shimadzu C114843) di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Pada awal dan akhir penelitian juga dilakukan pengukuran kadar air dan nilai organik bahan untuk mengetahui produktivitas pembentukan biogas.

BAB VI. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Selama proses produksi biogas diandai dengan terjadinya penuruan kadar bahan organik atau *volatile solids* (VS) seperti telihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Analisa Proksimat Bahan Tandan Kosong Kelapa Sawit

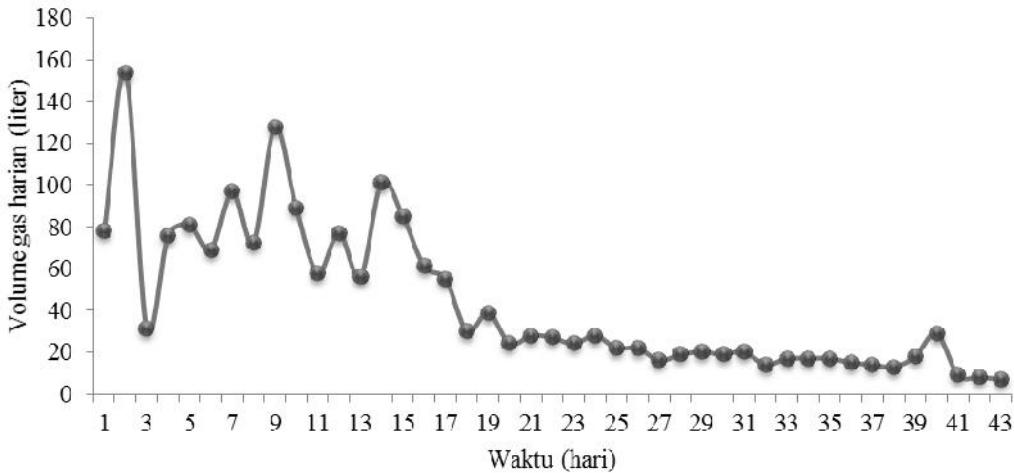
Analisa	Satuan	Persentase Dalam Bahan Awal	Persentase dalam Bahan Akhir Perlakuan TKKS+KS	Persentase dalam Bahan Akhir Perlakuan TKKS+Efluen
Kadar Air	% W basah	64,2 %	75,1 %	72,9 %
<i>Total Solids</i>	% W basah	35,8 %	24,9 %	27,1 %
<i>Organic Matter</i>	% TS	91,6 %	88 %	88,9 %
Abu	% TS	8,4 %	12 %	11,1 %

*) KS = kotoran sapi

Produksi biogas yang diperoleh dari bahan TKKS dengan sumber bakteri kotoran sapi menghasilkan produksi biogas total sebesar 1.561,4 liter dengan produksi rata-rata sebesar 38 liter, kadar CH₄ sebesar 36,1 % dan produktivitas biogas sebesar 1.074,6 l kg⁻¹ VS_{removed}. Produksi biogas yang diperoleh dari bahan TKKS dengan sumber bakteri efluen menghasilkan produksi biogas total sebesar 1.235 liter dengan produksi rata-rata sebesar 26,8 liter, kadar CH₄ sebesar 40,1 % dan produktivitas biogas sebesar, 1.120,6 l kg⁻¹ VS_{removed}.

Perlakuan campuran bahan Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Kotoran Sapi memiliki *Solid Retention Time* (SRT) atau waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan biogas selama 41 hari. Perlakuan campuran bahan tadan Kosong Kelapa Sawit dan digestate sisanya produksi biogas dari limbah cair kelapa sawit memiliki SRT selama 46 hari.

Volume gas harian yang dihasilkan dari digester biogas *dry fermentation* menggunakan bahan limbah tandan kosong kelapa sawit dicampur kotoran sapi dengan perbandingan bahan 4:1 ditampilkan pada Gambar 14.



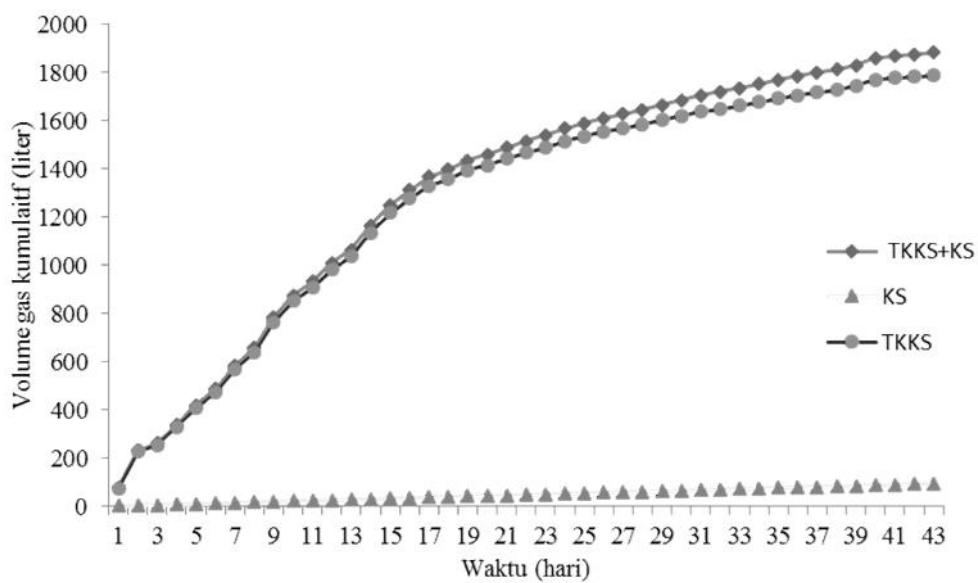
Gambar 14. Grafik Total Produksi Biogas Harian Perlakuan TKKS+KS

Pada perlakuan ini terjadi lonjakan produksi gas yang sangat signifikan pada hari ke-1 yaitu 78 liter dan hari ke-2 154 liter, namun menurun drastis pada hari ke-3 yaitu 31 liter. Hal ini disebabkan karena masih terjadinya proses respirasi bahan organik yang terdapat pada bahan limbah tandan kosong kelapa sawit dan kotoran sapi. Proses respirasi itu sendiri merupakan proses penguraian zat pati dengan memanfaatkan oksigen. Hal ini terjadi karena masih terdapat udara di dalam digester pada dua hari pertama. Pada hari ke-3 produksi gas menurun drastis yang menunjukkan bahwa gas oksigen telah habis sehingga bahan tidak lagi melakukan respirasi.

Pada hari ke-4 produksi gas kembali menaik yang mana menunjukkan proses anaerobik telah berlangsung, dan digester mulai menghasilkan biogas. Produksi biogas cendrung naik hingga mencapai maksimal pada hari ke-9 yaitu 128 liter/hari. Setelah itu produksi biogas cendrung turun hingga hanya menghasilkan 7 liter/hari pada hari ke-43 seperti terlihat pada Gambar 1. Dari gambar tersebut terlihat bahwa setelah hari ke-41 praktis produksi biogas sudah tidak signifikan. Hal ini dimungkinkan karena *leachate* (sumber bakteri yang terus di *recycle*) yang dipergunakan semakin banyak mengandung ammonia yang menghambat pembentukan biogas, koloni bakteri yang terlah jauh berkurang dan apabila dilihat dari

tekstur serat TKKS yang masih kuat maka dimungkinkan bahwa bahan lain yang terkandung dalam TKKS selain serat telah habis terdegradasi. Masih kuatnya serat menunjukkan bahwa proses produksi biogas sebenarnya masih bias dilanjutkan dengan melakukan penambahan sumber bakteri baru.

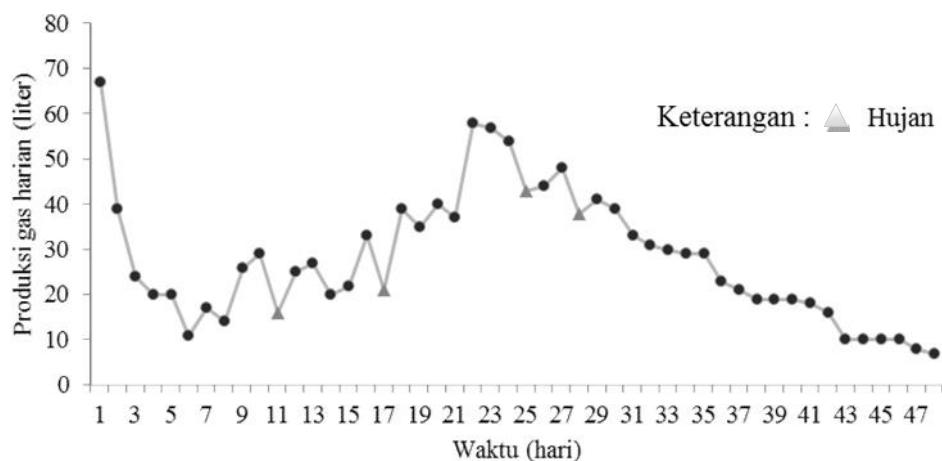
Volume gas kumulatif dihitung dengan mengakumulasi volume gas harian dikurangi volume gas harian selama periode respirasi yaitu hari ke-1 sampai hari ke-2. Hal ini dilakukan karena selama periode respirasi gas CH₄ belum terbentuk karena masih adanya peran oksigen. Selain dikurangi volume gas harian selama periode respirasi, volume gas kumulatif pada perlakuan ini juga perlu dikurangi dengan produksi biogas yang berasal dari sumber bakteri kotoran sapi untuk mendapatkan data hasil produksi biogas yang hanya berasal darai bahan TKKS. Data rata-rata produksi biogas yang berasal dari kotoran sapi didapat dari penelitian yang dilakukan oleh Cahyani pada tahun 2013. Data hasil volume gas kumulatif dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Total Produksi Biogas Kumulatif Perlakuan TKKS+KS

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa total produksi biogas pada perlakuan ini sebanyak 1.884 liter, produksi gas pada periode respirasi hari ke-1 dan hari ke-2 sebesar 232 liter dan produksi yang berasal dari kotoran sapi sebesar 90,6 liter (Cahyani, 2013), sehingga total produksi biogas kumulatif pada Perlakuan TKKS sumber bakteri kotoran sapi adalah sebesar 1.561,4 liter dengan rata-rata produksi biogas adalah 38 liter/hari.

