

## POTENSI PENANGKAPAN GAS METANA DAN PEMANFAATANNYA SEBAGAI BAHAN BAKAR PEMBANGKIT LISTRIK DI PTPN VI JAMBI

---

**Irhan Febijanto**

Pusat Teknologi Sumberdaya Energi, BPPT,  
Jl. M.H. Thamrin No. 8, Jakarta Pusat, phone: (021)316 9860  
Email: irhan@bandung.wasantara.net.id

### ABSTRAK

Umumnya di dalam pemanfaatan air limbah di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Indonesia terbatas hanya untuk aplikasi daratan. Teknologi untuk menangkap dan memanfaatkan gas metana yang dihasilkan dari kolam anaerobik pengolahan air limbah telah dikembangkan, akan tetapi halangan ekonomi merupakan masalah besar untuk menerapkan teknologi ini. Karena Mekanisme Pembangunan Bersih (CDM) telah diperkenalkan di Indonesia, teknologi untuk menangkap dan memanfaatkan gas metana mempunyai peluang untuk diterapkan. Menggunakan *revenue* CDM, investor asing mempunyai kesempatan untuk menginvestasikan instalasi untuk menangkap dan membakar gas metana yang dihasilkan dari kolam anaerobik pengolahan air limbah di PKS. Sebagian dari mereka memanfaatkan gas metana yang ditangkap sebagai bahan bakar untuk menggantikan bahan bakar fosil. Di dalam studi ini, potensi pengurangan Gas Rumah Kaca dari gas metana di PKS PT. Perkebunan Nusantara VI diteliti. Menggunakan AMS-III.H (*Approved Methodology*) mengenai metodologi "recovery metana di dalam pengolahan limbah" dan AMS-I.D mengenai "pembangkitan energi listrik terbarukan yang terkoneksi dengan jaringan *grid*", potensi gas metana yang ditangkap dan listrik yang dibangkitkan dihitung. Ada dua jenis *revenue* yang mungkin diperoleh dalam proyek ini, yaitu satu dari penjualan karbon kredit ke para pembeli CER (reduksi emisi yang bersertifikat), dan yang lainnya dari penjualan listrik ke PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara). Telah diketahui terdapat dua PKS yang layak menerapkan teknologi ini.

**Kata kunci:** Gas rumah kaca, Reduksi emisi bersertifikat, Listrik, Pabrik kelapa sawit, Effluen, Mekanisme pembangunan bersih

### ABSTRACT

In general waste water utilization in Indonesian palm oil mills (POMs) is only limited for aplikasi lahan. The technology to capture and utilize methane gas generated from an-aerobic pond of waste water treatment have been developed, unfortunately economical barrier is a big problem to implement this technology. Since Clean Development Mechanism (CDM) has been being introducing in Indonesia, the technology for methane gas capture and utilization have an opportunity to be implemented. Using CDM revenue, foreign investors has an opportunity to invest an installation to capture and flare methane gas generated from an-aerobic pond of waste water treatment in POM. Some of them utilize methane gas captured as a fuel to substitute fossil fuel. In this study, the potential reduction of Green House Gas of methane gas in POM of PT. Perkebunan Nusantara VI is investigated. Using AMS-III.H (*Approved Methodology*) regarding "Methane recovery in waste treatment" methodology and AMS-I.D regarding "Grid connected renewable electricity generation", the potential methane gas captured and electricity generated is calculated. There are two kinds of revenue is possible in this project, one from selling credit carbon to CER (Certified Emission Reduction) buyers, and the others from selling electricity to PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara). It was known that two POMs are feasible to be implemented this technology.

**Key words:** Green house gases, Certified emission reduction, Electricity, Palm oil mill, Palm mill oil effluent, Clean development mechanism

## 1. PENDAHULUAN

Dalam rangka implementasi pengurangan emisi rumah kaca ini, PTPN VI selaku pemilik proyek, bersama PTPSE-BPPT, selaku konsultan teknis CDM dan Shimizu Co., selaku pembeli CER (*Credit Emission Reduction*) bekerjasama untuk melakukan inventarisasi potensi pemanfaatan limbah cair dari Pabrik Kelapa Sawit milik PTPN VI. Pelaksanaan studi berlangsung dari bulan September-Desember 2009.