Volume gas harian yang dihasilkan dari digester biogas *dry fermentation* menggunakan bahan limbah tandan kosong kelapa sawit dicampur efluen (*digestate*) dari produksi biogas sistem basah dari limbah cair kelapa sawit dengan perbandingan bahan organik 4:1 ditampilkan pada Gambar 16.

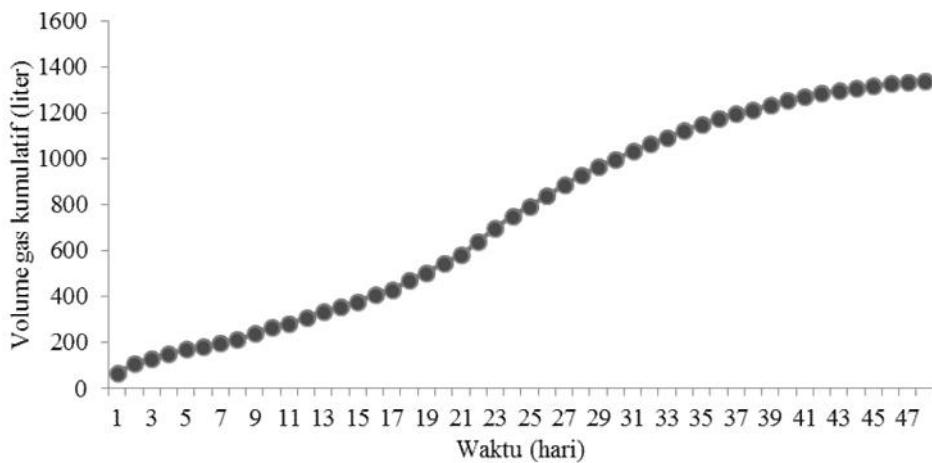


Gambar 16. Grafik Total Produksi Biogas Harian Perlakuan TKKS+*Digestate*

Pada perlakuan ini serupa dengan perlakuan TKKS sumber bakteri kotoran sapi pada hari ke-1 dan ke-2 produksi sangat tinggi dikarenakan periode fermentasi. Produksi biogas cendrung naik hingga mencapai maksimal pada hari ke-22 yaitu 58 liter/hari dan cendrung turun setelahnya hingga hanya memproduksi biogas sebanyak 7 liter pada hari ke-48 seperti terlihat pada Gambar 3, pada gambar tersebut juga terlihat perjadi penurunan produksi biogas yang cukup signifikan pada hari ke-12, ke-18, ke-25 dan ke-28 hal ini disebabkan oleh letak

digester pada perlakuan ini berada diluar ruangan dan pada hari tersebut terjadi hujan sehingga menurunkan produksi biogas.

Volume gas kumulatif dihitung dengan mengakumulasi volume gas harian dikurangi volume gas harian selama periode respirasi yaitu hari ke-1 dan hari ke-2. Hal ini dilakukan karena selama periode respirasi gas CH₄ belum terbentuk karena masih adanya peran oksigen. Data hasil volume gas kumulatif dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Total Produksi Biogas Kumulatif Perlakuan TKKS+*Digestate*

Berbeda dengan perlakuan TKKS sumber bakteri kotoran sapi sumber bakteri pada perlakuan ini berasal dari *digestate* digester produksi biogas dari limbah cair produksi kelapa sawit. Produksi kumulatif produksi biogas pada perlakuan ini tidak perlu dikurangi produksi dari *digestate* karena peruntukan *digestate* hanya sebagai sumber bakteri dan melembabkan bahan TKKS. Di samping itu sirkulasi dilakukan setiap hari selama masa produksi, dikarenakan *digestate* berupa cairan sehingga tidak ada padatan yang tertinggal pada bahan yang dapat mempengaruhi produksi biogas.

Total produksi biogas pada perlakuan TKKS sumber bakteri *digestate* selama 48 hari yaitu sebesar 1.341 liter dikurangi produksi pada periode respirasi sebesar 106 liter sehingga

produksi kumulatif biogas pada perlakuan TKKS sumber bakteri *digestate* adalah sebesar 1.235 liter dengan rata-rata produksi biogas adalah 26,8 liter/hari.

Kadar CH₄ pada biogas yang dihasilkan pada perlakuan TKKS sumber bakteri *digestate* dengan kadar CH₄ sebesar 40,1 % sedikit lebih besar daripada kadar CH₄ yang dihasilkan pada perlakuan TKKS sumber bakteri kotora sapi yang hanya 36,1 %. Data pengukuran komposisi biogas menggunakan *gas chromatograph* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Komposisi Biogas Hasil Penelitian

Unit Biogas	Perlakuan TKKS+KS	Perlakuan TKKS+Efluen
N ₂	21.5 %	13.1 %
CH ₄	36.1 %	40.1 %
CO ₂	42.2 %	46.7 %

Secara umum produksi biogas dengan perlakuan TKKS sumber bakteri kotoran sapi dan perlakuan TKKS sumber bakteri *digestate* dapat dikatakan setara, hal ini tentunya memerlukan penelitian lanjutan untuk dapat mengoptimalkan produksi biogas menggunakan teknologi *dry fermentation* baik dari segi produktivitas sampai dengan komposisi biogas dengan melakukan modifikasi pada alat maupun perlakuan sehingga dihasilkan produk biogas yang lebih baik lagi.

BAB V. SIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian produksi biogas yang diperoleh dari bahan TKKS dengan sumber bakteri Kotoran Sapi menghasilkan produksi biogas total sebesar 1.561,4 liter dengan kadar CH₄ sebesar 36,1 % dan produktivitas biogas sebesar 1.074,6 l kg⁻¹ VS_{removed} selama 41 hari. Produksi biogas yang diperoleh dari bahan TKKS dengan sumber bakteri *digestate* menghasilkan produksi biogas total sebesar 1235 liter, kadar CH₄ sebesar 40,1 % dan produktivitas biogas sebesar 1.120,6 l kg⁻¹ VS_{removed} selama 46 hari. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa produksi biogas menggunakan limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) melalui proses *dry fermentation* berhasil dan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk skala yang lebih besar dan pemilihan sumber bakteri yang tepat dapat meningkatkan produksi biogas.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. 2012. Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2011. Jakarta.
- Daryono, M. 2009. Keberpihakan BUMN terhadap Riset dan Pengembangan Kelapa Sawit Indonesia. Seminar Tahunan Masyarakat Perkelapasawitan Indonesia. Bogor.
- Departemen Perindustrian. 2007. *Gambaran Sekilas Industri Kelapa Sawit*. Pusat data dan Informasi Departemen Peindustrian. Jakarta.
- ERIA (Economic Research Institute for ASEAN and East Asia), 2010, Sustainability assessment methodology for biomass energy utilisation for small and large scale initiatives: lessons learned from pilot studies in selected East Asian countries. Jakarta.
- FAO. 2012. FAOSTAT (<http://faostat.fao.org> visited 15 April 2012)
- Hasanudin, U. 2008. “The Biomass Utilization from Agroindustries in Indonesia”. *Biomass Sustainable Utilization Working Groups Discussion*. November, 28-29th 2008, Jakarta.
- Hasanudin, U. dan E. Suroso. 2009. Pemanfaatan Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi dan Upaya Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca. Seminar Tahunan Masyarakat Perkelapa Sawitan Indonesia (MAKSI), 24-25 November 2009. Bogor.
- Hasanudin, U. 2010. *Penerapan Pedoman Pengelolaan Limbah Agroindustri Kelapa Sawit*. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.
- IPCC (International Panel on Climate Change), 2007, IPCC fourth assessment report: Climate Change 2007 (AR4).
- Kementerian Koordinator Bidang Ekonomi. 2011. *Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia*. Deputi Bidang Infrastruktur dan Pengembangan Wilayah. Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian. Jakarta.

LAMPIRAN

PRODUKSI BIOGAS DARI LIMBAH TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT MELALUI PROSES *DRY FERMENTATION*

Nanda Efan Apria, Agus Haryanto, Cicih Sugianti, Sugeng Triyono

Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung
E-mail: nanda.efan@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil produksi biogas yang dihasilkan dari limbah tandan kosong kelapa sawit melalui proses *dry fermentation*. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Daya dan Alat Mesin Pertanian Jurusan Teknik Pertanian dan Laboratorium Pengolahan Limbah Agroindustri Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada bulan Februari sampai Mei 2014. Penelitian dilakukan dengan dua perlakuan yaitu menggunakan tandan kosong kelapa sawit dengan inokulum kotoran sapi dan tandan kosong kelapa sawit dengan inokulum *digestate* sisa produksi biogas menggunakan limbah cair roduksi kelapa sawit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produktivitas biogas dari limbah TKKS dengan inokulum kotoran sapi mencapai $1.074,6 \text{ l kg}^{-1} \text{ VS}_{\text{removed}}$ dengan *HRT* 41 hari lebih besar dari produktivitas biogas dari limbah TKKS dengan inokulum *digestate* yang sebesar $1.120,6 \text{ l kg}^{-1} \text{ VS}_{\text{removed}}$ dengan *HRT* 46 hari. Namun kandungan CH_4 pada hasil produksi biogas dari limbah TKKS dengan inokulum *digestate* yang mencapai 40,1 % lebih besar dibandingkan dengan kandungan CH_4 pada hasil produksi biogas dari limbah TKKS dengan inokulum kotoran sapi yang hanya mencapai 36,1 %.

Kata Kunci : *Dry Fermentation*, Limbah TKKS, Produksi Biogas.

PENDAHULUAN

Memasuki abad ke-21 energi menjadi persoalan yang sangat kritis di dunia (Sukmana dan Mulyajatiningrum, 2011). Peningkatan permintaan energi, menipisnya sumber cadangan minyak dunia, permasalahan emisi, serta peningkatan harga minyak dunia hingga mencapai 100 \$ per barel, menjadi masalah yang serius yang menimpa banyak negara di dunia (Sarjono dan Ridlo, 2013). Hal ini memberikan tekanan kepada negara-negara di dunia untuk mencari sumber energi alternatif atau sumber energi yang dapat diperbarui. Berbagai upaya mencari energi alternatif berkembang di seluruh dunia guna menghemat cadangan energi fosil khususnya minyak bumi yang ada saat ini.

Biogas merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat dikembangkan sebagai pengganti bahan bakar fosil (Haryati, 2006). Bahan substrat umum yang dapat digunakan sebagai bahan baku biogas adalah limbah yang mudah terurai (*biodegradable*). Limbah organik yang

mudah terurai dapat diperoleh dari pertanian, industri, perumahan, maupun peternakan. Salah satu limbah yang berpotensi besar sebagai substrat untuk produksi adalah limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) karena jumlahnya yang melimpah di Indonesia. Dengan jumlah produksi kelapa sawit di Indonesia yang sangat besar yaitu lebih dari 26 juta ton tandan buah segar (TBS) pada tahun 2012 dengan persentase rata-rata pertumbuhan mencapai 12% pertahun, maka limbah tandan kosong kelapa sawit yang memiliki persentase sebesar 22%-24% dari TBS memiliki potensi yang sangat besar untuk dikelola sebagai sumber energi alternatif (Dirjen Perkebunan, 2012).

Dewasa ini pengelolaan limbah tandan kosong kelapa sawit antara lain dengan memanfaatkannya sebagai bahan pupuk kompos, bahan pembuatan bioetanol dan bahan penyerap air pada daerah dengan tekstur berpasir dan memiliki curah hujan rendah. Salah satu metoda lain pengelolaan limbah tandan kosong kelapa sawit ini adalah dengan mengolahnya menjadi bahan penghasil biogas melalui proses *dry fermentation*. *Dry fermentation* atau fermentasi kering adalah salah satu metoda pencernaan anaerobik (*anaerobic digestion*) yang memerlukan ruang tanpa oksigen dan bakteri pengurai yang melalui proses pencernaan anaerobik meliputi tiga tahap proses yaitu hidrolisis, asidogenesis, dan metanogenesis untuk menghasilkan biogas (Ahring, 2003). Berbeda dengan *wet fermentation* (fermentasi basah) yang memerlukan substrat dengan kadar air lebih dari 75% dan memerlukan pembuburan substrat, sebaliknya *dry fermentation* tidak memerlukan kadar air bahan yang tinggi dan tidak memerlukan proses pembuburan bahan sehingga lebih efisien dalam penggunaan energi dan tenaga kerja pada proses produksinya. Beberapa keuntungan dari proses *dry fermentation* sebagai berikut (Sp Multitech, 2012) :

- Emisi yang lebih kecil
- Waktu retensi yang lebih pendek
- Kebutuhan energi rendah
- Kebutuhan tenaga kerja rendah

- Digester kering yang lebih mudah untuk ditangani

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi produksi biogas dari tandan kosong kelapa sawit menggunakan dua sumber bakteri, yaitu kotoran sapi dan efluen dari digester fermentasi basah yang menggunakan substrat limbah cair kelapa sawit.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari - Mei 2014 di Laboratorium Daya dan Alat Mesin Pertanian Jurusan Teknik Pertanian dan Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah tandan kosong kelapa sawit yang diperoleh dari PTPN 7 unit usaha Rejosari Natar Lampung Selatan, kotoran sapi dari warga Desa Sidosari, Natar, Lampung Selatan dan *digestate* sisa produksi biogas menggunakan limbah cair produksi kelapa sawit milik Jurusan Teknologi Hasil Pertanian (THP), Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah drum plastik ukuran 220 liter sebagai digester, pipa paralon, pompa air, selang, kran air, Ember, galon air 19 liter sebagai penampung gas hasil produksi, bak penampung sumber bakteri, panel buka tutup, *gas chromatograph* dan alat tulis.

Pada penelitian ini dilakukan dua perlakuan berdasarkan perbandingan antara bahan baku limbah dan kosong kelapa sawit dan inokulum yang berupa kotoran sapi dan *digestate* sisa produksi biogas dari limbah cair produksi kelapa sawit. Sebelum dicampurkan dengan inokulum limbah tandan kosong kelapa sawit telebih dahulu diproses menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan digunakan apa adanya tanpa pelakuan khusus tertentu. Perbandingan berat antara limbah TKKS dan kedua sumber bakteri adalah 4 : 1. Selanjutnya setiap hari dilakukan penyiraman inokulum sebanyak 10 liter cairan inokulum yang berfungsi untuk melembabkan bahan TKKS dan memberi pasokan bakteri pembentuk biogas. Produksi gas dihitung setiap harinya untuk mengetahui jumlah

produksi harian dan produksi kumulatif. Komposisi biogas diukur menggunakan alat *gas chromatograph* (Shimadzu C114843) di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Pada awal dan akhir penelitian juga dilakukan pengukuran kadar air dan nilai organik bahan untuk mengetahui produktivitas pembentukan biogas.

HASIL

Setelah dilakukan pengujian laboratorium terhadap bahan tandan kosong kelapa sawit diketahui bahwa terjadi penuruan kadar bahan organik atau *volatile solids* (VS) seperti telihat pada Tabel 1.

Produksi biogas yang diperoleh dari bahan TKKS dengan inokulum Kotoran Sapi menghasilkan produksi biogas total sebesar 1.561,4 liter dengan produksi rata-rata sebesar 38 liter, kadar CH₄ sebesar 36,1 % dan produktivitas biogas sebesar $1.074,6 \text{ l kg}^{-1} \text{ VS}_{\text{removed}}$. Produksi biogas yang diperoleh dari bahan TKKS dengan inokulum *digestate* menghasilkan produksi biogas total sebesar 1.235 liter dengan produksi rata-rata sebesar 26,8 liter, kadar CH₄ sebesar 40,1 % dan produktivitas biogas sebesar, $1.120,6 \text{ l kg}^{-1} \text{ VS}_{\text{removed}}$.

PEMBAHASAN

Perlakuan campuran bahan Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Kotoran Sapi memiliki *Hydraulic Retention Time (HRT)* atau waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan biogas selama 41 hari. Perlakuan campuran bahan tadan Kosong Kelapa Sawit dan *Digestate* sisa produksi biogas dari limbah cair kelapa sawit memiliki *HRT* selama 46 hari.

Volume gas harian yang dihasilkan dari digester biogas *dry fermentation* menggunakan bahan limbah tandan kosong kelapa sawit dicampur kotoran sapi dengan perbandingan bahan 4:1 ditampilkan pada Gambar 1.

Pada perlakuan ini terjadi lonjakan produksi gas yang sangat signifikan pada hari ke-1 yaitu 78 liter dan hari ke-2 154 liter, namun menurun drastis pada hari ke-3 yaitu 31 liter. Hal ini disebabkan karena masih terjadinya proses respirasi bahan organik yang terdapat pada bahan limbah tandan kosong kelapa sawit dan kotoran sapi. Proses respirasi itu sendiri merupakan proses penguraian zat pati dengan memanfaatkan oksigen. Hal ini terjadi karena masih terdapat udara di dalam digester pada dua hari pertama. Pada hari ke-3 produksi gas menurun drastis yang menunjukkan bahwa gas oksigen telah habis sehingga bahan tidak lagi melakukan respirasi.

Pada hari ke-4 produksi gas kembali menaik yang mana menunjukkan proses anaerobik telah berlangsung, dan digester mulai menghasilkan biogas. Produksi biogas cendrung naik hingga mencapai maksimal pada hari ke-9 yaitu 128 liter/hari. Setelah itu produksi biogas cendrung turun hingga hanya menghasilkan 7 liter/hari pada hari ke-43 seperti terlihat pada Gambar 1. Dari gambar tersebut terlihat bahwa setelah hari ke-41 praktis produksi biogas sudah tidak signifikan. Hal ini dimungkinkan karena *leachate* (sumber bakteri yang terus di *recyle*) yang dipergunakan semakin banyak mengandung ammonia yang menghambat pembentukan biogas, koloni bakteri yang terlah jauh berkurang dan apabila dilihat dari tekstur serat TKKS yang masih kuat maka dimungkinkan bahwa bahan lain yang terkandung dalam TKKS selain serat telah habis terdegradasi. Masih kuatnya serat menunjukkan bahwa proses produksi biogas sebenarnya masih bias dilanjutkan dengan melakukan penambahan sumber bakteri baru.

Volume gas kumulatif dihitung dengan mengakumulasi volume gas harian dikurangi volume gas harian selama periode respirasi yaitu hari ke-1 sampai hari ke-2. Hal ini dilakukan karena selama periode respirasi gas CH₄ belum terbentuk karena masih adanya peran oksigen. Selain dikurangi volume gas harian selama periode respirasi, volume gas kumulatif pada perlakuan ini juga perlu dikurangi dengan produksi biogas yang berasal dari inokulum kotoran sapi untuk mendapatkan data hasil produksi biogas yang hanya berasal dari bahan TKKS. Data rata-rata

produksi biogas yang berasal dari kotoran sapi didapat dari penelitian yang dilakukan oleh Cahyani pada tahun 2013. Data hasil volume gas kumulatif dapat dilihat pada Gambar 2.

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa total produksi biogas pada perlakuan ini sebanyak 1.884 liter, produksi gas pada periode respirasi hari ke-1 dan hari ke-2 sebesar 232 liter dan produksi yang berasal dari kotoran sapi sebesar 90,6 liter (Cahyani, 2013), sehingga total produksi biogas kumulatif pada Perlakuan TKKS inokulum kotoran sapi adalah sebesar 1.561,4 liter dengan rata-rata produksi biogas adalah 38 liter/hari.

Volume gas harian yang dihasilkan dari digester biogas *dry fermentation* menggunakan bahan limbah tandan kosong kelapa sawit dicampur *digestate* produksi biogas dari limbah cair kelapa sawit dengan perbandingan bahan organik 4:1 ditampilkan pada Gambar 3.

Pada perlakuan ini serupa dengan perlakuan TKKS inokulum kotoran sapi pada hari ke-1 dan ke-2 produksi sangat tinggi dikarenakan periode fermentasi. Produksi biogas cendrung naik hingga mencapai maksimal pada hari ke-22 yaitu 58 liter/hari dan cendrung turun setelahnya hingga hanya memproduksi biogas sebanyak 7 liter pada hari ke-48 seperti terlihat pada Gambar 3, pada gambar tersebut juga terlihat perjadi penurunan produksi biogas yang cukup signifikan pada hari ke-12, ke-18, ke-25 dan ke-28 hal ini disebabkan oleh letak digester pada perlakuan ini berada diluar ruangan dan pada hari tersebut terjadi hujan sehingga menurunkan produksi biogas.