### 1.1. Penangkapan Gas Metana di PKS sebagai Proyek CDM

Penangkapan gas metana di kolam pengolahan limbah cair ini merupakan aplikasi pemanfaatan limbah cair, yang sudah diketahui lama oleh para peneliti, tetapi aplikasi ke lahan belum banyak dilakukan di Indonesia karena tidak ekonomis.

Karena pelaksanaan pemanfaatan gas metana ini terkait dengan investasi, maka pemilihan lokasi yang mempunyai potensi gas metana perlu dipilih dengan teliti dan seksama, berdasarkan data-data yang terkait dengan jumlah TBS olah dan jumlah limbah cair (*POME/Palm Oil Mill Effluent*) dalam kurun waktu beberapa tahun ke belakang.

Pada studi ini tiga kriteria menjadi bahan pertimbangan untuk menentukan lokasi pemanfaatan limbah, yaitu :

- 1) Luasan kebun milik sendiri
- 2) Jumlah TBS olah per tahun
- 3) Kedekatan lokasi dengan kandidat lokasi PKS yang lain

Luasan kebun milik sendiri ini menjamin kepastian jumlah pasokan jumlah TBS (Tandan Buah Segar) ke PKS (Pabrik Kelapa Sawit). Jika areal kebun milik sendiri kecil, berarti produksi jumlah TBS untuk memenuhi kapasitas pabrik akan kecil, sehingga pabrik akan sangat tergantung kepada pembelian jumlah TBS dari pihak ketiga dan suplai TBS dari plasma. Akan tetapi, dengan berkembangnya alam market bebas di penjualan TBS ini, semakin hari suplai TBS dari plasma, terkadang tidak dapat diprediksi dengan jelas. Hal ini karena para petani plasma berusaha mencari harga beli TBS dari PKS lain yang lebih tinggi. Adanya persaingan harga beli dengan PKS swasta lain, membuat suplai TBS dari plasma tidak dapat diprediksi dengan pasti. Dalam persaingan harga beli TBS ini, pihak PTPN VI selaku perusahaan negara, tidak bisa segesit perusahaan swasta lain dalam menentukan harga beli, sehingga lebih sering mengalami kekurangan suplai akibat kalah bersaing di harga beli TBS. Fluktuasi suplai TBS dari plasma ini akan semakin berkurang, jika 100% suplai TBS merupakan produksi dari kebun sendiri.

Jumlah gas metana yang dihasilkan dari limbah cair mempunyai perbandingan yang linier dengan jumlah TBS olah. Sehingga untuk mendapatkan jumlah produksi gas metana yang optimal, kemampuan olah TBS yang tinggi dari PKS sangat diharapkan dalam proyek ini, dan suplai TBS yang stabil akan menjamin produksi gas metana dari kolam limbah

pengolahan sesuai dengan prediksi perhitungan yang dilakukan sebelum proyek berjalan.

Faktor kedekatan lokasi dengan PKS lain perlu dipertimbangkan untuk mempermudah diversifikasi proyek ini ke lokasi lain, selain juga menguntungkan dalam hal koordinasi pembangunan proyek, jika proyek ini dilaksanakan secara bersamaan, untuk menghemat biaya konstruksi proyek.

## **1.2 Clean Development Mechanism (CDM)**

*Clean Development Mechanism (CDM)* adalah suatu program yang bersifat internasional, pengejawantahan dari Protokol Kyoto sebagai usaha untuk mengurangi efek dari *Green House Gasses (GHG)* [1], seperti gas CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, dsb. Jumlah emisi yang dikurangi berdasarkan atas emisi GHG yang dihasilkan oleh tiap negara pada tahun 1990.

Melalui program CDM, negara maju (yang tergabung dalam ANNEX I) bersama negara-negara berkembang untuk bekerja sama mengurangi emisi gas rumah kaca.