Volume gas kumulatif dihitung dengan mengakumulasi volume gas harian dikurangi volume gas harian selama periode respirasi yaitu hari ke-1 dan hari ke-2. Hal ini dilakukan karena selama periode respirasi gas CH₄ belum terbentuk karena masih adanya peran oksigen. Data hasil volume gas kumulatif dapat dilihat pada Gambar 4.

Berbeda dengan perlakuan TKKS inokulum kotoran sapi inokulum pada perlakuan ini berasal dari *digestate* digester produksi biogas dari limbah cair produksi kelapa sawit. Produksi kumulatif produksi biogas pada perlakuan ini tidak perlu dikurangi produksi dari *digestate* karena peruntukkan

digestate hanya sebagai sumber bakteri dan melembabkan bahan TKKS. Di samping itu sirkulasi dilakukan setiap hari selama masa produksi, dikarenakan *digestate* berupa cairan sehingga tidak ada padatan yang tertinggal pada bahan yang dapat mempengaruhi produksi biogas.

Total produksi biogas pada perlakuan TKKS inokulum *digestate* selama 48 hari yaitu sebesar 1.341 liter dikurangi produksi pada periode respirasi sebesar 106 liter sehingga produksi kumulatif biogas pada perlakuan TKKS inokulum *digestate* adalah sebesar 1.235 liter dengan rata-rata produksi biogas adalah 26,8 liter/hari.

Kadar CH₄ pada biogas yang dihasilkan pada perlakuan TKKS inokulum *digestate* dengan kadar CH₄ sebesar 40,1 % sedikit lebih besar daripada kadar CH₄ yang dihasilkan pada perlakuan TKKS inokulum kotora sapi yang hanya 36,1 %. Data pengukuran komposisi biogas menggunakan *gas chromatograph* dapat dilihat pada Tabel 2.

Secara umum produksi biogas dengan perlakuan TKKS inokulum kotoran sapi dan perlakuan TKKS inokulum *digestate* dapat dikatakan setara, hal ini tentunya memerlukan penelitian lanjutan untuk dapat mengoptimalkan produksi biogas menggunakan teknologi *dry fermentation* baik dari segi produktivitas sampai dengan komposisi biogas dengan melakukan modifikasi pada alat maupun perlakuan sehingga dihasilkan produk biogas yang lebih baik lagi.

SIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian produksi biogas yang diperoleh dari bahan TKKS dengan inokulum Kotoran Sapi menghasilkan produksi biogas total sebesar 1.561,4 liter dengan kadar CH₄ sebesar 36,1 % dan produktivitas biogas sebesar 1.074,6 l kg⁻¹ VS_{removed} selama 41 hari. Produksi biogas yang diperoleh dari bahan TKKS dengan inokulum *digestate* menghasilkan produksi biogas total sebesar 1235 liter, kadar CH₄ sebesar 40,1 % dan produktivitas biogas sebesar 1.120,6 l kg⁻¹ VS_{removed} selama 46 hari. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa produksi biogas menggunakan

limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) melalui proses *dry fermentation* berhasil dan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk skala yang lebih besar dan pemilihan inokulum yang tepat dapat meningkatkan produksi biogas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai melalui program MP3EI a.n. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P. dengan nomor kontrak 313/UN26/8/PL/2014 tanggal 2 Juni 2014.

DAFTAR PUSTAKA

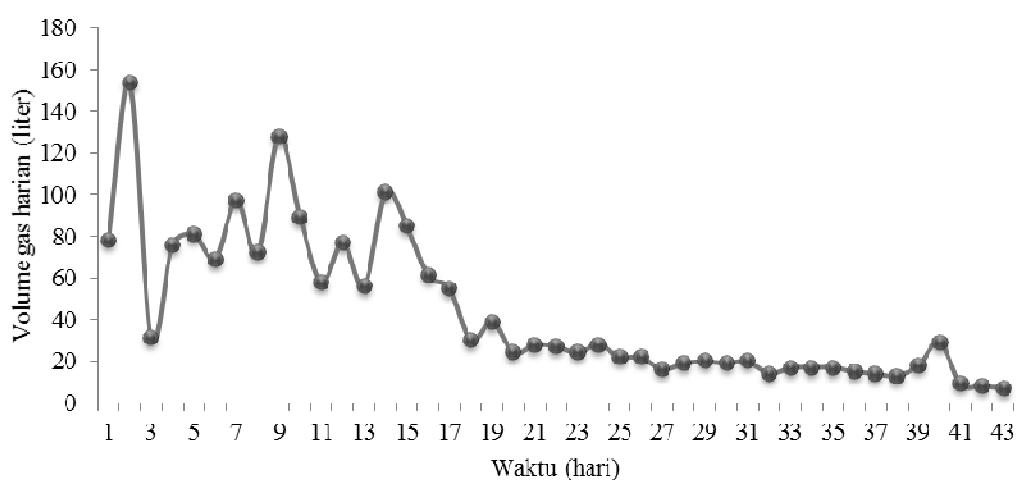
- Ahring, B. K. 2003. Perspective for Anaerobic Digestion. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnologi*. Vol. 81 : 1 – 30.
- Cahyani, D. 2013. Potensi Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca Melalui Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas Skala Rumah Tangga Di Provinsi Lampung. Universitas Lampung. Bandarlampung.
- Direktorat Jendral Perkebunan. 2013. Produksi Kelapa Sawit Menurut Propinsi di Indonesia. www.ditjenbun.pertanian.go.id. Akses : 8 Februari 2014.
- Haryati, T. 2006. Biogas: Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif. *Wartazoa*. Vol. 16 : 160 – 169.
- Sarjono & M., Ridlo. 2013. Studi Eksperimental Penggunaan Kotoran Sapi Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Majalah Ilmiah STTR*. Cepu.
- SP Multitech Renewable Energi SDN. BHD. 2011. *Biogas Dry Fermentation Using German Technologi*. Selangor.
- Sukmana, R. W. dan A., Muljatiningsrum. 2011. *Biogas dari Limbah Ternak*. Nuansa. Bandung.

Tabel 1. Analisa Proksimat Bahan Tandan Kosong Kelapa Sawit

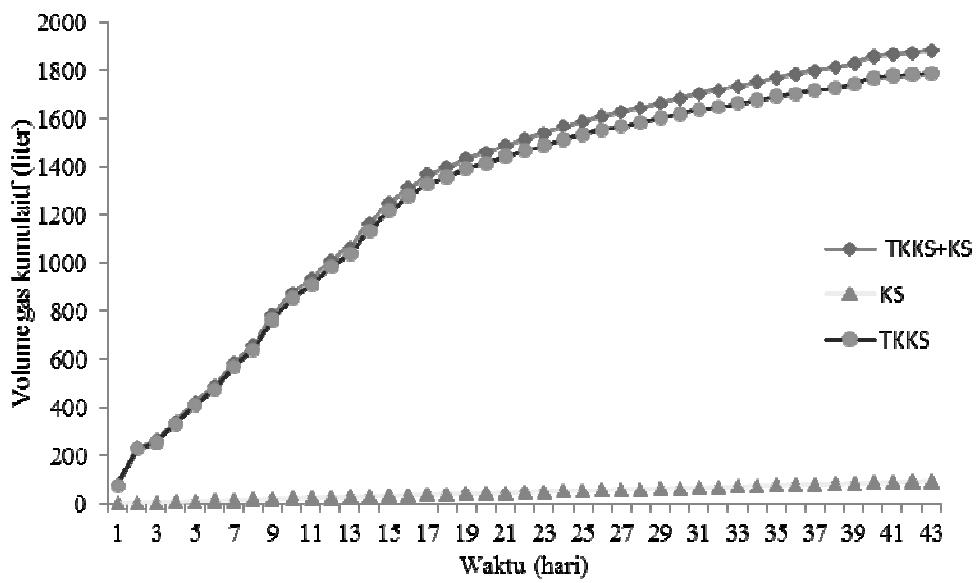
Analisa	Satuan	Persentase Dalam Bahan Awal	Persentase Dalam Bahan Akhir Perlakuan TKKS+KS	Persentase Dalam Bahan Akhir Perlakuan TKKS+ <i>Digestate</i>
Kadar Air	% W basah	64,2 %	75,1 %	72,9 %
<i>Total Solids</i>	% W basah	35,8 %	24,9 %	27,1 %
<i>Organic Matter</i>	% TS	91,6 %	88 %	88,9 %
Abu	% TS	8,4 %	12 %	11,1 %

Tabel 2. Komposisi Biogas Hasil Penelitian

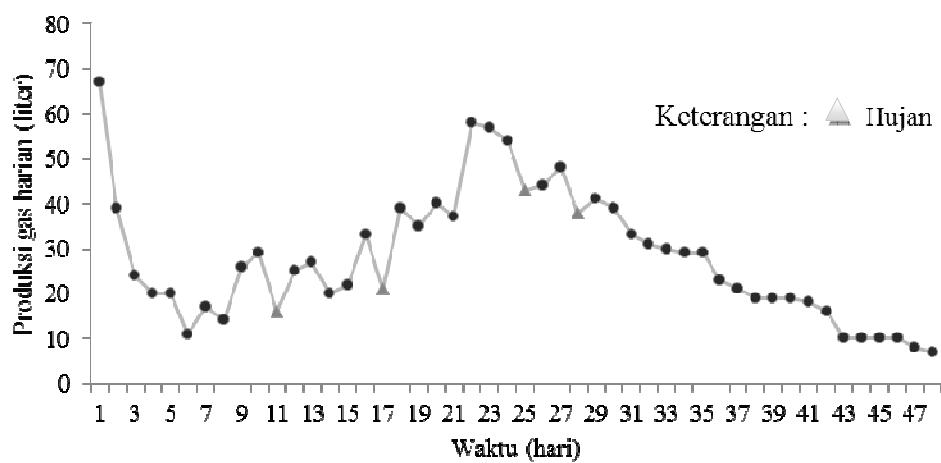
Unit Biogas	Perlakuan TKKS+KS	Perlakuan TKKS+ <i>Digestate</i>
N ₂	21.5 %	13.1 %
CH ₄	36.1 %	40.1 %
CO ₂	42.2 %	46.7 %



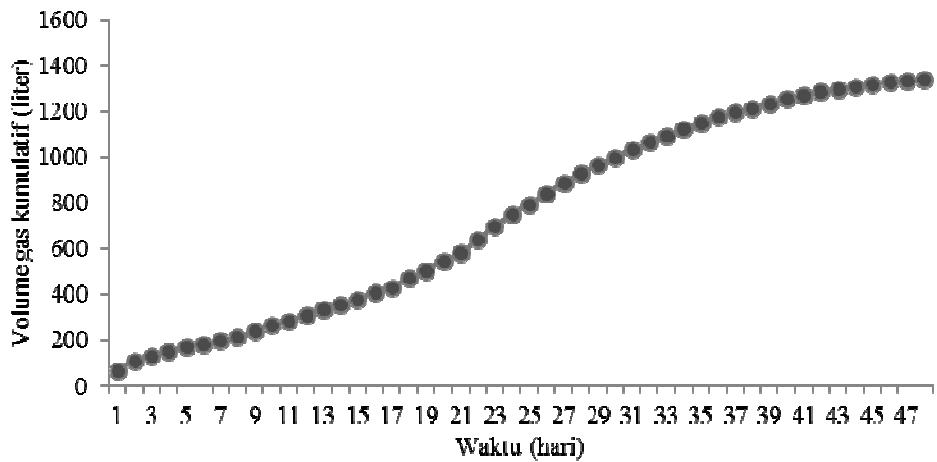
Gambar 1. Grafik Total Produksi Biogas Harian Perlakuan TKKS+KS



Gambar 2. Total Produksi Biogas Kumulatif Perlakuan TKKS+KS



Gambar 3. Grafik Total Produksi Biogas Harian Perlakuan TKKS+*Digestate*



Gambar 4. Total Produksi Biogas Kumulatif Perlakuan TKKS+*Digestate*

BIOGAS PRODUCTION FROM OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCHES THROUGH DRY FERMENTATION PROCESS: PRELIMINARY RESULTS

A. Haryanto¹, C. Sugianti¹, S. Triyono¹ and N.E. Apria¹

¹ Department of Agricultural Engineering, University of Lampung (email: agus.haryanto@unila.ac.id)

ABSTRACT

The purpose of this paper was to present a preliminary result of biogas production from oil palm empty fruit bunches (EFB) through dry fermentation process. Research was conducted at Agroindustrial Waste Management Lab. of the Agroindustrial Technology Department, the University of Lampung. Two sources of bacteria were used for comparison, namely fresh cow dung collected from local cow farmer near the university and effluent from a digester working with palm oil mill waste water. The EFB was obtained from Bekri Palm Oil Mill of PTPN VII. The EFB was merely shredded prior to fermentation process to facilitate the mixing with bacteria sources. Biogas production was conducted using 220 liter capacity drum digester. Parameters to be observed including biogas production (daily and cumulative), biogas yield (per VS removed), and biogas composition. Results showed that biogas yield of EFB with cow manure reached 1074.6 L/kg VS_{removed} within 41 days of solid retention time (SRT); whilst 1120.6 L/kg VS_{removed} was produced in 46 days of SRT from EFB plus effluent. Methane content of those biogas was comparable, namely 36.1% for the case of EFB plus cow dung and 40.1% for EFB plus effluent.

INTRODUCTION

Recently, palm oil industry is economically attractive and developed extensively in Southeast Asia [1]. In Indonesia, palm oil widespread mainly in Sumatera and Kalimantan. Palm oil mills also produce a lot of waste, especially liquid and solid waste (Table 1) that need to be appropriately treated in order to reduce the environmental burden.

Table 1. Types and amount of waste from a palm oil mill per ton of FFB [2].

Type of Waste	Amount
Empty Fruit Bunches, EFB (wet, ton)	0.23
Mesocarp Fiber (dry, ton)	0.13
Kernel Shell (dry, ton)	0.065
Solid Decanter from a mill using decanter (wet, ton)	0.04
Palm Oil Mill Effluent or POME (m ³)	0.5

Liquid waste is called as POME (palm oil mill effluent). The amount of POME depends on the efficiency of water consumption in the mill and varies from 25 to 100% of fresh fruit bunches (FFB) processed. Implementation of advanced oil separation technologies with zero dilution water and continuous sterilization of the FFB was known reduce POME production from about 0.65 m³ per ton FFB to 0.45 m³ per ton FFB (conventional sterilization and zero dilution water) and 0.25 m³ per ton FFB (continuous sterilization and zero dilution water). These changes significantly influenced the POME treatment processes and its cost [3].

The sources of POME are mainly from sterilization (36%), clarification and purification of CPO (60%), and hydro-cyclone (4%) processes. POME is the main source of environmental pollution in the palm oil mill. The characteristics of the wastewater from each sources is presented in Table 2. The table also showed the characteristics of POME after mixed each others.

Table 2. Characteristics of POME [2].

Parameters	Value
pH	4.0
BOD (mg/L)	21,280
COD (mg/L)	34,720
Total Suspended Solid, TSS (mg/L)	31,710
Nitrogen Total (mg/L)	41
Oil and fat (mg/L)	3.075

Source: [2]

Currently, POME was treated using sedimentation ponds and used for land application afterward. Modern application of POME is used for biogas generation through anaerobic process. The biogas is then used to generate electricity through specialty generator. This route, however, is such economically expensive that its field application is hardly found.

The EFB can be used as fuel in the boiler furnace for electricity generation and process hot water. Common usage of EFB is for soil mulching after. Some industries are using the EFB and POME together to produce compost [4]. Composting of EFB

together with POME minimizes nutrient losses and concentrates all nutrients from POME and EFB in one product [5]. The process is usually performed using open windrow system with the addition of POME. The composting process can also be conducted using dry anaerobic digestion or solid fermentation with the benefit of producing biogas during the digestion. Dry anaerobic digestion is able to overcome disadvantages of conventional or wet fermentation which adversely affect the economic feasibility of solid feed digestion [6].

The purpose of this paper was to present preliminary results of biogas production from EFB through dry fermentation process.

METHODOLOGY

Research was conducted Waste Management Lab., Department of Agroindustrial Technology, the University of Lampung from February to May, 2014. EFB, obtained from Bekri Palm Oil Mill of PTPN VII, Lampung, was shredded prior to incubation. Cow dung was collected from local cow farmer in Sidosari Village, Natar, South Lampung. Effluent (digestate) from a small-scale wet digester using POME as substrate located in the Agroindustrial Technology Department was also used for bacteria source.

A 220 liter capacity plastic drum was modified as digester equipped with water shower and gas piping. Inside of the drum was equipped with perforated floor to facilitate leaching. Shredded EFB (14 kg) was thoroughly mixed with fresh cow dung (4 kg). The mixture was then loaded into the drum. Before digester was sealed, substrate mixture was sprayed with water (10 L). The leachate was collected and recirculated every day.

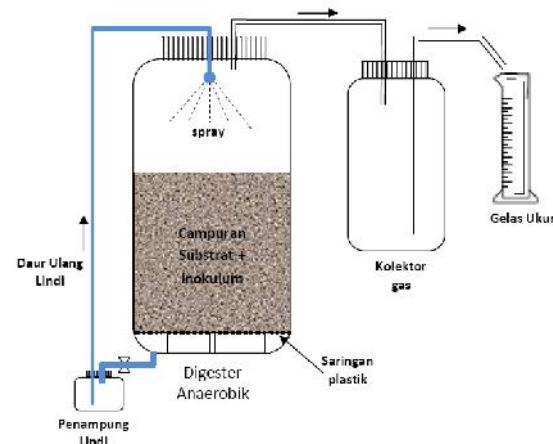


Fig. 1 Schematic for Anaerobic Dry Digestion of EFB

For experiment using bacteria source from wet digester effluent, 14 kg of shredded EFB was loaded into the equivalent drum. The drum was then sealed

and the about 10 L effluent was daily sprayed into the drum.

Organic matter content of fresh and spent EFB was analyzed by burning the material in a furnace (Barnstead Thermolyne 1300) at a temperature 500 °C for 2 hours. The volume of biogas production was monitored daily using simple water displacement method. Biogas composition was measured using gas chromatograph (GC, Shimadzu C114843).

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 2 and 3, respectively depicted daily and cumulative biogas production from EFB with cow dung and with wet digester effluent. It can be seen that digestion process requires 41 days and 46 days SRT (solid retention time), respectively for EFB with cow dung and EFB with effluent. Biogas production from EFB using cowdung was higher than that of EFB using effluent. During that time, biogas production reached 1652 L (average 40.3 L/day) for EFB with cow dung case, and 1235 L (average 26.8 L/day) for EFB with effluent. This difference may be due to the addition of biogas produced from cowdung alone. Biogas productivity, however, was comparable for both cases, that was 1,137.0 L/kg VS_{removed} for first case and 1,120.6 L/kg VS_{removed} for the second case.

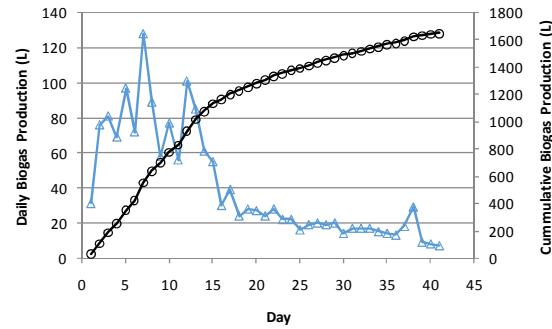


Fig. 2 Daily Biogas Production from EFB + Cowdung

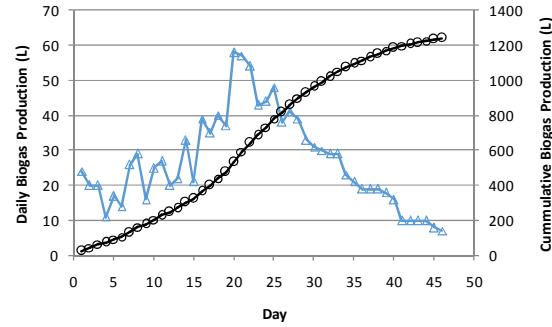


Fig. 3 Cumulative Biogas Production from EFB + Effluent

As presented in Table 3, methane content for both cases was also comparable, respectively 36.1 % for cowdung case and 40.1 % for effluent case. The low methane content was also reported by others [7,8].