Keuntungan program CDM bagi negara berkembang antara lain adalah :

- a. Adanya aliran investasi asing, yang dapat membantu kelancaran finansial proyek.
- b. Keikutsertaan investor asing dalam proyek dapat memperkecil resiko bagi pengembang lokal.
- c. Adanya kemungkinan transfer teknologi, yang dapat membantu perkembangan teknologi lokal.
- d. Jika pendanaan melalui pinjaman bank asing, biasanya akan mendapatkan bunga yang lebih rendah dari bank nasional/lokal.

Dari keuntungan-keuntungan yang ada, keuntungan mendapatkan dukungan finansial atau adanya investasi asing merupakan hal yang menarik dari program CDM bagi pengembang lokal.

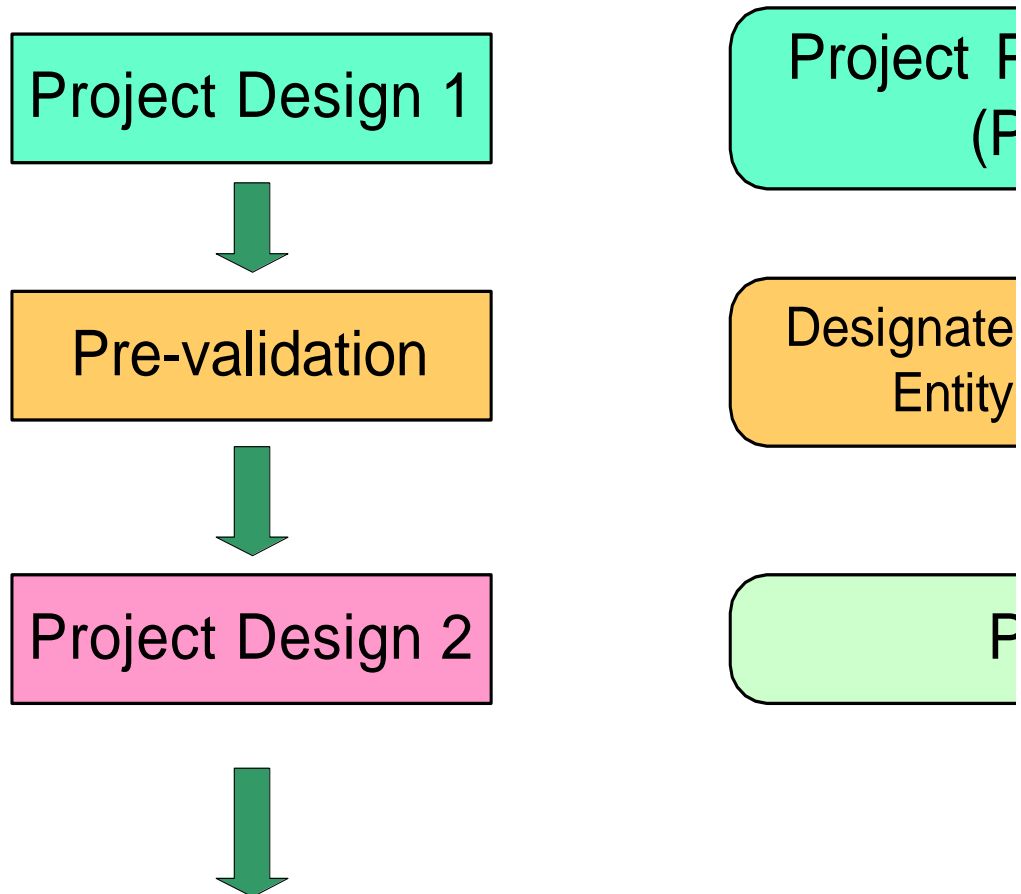
Bagi negara maju, program CDM merupakan cara pengurangan emisi gas rumah kaca yang dapat dilakukan dengan biaya murah dibandingkan dengan pelaksanaan di negaranya sendiri.

Program CDM sendiri mempunyai prosedur yang sudah ditentukan oleh UNFCCC (*United Frameworks for Convention Climate Change*). Prosedur tersebut harus dilakukan agar suatu proyek dapat diakui secara resmi oleh UNFCCC, selaku badan yang memberikan sertifikat terhadap sebuah proyek CDM. Prosedur tersebut ditunjukkan dalam Gbr. 1.