Table 3. Biogas composition (% vol)

Gas composition	EFB + CD	EFB + DE
N ₂	21.5 %	13.1 %
CH ₄	36.1 %	40.1 %
CO ₂	42.2 %	46.7 %

The biogas produced was also tested by burning it in a simple burner. As can be seen from Figure 4, the gas was successfully burnt and produced blue flame quite similar to the flame resulted from LPG.



Fig. 4 Burning Test for Biogas Produced from EFB through Dry Anaerobic Fermentation.

Table 4. Proximate analysis of substrates.

Parameter	Initial	Final (EFB+CD)	Final (EFB+DE)
Water content (% wb)	64.2	75.1	72.9
Total Solid, TS (% wb)	35.8	24.9	27.1
Organic matter (% TS)	91.6	88.0	88.9
Ash (% TS)	8.4	12.0	11.1

Table 4 showed proximate analysis of the substrates before and after process. During anaerobic fermentation that going on six weeks, organic matter slightly decreased from 91.6% to 88% with cow dung and to 88.9% with wet digester effluent. The fibres of EFB were still physically strong. This implied that the biogas might be produced mainly from the degradation of such organic materials as oil and debris that are attached in the EFB. Compost resulted from this process, however, need to be

analyzed deeply and compared to those one produced from conventional open windrow.

CONCLUSIONS

Preliminary results showed that dry anaerobic digestion is potential to be applied for biogas production using EFB as substrate. Biogas productivity from dry anaerobic digestion of EFB was comparable with both bacteria sources, namely 1,137.0 L/kg VS_{removed} with cowdung and 1,120.6 L/kg VS_{removed} with wet digester effluent.

ACKNOWLEDGEMENT

The research was financially supported from MP3EI program 313/UN26/8/PL/2014 (2 June 2014).

REFERENCES

- [1] D. Sheil, A. Casson, E. Meijaard, M. van Noordwijk, J. Gaskell, J. Sunderland-Groves, K. Wertz, and M. Kanninen. The impacts and opportunities of oil palm in Southeast Asia. What do we know and what do we need to know? *Occasional paper no. 51. CIFOR*, Bogor, Indonesia (2009). 67 pages.
- [2] Subdit Pengelolaan Lingkungan Direktorat Pengolahan Hasil Pertanian. *Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit*. Menteri Pertanian, Menteri Pertanian (2006): 83 pp.
- [3] F. Schuchardt, K. Wulfert, D. Darnoko, and H. Tjahyono. Effect of New Palm Oil Mill Processes on The EFB and POME Utilization. *Journal of Oil Palm Research*, Special Issue October (2008), pp. 115-126.
- [4] F. Schuchardt, D. Darnoko D., and P. Guritno. Composting of Empty Oil Palm Fruit Bunch (EFB) with Simultaneous Evaporation of Palm Oil Mill Waste Water (POME). International Oil Palm Conference, Nusa Dua, Bali, Indonesia, July 8-12, 2002. pp. 1-9.
- [5] U. Hasanudin and T. Setiadi. Sustainable Wastewater Management in Palm Oil Mills. Draft of Book Chapter 34 (2013)
- [6] A.M. Radwan, H.A. Sebak, N.R. Mitry, E.A. El-Zanati, and M.A. Hamad. Dry Anaerobic Fermentation of Agricultural Residues. *Biomass and Bioenergy* 5(1993): 495-499.
- [7] D. Cahyani. Potensi Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca Melalui Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas Skala Rumah Tangga Di Provinsi Lampung. Skripsi. Universitas Lampung (2012)
- [8] R. Hendroko. Private Communication (26 July 2012).

Palm Oil Mill Effluent Treatment and Utilization to Ensure The Sustainability of Palm Oil Industries

U. Hasanudin^{*}, R. Sugiharto^{*}, A. Haryanto^{**}, T. Setiadi^{***}, K. Fujie^{****})

^{*}) Department of Agro-industrial Technology, Faculty of Agriculture, University of Lampung, Jl. Sumantri Brojonegoro 1, Bandar Lampung-35145, INDONESIA, Email: udinha65@gmail.com

^{**}) Department of Agriculture Engineering, Faculty of Agriculture, University of Lampung, Jl. Sumantri Brojonegoro 1, Bandar Lampung-35145, INDONESIA

^{***}) Department of Chemical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Bandung Institute of Technology, Jl. Ganesa 10, Bandung 40132, INDONESIA

^{****}) Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University, 79-7 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240-8501 JAPAN

Abstract: The purposes of this study are to evaluate current condition of POME treatment and utilization and to propose other scenarios to improve the sustainability of palm oil industries. The research was conducted at some palm oil mills in Indonesia in which different waste managements are implemented. Currently, POME was treated through anaerobic digestion along with open anaerobic pond or methane capture followed by utilization of treated wastewater as liquid fertilizer or further treatment to fulfill the wastewater quality standard. Methane capturing system was estimated to successfully produce renewable energy about 25.3-40.6 kWh/ton FFB and reduce green house gas (GHG) emission about 109.41-175.35 kg CO₂e/ton FFB. Utilization of treated POME as liquid fertilizer through land application system increased about 13% of FFB production. Palm oil mill with 45 ton FFB/hour capacity has potential to generate electricity about 0.95 to 1.52 MW. Coupling POME-based biogas digester and dry anaerobic co-composting also capable to add another 0.93 MW electricity. Utilization of POME and EFB for renewable energy and compost production not only is beneficial to increase the added value of POME and EFB, but also is able to lower environmental burden, produce renewable energy, and liquid fertilizers, simultaneously.

Keywords: Palm oil mill effluent, renewable energy, land application, compost, GHG emission.

Introduction

Indonesia, as the biggest Crude Palm Oil (CPO) producer with a share of about 46.6%, in 2011 was produced 23,500,000 ton CPO and predicted production will be about 26,703,000 ton CPO in 2013. The total world demand of palm oil was about 53.9 million ton in 2011 and is predicted to increase to 64.5 million ton in 2015 (Widjaya *et al.*, 2013) and to 95.7 million ton in 2025 (Oil World Statistic, 2013). This situation indicates that palm oil industries will continuously grow to fulfill the world demand. The growth of CPO production in Indonesia is 7.8% per year; it is higher than that of Malaysia's being only 4.2% per year (MP3EI, 2011). Waste management in palm oil mill is greatly important in term of minimizing of environmental impact and increasing revenue of the industry. This means that improving waste management system will ensure the sustainability of palm oil industries, which is the final goal of palm oil industries development.

Beside CPO as the main product, palm oil mills also produce shells, fibers, empty fruit bunches (FFB), boiler ash, solid decanter, and Palm Oil Mill Effluent POME as by products or wastes. Due to the yield of CPO as the main product is usually not more than 25% of the FFB, biomass waste recycling from palm oil mills to the plantation is one of the important ways to develop sustainable oil palm industries (Hasanudin, 2007). The major environmental burden of palm oil mills is resulted from POME. POME is the effluent from the final stage of palm oil production in the mill. It is a colloidal suspension containing 95-96 % water, 0.6-0.7 % oil and 4-5 % total solids including 2-4 % suspended solids (Mohammad *et al.*, 2008). Each ton of CPO production will produce about 2.5-3.0 m³ of POME (Saidu *et al.*, 2013). High concentration of organic content and the huge amount of POME have a high potential to cause environmental pollutions if it is not treated properly. In contrary, the POME utilization can produce some valuable materials or energy which is important to support the sustainability of oil palm plantations and the mills.

Development of POME treatment and utilization systems is very important to ensure the sustainability of palm oil industries. The appropriate technology of POME treatment and utilization system for each palm oil mill depends on the condition of palm oil mill and plantation, such as: energy supply and utilization, soil characteristic of oil palm plantations, and how much the management pays attention on greenhouse gases (GHG) emission reduction initiative. Evaluation of current condition of POME treatment and utilization systems in some palm oil industries are needed to clarify the environmental impact and advantages of each systems. From that evaluation, a sustainable POME treatment and utilization system can be developed. The purposes of this study are to evaluate current condition of POME treatment and utilization systems and to propose other scenarios to improve the sustainability of palm oil industries.

Material and Methods

Research was conducted in palm oil industries located in Lampung, North Sumatra, and Riau provinces. Field survey, secondary data collection, and interview were conducted to get information about soil quality, FFB production, material balance and energy supply system in palm oil industries. GHGs emission from POME was estimated based on COD (Chemical Oxygen Demand) concentration of inlet and outlet of a pilot scale of biogas reactor with working volume of 5 m³.

Composting material balance was evaluated from composting plants in Lampung and North Sumatra Provinces. Open wind row composting was applied at those palm oil mills. Tonnage of EFB as raw material of composting process was measured. POME was utilized to keep the moisture of the EFB around 60% during the composting process. Volume of POME which was utilized and leachate which was by-produced were also estimated. Tonnage of compost was also estimated.

Anaerobic composing of EFB was conducted using effluent the above pilot scale POME-based biogas reactor. A plastic drum of 220 liter capacity was modified and used as digester equipped with water shower and gas piping (Figure 1). Inside of the drum was equipped with perforated floor to facilitate leaching. Shredded EFB (16 kg) was loaded in the drum and tightly sealed. The substrate (EFB) was daily sprayed with 10 L of digestate (effluent) from the POME-based biogas reactor. Organic matter content of fresh and spent EFB was analyzed by burning the material in a furnace (Barnstead Thermolyne 1300) at a temperature 500 °C for 2 hours. The volume of biogas production was monitored daily using simple water displacement method. Methane concentration from pilot scale of biogas reactor was analyzed using gas chromatography (Shimadzu GC 2014) with thermal conductivity detector (TCD) and 4 meter length of shin-carbon column. Helium gas was used as carrier gas with flow rate 40 ml/min.