Tiap langkah yang dilakukan dalam proses administrasi CDM, dapat memakan waktu lebih dari satu tahun. Intinya perlu dilakukan klarifikasi terhadap pelaksanaan proyek CDM apakah pengurangan CO<sub>2</sub> terjadi dengan pasti, dan klarifikasi metodologi perhitungan bisa dipertanggungjawabkan.

Dengan diratifikasinya Protokol Kyoto oleh negara Indonesia, maka negara Indonesia bisa turut serta secara sukarela untuk melakukan pengembangan proyek proyek yang dapat mengurangi emisi gas rumah kaca.

Pemanfaatan mekanisme CDM, dapat mengurangi resiko ketidaklayakan secara ekonomis suatu proyek yang memakai sumber-sumber energi terbarukan. Proyek energi terbarukan merupakan suatu proyek yang dapat mengurangi emisi karbon yang dihasilkan oleh pembangkit berbahan bakar fosil dari suatu jaringan ketenagalisrikan di suatu daerah.



Gbr. 1. Proses administrasi CDM

## 2. PENJELASAN OBYEK KAJIAN

### 2.1. Pabrik Kelapa Sawit di Indonesia

Indonesia merupakan negara pengekspor CPO (*Crude Palm Oil*) terbesar di dunia, dengan produksi CPO sekitar 17 juta pada tahun 2009. Dari hasil pengolahan kelapa sawit ini,

dihasilkan limbah padat dan limbah cair. Limbah padat berupa tandan kosong, blotong, cangkang dan serabut. Sedangkan limbah cair berupa limbah cair yang diolah sebelum dikeluarkan ke lingkungan (sungai).

Dari limbah-limbah yang dikeluarkan oleh pabrik-pabrik kelapa sawit tersebut, limbah tandan kosong dan limbah cair berpotensi besar menghasikan emisi gas metana yang memicu terjadinya pemanasan global (*global warming*). Limbah cangkang dan serabut (*fibre*) umumnya sudah digunakan oleh pabrik kelapa sawit sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Sedangkan tandan kosong, umumnya dibakar begitu saja di lahan pabrik. Tetapi saat ini sudah ada usaha usaha untuk memanfaatkan tandan kosong tersebut sebagai bahan baku pupuk. Pemakaian tandan kosong sebagai bahan bakar pembangkit listrik di pabrik kelapa sawit belum diimplementasikan di Indonesia, karena dibutuhkan teknologi khusus. Di negara Malaysia ada beberapa proyek CDM (*Clean Development Mechanism*) yang sudah memanfaatkan tandan kosong sebagai bahan bakar pembangkit.

Dengan adanya RSOP (*Roundtable on Sustainable Palm Oil*) dan usaha usaha yang mendukung lingkungan, pemanfaatan limbah padat dan cair mulai dilakukan oleh pabrik-pabrik kelapa sawit.

Makalah ini membahas potensi pengurangan emisi gas metana yang terdapat di beberapa pabrik kelapa sawit di PT. Perkebunan Nusantara (PTPN) VI di Jambi.

Studi ini dilakukan dengan kerjasama Shimizu Co., sebuah perusahaan konstruksi yang terkenal di Jepang [2]. Dimana semenjak Protokol Kyoto, ikut aktif dalam pembuatan proyek-proyek CDM (*Clean Development Mechanism*) / Mekanisme Pembangunan Bersih terutama untuk pemanfaatan gas metana di landfill. Umumnya proyek CDM yang dibangun Shimizu ini berlokasi di Eropa Timur. Pelaksanaan studi berlangsung dari bulan September-Desember 2009.

Dalam studi ini PTPSE-BPPT (Pusat Teknologi Sumber Daya Energi-BPPT) yang bertugas sebagai fasilitator CDM berperan dalam mempromosikan potensi pengurangan gas metana dari limbah cair di pabrik kelapa sawit. Perhitungan potensi gas metana menjadi tugas tim CDM PTPSE-BPPT. Sedangkan Shimizu Co. mempunyai tugas untuk mencari investor yang berminat pada proyek ini berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan oleh tim CDM PTPSE-BPPT.

Shimizu Co. [1], adalah perusahaan konstruksi besar dan tua di Jepang, usianya hampir mencapai 200 tahun. Beberapa tahun yang lalu dari majalah Fortune terpilih sebagai perusahaan konstruksi terbesar di dunia. Sejak ditanda tangannya Protokol Kyoto, Shimizu Co., aktif melakukan penelitian dan pembangunan proyek proyek untuk pengurangan Gas Rumah Kaca (GRK). Beberapa proyek penangkapan gas metana di tempat pembuangan sampah di Eropa Timur sudah terdaftar resmi sebagai proyek CDM. Dan masih ada beberapa lagi yang sedang dalam proses administrasi CDM. Salah satunya di Indonesia adalah di TPA Piyungan, Yogyakarta.

## 2.2. Limbah Cair PKS

Limbah cair yang dihasilkan dari Pabrik pengolahan minyak Kelapa Sawit (PKS) dapat memberikan dampak negatif bagi lingkungan karena memiliki kandungan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang sangat tinggi. Untuk itu sebelum dialirkan ke lahan perkebunan, BOD dan COD dari limbah cair tersebut harus diturunkan. Proses pengaliran limbah cair ke areal tanaman disebut dengan istilah aplikasi lahan (*land application*). Pada dasarnya pengaliran limbah cair ke lahan bertujuan untuk mengendalikan daya cemar limbah terhadap lingkungan sekitarnya.

Dua PKS di PTPN VI, yaitu PKS Bunut dan PKS Rimbo Dua telah memanfaatkan limbah cair untuk aplikasi lahan sejak beberapa tahun yang lalu. Sesuai dengan aturan KEPMENLH/28/2003 [3], nilai BOD limbah cair untuk aplikasi lahan tidak lebih dari 5000 mg/L. Dengan nilai BOD ini, limbah cair dianggap masih mempunyai nutrisi yang cukup sebagai pupuk cair. Sedangkan PKS yang lainnya membuang limbah cair tersebut ke sungai. BOD untuk limbah cair ini sesuai aturan KEPMEN harus dibawah 150 mg/L [3].

Pada PKS yang memanfaatkan limbah cair untuk land application, karena nilai BOD limbah cair harus di bawah 5000 mg/L, maka beberapa kolam aerobik menjadi tidak dipakai. Limbah cair yang sebelumnya dialirkan melalui 8-9 kolam pengolahan limbah cair, menjadi hanya dialirkan ke 2-4 kolam limbah cair. Perubahan ini untuk menjaga agar zat organik yang tersisa masih dapat dimanfaatkan sebagai bahan nutrisi dan untuk menjaga nilai BOD agar mendekati nilai ambang batas (5000 mg/L). Lumpur/*sludge* dari kolam pengolahan limbah cair biasanya dipakai untuk pupuk.



**Gbr. 2. Kolam pengolahan limbah cair di salah satu PKS milik PTPN VI**

Gambar 2 menunjukkan kondisi umum limbah penampungan limbah cair. Nampak bagian permukaan limbah cair ditutupi oleh sekam. Kolam pengolahan limbah cair ini terdiri dari 8-10 kolam, dimana 2 kolam pertama merupakan kolam an-aerob, dan sisanya merupakan kolam aerob. Limbah cair yang dialirkan ke perkebunan diambil dari kolam pengolahan limbah nomor 4. Pada kolam nomor 4 ini, BOD masih relatif tinggi, yaitu sekitar di bawah 5000 mg/L. Untuk mempercepat proses pembusukan zat organik dalam limbah cair, dilakukan sirkulasi air dari kolam *aerobic* nomor 3 atau 4 ke kolam *an aerobic* nomor 1. Sirkulasi ini mempunyai dua tujuan, yaitu untuk mendinginkan suhu kolam 1, sehingga suhu kolam sesuai untuk kehidupan bakteri pembusuk, juga untuk menambah kuantitas bakteri dari kolam *aerobic* ke kolam *an aerobic*, kolam 1. Limbah cair yang masuk ke kolam 1, masih relatif panas dengan suhu sekitar 70°C, untuk itu perlu didinginkan dengan memakai *water cooling* atau dialirkan ke *cooling pond* sebelum dialirkan ke kolam 1.