The advantages of utilization of POME and EFB for renewable energy and compost production are also evaluated. Environmental burden and renewable energy production were estimated, simultaneously. Sustainable waste management was developed in palm oil industries through coupled utilization of POME and EFB for renewable energy and compost production.

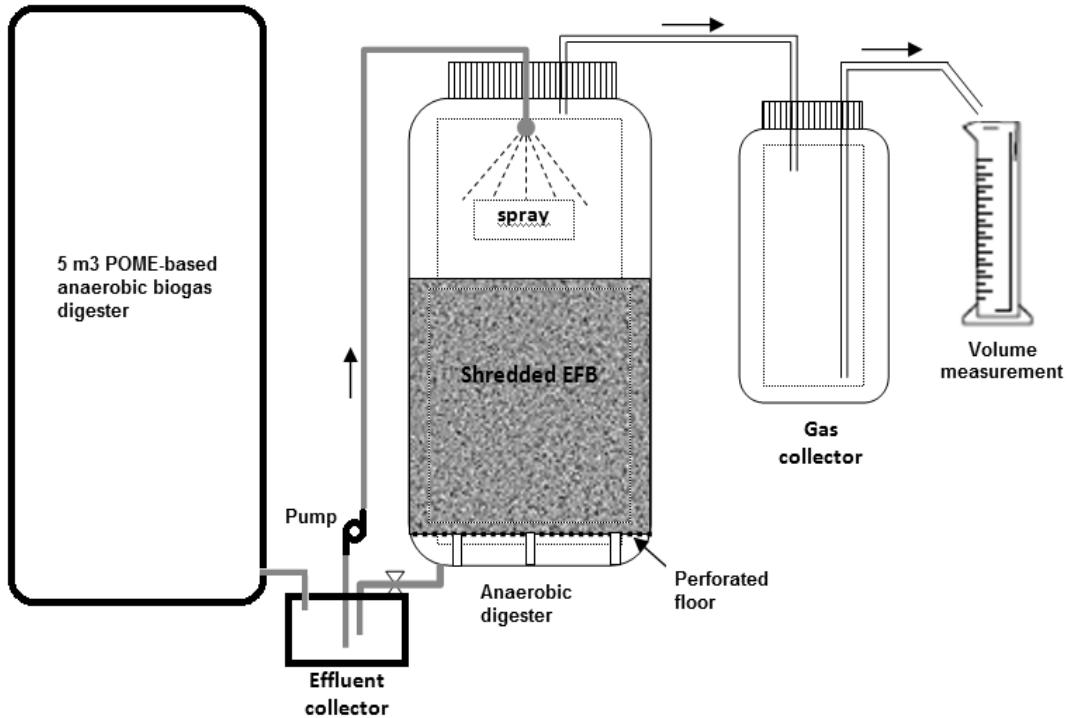


Figure 1 Schematic for Anaerobic Dry Co-composting of EFB and conventional (wet) digester.

Results and Discussion

Waste Generated from Palm Oil Mills

Productivity of palm oil industries has close correlation with some factors, such as soil, climate, and processing condition. Companies that have better management resulted higher productivity. For instance, certain company produced in average 23 tons of fresh fruit bunches (FFB)/hectare/year with an average of 24 percent of oil extraction rate (OER). Some company produced less, for instance only in average 13 tons of FFB with 18 percent of OER. Based on this information, about 80% of FFB are biomass waste. The mass balance of crude palm oil processing in Lampung Province was shown that the OER value is about 21.8% from FFB (Bekri Palm Oil Mill, 2007). Based on field survey in two palm oil mill with capacity 25 and 40 ton FFB/hour, the wastes generated from palm oil processing are described at Table 1.

Table 1 Wastes generated from palm oil processing

Type	Unit	Amount
EFB	ton/ton FFB	0.20-0.23
Mesocarp Fiber	ton /ton FFB	0.12-0.13
Palm Kernel Shell	ton /ton FFB	0.05-0.06
Boiler ash	ton /ton FFB	0.005-0.006
POME	m ³ /ton FFB	0.77-0.84

POME Treatment and Utilization

POME is the biggest waste generated from palm oil mill and become the main source of environmental pollution in the palm oil mill. The sources of POME are mainly from sterilization (36%), clarification and purification of CPO (60%), and hydro-cyclone (4%) processes. The characteristics of POME are as follows: the biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen

demand (COD), oil and grease, total solids and suspended solids of POME ranges from 8,200 to 35,400 mg/L; 15.103 to 65,100 mg/L; 2,200 to 4,300 mg/L, 16,580 to 94,106 mg/L and 1,330 to 50,700 mg/L, respectively (Setiadi et al., 1996). Moreover, each ton of CPO production will also produce about 2.5-3.0 m³ of POME (Saidu et al., 2013) or about 0.55-0.65 m³ of POME per ton FFB based on 21.8% of OER. POME reduction technologies are also important to reduce the environmental burden. POME reduction technology was developed through implementation of PLC (*Programmable Logic Controller*) in the boiler and sterilization unit. Implementation PLC reduced water consumption from 1.73 m³ to 1.54 m³ per ton of FFB. The reduction of water consumption in the mill will caused the reduction of POME from about 0.6 m³ to 0.55 m³ per ton of FFB (Rambutan Palm Oil Mill, 2013). COD concentrations of fresh POME from laboratory test were varied 43,375 to 60,400 mg/l. COD concentration of treated varied from 5,500 to 9,000 mg/l.

POME treatment usually uses a conventional biological treatment. Generally, two types of treatment were implemented; there are biological treatments with land application and without land application. In biological treatment with land application, the POME was treated in anaerobic ponds until BOD concentration decrease to at least 5,000 mg/l, after that the treated POME is transferred to oil palm plantation as a liquid fertilizer. Now, the biological treatment with land application is a common waste water treatment system in palm oil industries. In Indonesia, land application system of POME is regulated through the Ministry of Environment decree number 28 and 29, 2003. According to the regulation, land application system is not available for oil palm plantations which are: (1) located at peat soil area, (2) soil permeability lower than 1.5 cm/h or higher than 15 cm/h, and (3) depth of ground water less than 2 m. In this case, the effluent of POME treatment should be fulfilling the national effluent standard. This system needs a lot of energy for aeration and lost a lot of nutrient and organic materials. Anaerobic ponds using open lagoons emitted a huge amount of greenhouse gas, due to methane production from anaerobic digestion of POME. POME utilization and recycling through methane capturing and land application of treated POME not only reduce the environmental impact of POME significantly, but also produce some valuable products, increase energy efficiency, maximize renewable energy utilization, and reduce GHGs emission. The fast growth of palm oil industries also has a high potential to give some additional revenue and other benefit from POME. Table 2 described estimation of GHG emission potential from POME.

Table 2 Estimation of GHG emission potential from POME

Parameter	Unit	Value	
		Min	Max
COD of fresh POME	mg/l	43,375	60,400
COD of treated POME	mg/l	5,500	9,000
POME production	m ³ /ton FFB	0.55	0.65
COD removal	kg/ton FFB	20.83	33.41
IPCC default value ^{*)}	kg CH ₄ /kg COD removal	0.25	
CH ₄ production	kg/ton FFB	5.21	8.35
IPCC default value ^{*)}	m ³ CH ₄ /kg COD removal	0.35	
CH ₄ production potential	m ³ CH ₄ /ton FFB	7.29	11.69
GWP potential of CH ₄ ^{*)}	kg CO ₂ e/ kg CH ₄	21	
GWP potential	kg CO ₂ e/ton FFB	109.41	175.35

^{*)}IPCC, 2006

Energy generated from POME was calculated using methane LHV (Low Heating Value) of 50.0 MJ/kg (Anonim, 2014) and 35% energy conversion efficiency. Based on methane production potential, the energy production from POME is estimated about 25.3-40.6 kWh/ton FFB. Using this value, palm oil mill with 45 ton FFB/hour or 900 ton FFB/day capacity will has potential to generate electricity about 0.95 to 1.52 MW.

POME, either in fresh or treated form, contains a high level of plant nutrient. When the BOD level is brought down to below 5,000 mg/l, the treated POME is allowed to utilize for land application in oil palm plantations. Studies by various groups have demonstrated that such an application has been beneficial to oil palm, besides the saving on fertilizer cost extensively. The application of treated POME has also increased the productivity of plantation. Table 3 describes the effect of treated POME application on FFB production. Utilization of treated POME for land application increased FFB production about 13% higher than FFP production in the area without land application of treated POME.

POME treatment and utilization through methane capturing, not only reduced environmental load but also improved revenue of the palm oil mill by producing renewable energy, reducing chemical fertilizer consumption through treated POME utilization, and increasing FFB production. Implementation methane capturing system also has contribution on GHG emission reduction which is very important issues in palm oil industries.

Table 3 The effect of treated POME application on FFB production

Production ^{*)}	Productivity (kg of FFB /Ha)	
	With treated POME	Without treated POME
January	805.82	697.87
February	222.51	151.22
March	222.56	182.61
April	201.56	180.00
Mei	395.68	347.83
June	526.80	425.15
July	947.38	846.82
August	1159.17	1018.26
September	2161.10	2034.78
October	2835.50	2675.74
November	3679.87	3374.87
December	2202.27	1687.30
Average	15,360.21	13,622.45

^{*)} Age of oil palm trees are 21 years

Source: Rejosari Palm Oil Mill (2007)

Co-Composting EFB and POME

EFB and boiler ashes (residue from boiler system), are directly used for mulching and fertilizer that is returned to the plantation to reduce chemical fertilizers consumption and to maintain micro climate condition in nearby oil palm tree. Even though EFB can provide energy by direct burning, it contents relatively high moisture, so there will be problems and pre-treatment is required if it is used as fuel like fiber and shell. Co-composting of EFB and POME using aerobic system currently has been promoted. POME was used to keep the moisture of EFB around 60%. The palm oil industries are currently using its EFB waste for mulching and treated POME as a liquid fertilizer through implementation of land application system. Some other industries are using the EFB and POME together to produce compost. Composting of EFB together with POME can minimize of nutrient losses and concentrated of all nutrients from POME and EFB in the one product. Using co-composting of EFB and POME almost all (depend on how much POME is produced per ton FFB) of POME utilized to keep the moisture around 60% during the composting process. Application of EFB-POME compost will increase the productivity of land to produce fresh fruit bunches (FFB) of oil palm (Schuchardt et al., 2008). The diagram of compost production is described in Figure 2.

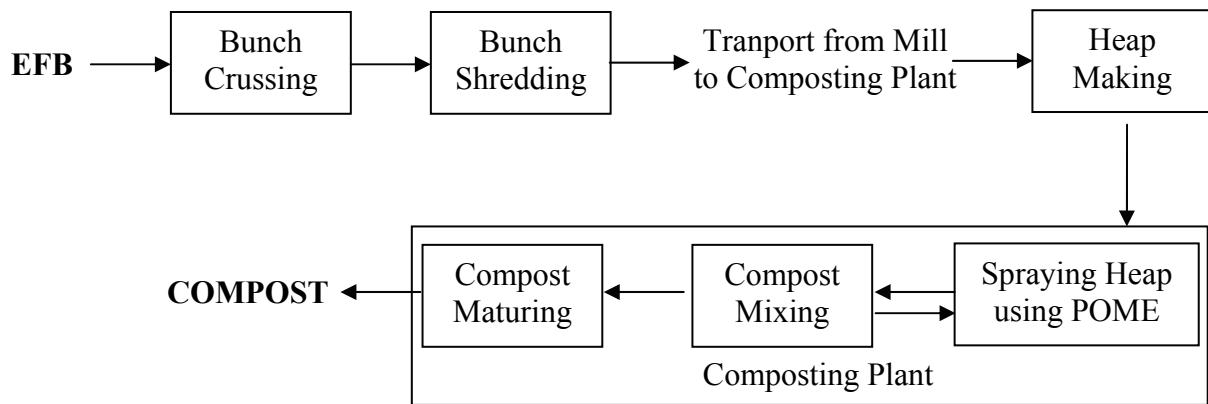


Figure 2 Diagram of EFB-POME compost production

Case study at EFB-POME co-composting plant in Sei Daun Palm Oil Mill, North Sumatra and Bekri Palm Oil Mill, Lampung shown that about 0.091 m^3 of wastewater or about 13.06% of POME still remain and need to be treated or utilized for land application. Table 4 shows the material balance of aerobic POME-EFB co-composting.

Table 4 Material balance in POME-EFB co-composting

Parameter	Unit	Amount
FFB	ton	1
Volume of POME	m^3	0.7
EFB	ton	0.23
Water in EFB (moisture 60%)	m^3	0.138
Total POME utilized for composting (3 m^3 of POME/ton EFB)	m^3	0.690
Total water evaporated (Evaporation rate = 51 l/ton EFB/day *)**)	m^3	0.657
Total water remaining (un-evaporated water)	m^3	0.171
Total weight of compost (65% of EFB)	ton	0,150
Total water in compost (moisture 60%)	m^3	0.090
Total leachate released	m^3	0.081
Total un-utilized POME	m^3	0.010
Total wastewater released	m^3	0.091
	%	13.06

*) Schuchardt et. al., 2002

**) Asumption: effective evaporation conducted for 8 weeks (56 days)

Figure 3 depicted daily and cumulative biogas production from dry anaerobic digestion of EFB using wet digester effluent as anaerobic bacteria source. During anaerobic fermentation that was going on for six weeks, total solid (TS) decreased from 35.8% to 27.1%, whilst organic matter slightly decreased from 91.6% of TS to 88.9% of TS. Water content, on the other hand, increased from 64.2% to 72.9% (wet basis). For the duration of anaerobic digestion, the fiber of EFB was still physically strong. This implied that the biogas might be produced mainly from the degradation of such organic materials as oil and debris that are attached in the EFB.

Biogas production reached 1,235 L (average $77.18 \text{ m}^3/\text{ton EFB}$ or $17.75 \text{ m}^3/\text{ton FFB}$) with biogas yield of $1,120.6 \text{ L/kg VS}_{\text{removed}}$. The biogas had composition of methane (40.1 %), nitrogen (13.1%), and CO₂ (46.7%). The low methane and high nitrogen contents of biogas produced from small scale

were also reported by Cahyani (2012). Using this value, Coupling POME-based biogas digester and dry anaerobic co-composting at palm oil mill with 45 ton FFB/hour or 900 ton FFB/day capacity capable to add another 0.93 MW electricity. Using this system, the palm oil industry also can produce compost and liquid fertilizer which is important to ensure the sustainability of FFB production.

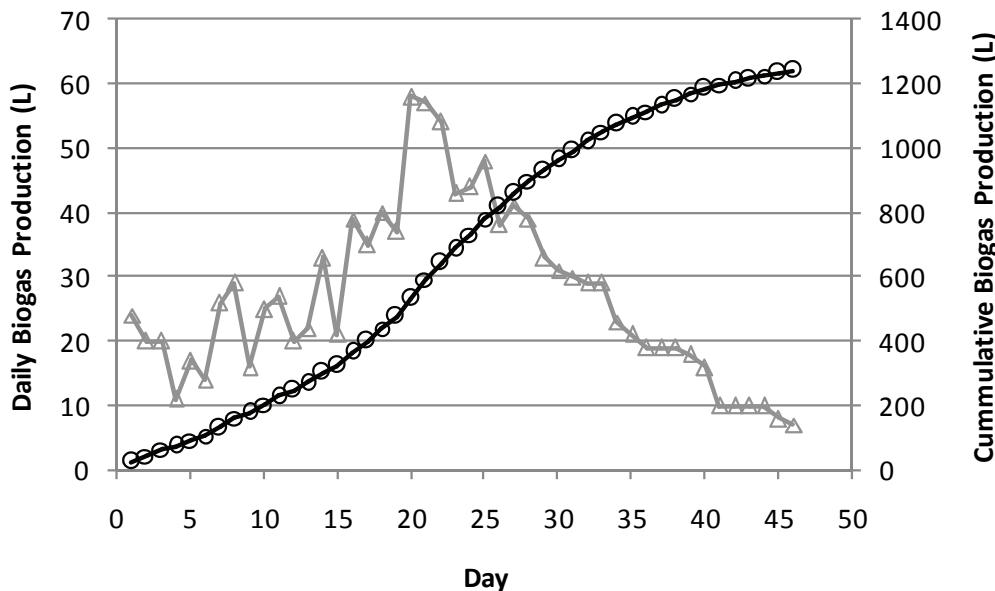


Figure 3 Daily and Cumulative Biogas Productions from dry anaerobic digestion of EFB

Conclusions

POME is the biggest waste generated from palm oil mill. Currently, POME was treated through anaerobic digestion along with open anaerobic pond or methane capture followed by utilization of treated wastewater as liquid fertilizer or further treatment to fulfill the wastewater quality standard. Methane capturing system was estimated to successfully produce renewable energy about 25.3-40.6 kWh/ton FFB and reduce greenhouse gas (GHG) emission about 109.41-175.35 kg CO₂e/ton FFB. Utilization of treated POME as liquid fertilizer through land application system increased about 13% of FFB production. Palm oil mill with 45 ton FFB/hour capacity has potential to generate electricity about 0.95 to 1.52 MW. Coupling POME-based biogas digester and dry anaerobic co-composting also capable to add another 0.93 MW electricity. Coupling utilization of POME and EFB for renewable energy and compost production not only is beneficial to increase the added value of POME and EFB, but also is able to lower environmental burden and to ensure the sustainability of palm oil industries.

References

- Anonim. (2014). Heat of Combustion. http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_of_combustion#Lower_heating_value, Accessed at September 12, 2014
- Bekri Palm Oil Mill. (2007). Internal report, Lampung Indonesia (unpublished).
- Cahyani, D. (2012) Potensi Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca Melalui Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas Skala Rumah Tangga Di Provinsi Lampung. Unpublished Undergraduate Thesis. University of Lampung. (In Bahasa Indonesia).
- Hasanudin, U. (2007). *Biomass Utilization from Agroindustries in Indonesia*. Indonesia-Japan Joint Symposium "Toward Sustainable Asia with Sound Material Cycle and Emission Minimization", March, 5th 2007, ITB Bandung.

- IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Vol. 4), Prepared by The National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T, and Tanabe K. (Eds). IGES Japan.
- Mohammad A. W., Yeong W. T., Md. Jahim J., and Anuar N. (2008). Palm Oil Mill Effluent (POME) treatment and bio-resource recovery using ultrafiltration membrane: effect of pressure one membrane fouling. *Biochemical Engineering Journal*, **35**, 9-17.
- MP3EI. (2011). *Master plan of acceleration and expansion of Indonesian economic development*. Coordinator Ministry for Economic Republic of Indonesia, Jakarta.
- Oil World Statistic (2013). *Palm Oil Statistic*. ISTA Milka GmbH, Hamburg, Germany, December.
- Rambutan Palm Oil Mill (2013). Internal report, North Sumatra, Indonesia (unpublished).
- Rejosari Palm Oil Mill (2007). Internal report , Lampung Indonesia (unpublished).
- Saidu M., Ali Y., M. Razman S., Salmiati S. A., and Norhayati A. (2013). Influence of palm oil mill effluent as inoculum on anaerobic digestion of cattle manure for biogas production, *Bioresource Technology*, **141**, 174-176.
- Schuchardt, F., D. Darnoko, dan P. Guritno. (2002). Composting of Empty Oil Palm Fruit Bunch (EFB) with Simultaneous Evaporation of Palm Oil Mill Waste Water (POME). International Oil Palm Conference, Nusa Dua, Bali, Indonesia, July 8-12, 2002.
- Schuchardt, F., Wulfert K., Darnoko, and Tjahyono H. (2008). Effect of New Palm Oil Mill Processes on The EFB and POME Utilization. *Journal of Oil Palm Research*, Special Issue October 2008, pp. 115-126.
- Setiadi. T, Husaini and Djajadiningrat, A. (1996). Palm Oil Mill Effluent Treatment by Anaerobic Baffled Reactors: Recycle Effects and Biokinetic Parameters. *Wat. Sci. Tech.* 34 (11).
- Widjaya F. O., Bangun D., and Sinaga S.M. (2013). Peluang dan Tantangan Industri Minyak sawit Indonesia. Palm Oil Industry Development Conference, Grand Melia Hotel-Jakarta, 16-17 October 2013. (In Bahasa Indonesia).