Limbah cair ini rata-rata didisain dengan waktu tinggal sekitar 25-30 hari untuk setiap kolam. Jika melebihi waktu, maka volume air akan melebihi daya tampung kolam, sehingga air meluber ke kolam sebelahnya. Rata-rata disain kedalaman kolam adalah 5-6 meter. Tetapi pada kenyataannya pendangkalan terjadi lebih cepat, sehingga kedalaman rata rata hanya 2-3 m. Pendangkalan ini sebenarnya mengganggu proses anaerobik, dan proses terbentuknya gas metana.

Secara kasat mata, dari permukaan kolam pengolahan limbah ini di permukaannya nampak gelembung-gelembung yang timbul diakibatkan adanya gas metana. Gas metana ini bisa terbakar jika terkumpul dalam jumlah yang banyak di atas permukaan.

### 2.3. PTPN VI

PTP. Nusantara VI (Persero) [4] berdiri sejak tahun 1996, yaitu hasil dari penggabungan PTP. III, PTP. IV, PTP. VI dan PTP.VIII yang berada di wilayah Propinsi Sumatera Barat dan Propinsi Jambi, sesuai dengan peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 11 tahun 1996 tanggal 14 Pebruari 1996. Selanjutnya disahkan oleh Notaris Harun Kamil, S.H berdasarkan Akte No. 39 tanggal 11 Maret 1996 serta Keputusan Menteri Kehakiman Republik Indonesia No. C2-8334.HT.01.01 Tahun 1996 dan Akte Notaris Sri Rahayu Hadi Prasetyo, SH Jakarta No.19 tahun 2002 tanggal 30 September 2002, kantor Direksi PT Perkebunan Nusantara VI (Persero) berkedudukan di Jambi.

PT Perkebunan Nusantara VI (Persero) adalah perusahaan yang memiliki perkebunan dengan total luas mencapai 90.122,14 hektar. Bidang usahanya meliputi pengelolaan 17 unit perkebunan meliputi budidaya kelapa sawit, karet, dan teh, serta pabrik berteknologi modern yang terdiri dari: 5 unit pabrik pengolahan kelapa sawit, 3 unit pabrik pengolahan karet, 2 unit pabrik pengolahan teh yang menghasilkan produk berkualitas.

**Tabel 1. Kapasitas pabrik kelapa sawit [4]**

<b>Pabrik Kelapa Sawit</b>	<b>Kapasitas (ton TBS/jam)</b>
<b>Sungai Bahar</b>	
Bunut	60
Pinang Tinggi	60
Tanjung Lebar	30
<b>Muara Bungo</b>	
Rimbo Dua	30
Ophir	50

## **2.4. Pemilihan Lokasi**

Lokasi PKS PTPN VI, terletak amat berjauhan, tiga PKS terletak di Propinsi Jambi di daerah Sungai Bahar, dan 3 lainnya terletak di Muara Bungo di perbatasan antara propinsi Sumatera Barat dan Jambi, dan 1 PKS lagi terletak di Sumatera Barat. Mengingat lokasi yang berjauhan, ditinjau dari segi disertifikasi proyek dan kemudahan dan biaya transport, maka dipilih lokasi yang berdekatan.

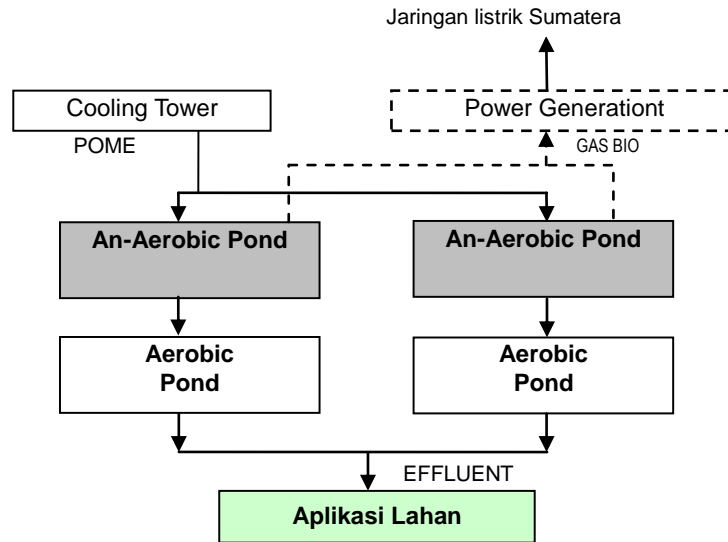
## **3. METODOLOGI**

### **3.1. Perhitungan Emisi Rumah Kaca**

Perhitungan emisi proyek ini memakai metodologi yang telah ditetapkan oleh UNFCCC yaitu AMS-III.H (*Approved Methodology, version 13*): "*Methane recovery in waste treatment*"[5], untuk perhitungan jumlah gas rumah kaca yang dikeluarkan dari kolam pengolahan limbah. Dan untuk perhitungan pengurangan jumlah gas rumah kaca untuk penggantian bahan bakar fosil untuk membangkitkan listrik dipakai AMS-ID (*Grid connection renewable electricity version 11*) [5].

Berdasarkan metodologi di atas, proyek ini termasuk ke dalam proyek implementasi pengambilan gas bio dan pembakaran gas bio pada kolam pembuangan limbah air, dimana gas bio diambil dari kolam anaerobik yang ada [5], kemudian listrik yang disambungkan ke jaringan grid dapat menggantikan listrik yang dibangkitkan oleh bahan bakar fosil. Dari metodologi tersebut ditetapkan batasan proyek dengan ilustrasi seperti ditunjukkan dalam Gbr. 3.





**Gbr. 3. Batasan proyek**

Gambar ini menunjukkan bahwa proyek pengurangan emisi karbon terbatas kepada kegiatan-kegiatan proyek yang berkaitan di sekitar kolam anaerobik saja. Limbah air / *Palm Oil Mill Effluent* (POME) yang berasal dari pabrik, setelah didinginkan di *cooling tower* dialirkan ke kolam anaerobik 1 dan 2. Setelah itu dialirkan ke kolam aerobik, dan selanjutnya dipompakan ke areal perkebunan. Kolam anaerobik ditutupi HDPE (*High Density Polyethylene*) pada bagian dasar kolam dan bagian atas kolam, untuk mencegah kebocoran gas bio ke udara luar.

Gas bio yang dihasilkan dari kolam tersebut, terkumpul di atas permukaan kolam, lalu disedot oleh blower dan dialirkan ke fasilitas pembangkit listrik, dan listrik yang dihasilkan disambungkan ke jaringan tegangan menengah sistem interkoneksi Sumatera. Pada proses ini gas metana,  $CH_4$ , yang terkandung di dalam gas bio, diubah menjadi gas karbondioksida,  $CO_2$ , melalui proses pembakaran di dalam pembangkit listrik. Gas metana mempunyai daya rusak 21 kali lipat dibandingkan gas karbondioksida. Jadi melalui proses pembakaran di dalam pembangkit listrik, Gas Rumah Kaca (GRK) gas metana diubah menjadi gas karbondioksida, merupakan proses utama dalam usaha penurunan efek GRK dari proyek ini.

Listrik yang dibangkitkan akan mengurangi pemakaian bahan bakar fosil yang menghasilkan GRK dalam jumlah besar. Jumlah gas rumah kaca yang dikurangi dalam pembakaran untuk membangkitkan listrik ditentukan dengan *Baseline Emission Factor* dari jaringan interkoneksi Sumatera.

Lumpur/*sludge* yang dihasilkan dari kolam anaerobik dikeluarkan dari dalam kolam secara berkala dengan penyedotan pompa. Pengurangan volume lumpur di dalam kolam ini bertujuan untuk menjaga kedalaman kolam dan jumlah aliran limbah cair.

### 3.1.1. Baseline Proyek

Disain kedalaman kolam rata-rata adalah 5 m, dimana untuk menjaga kedalaman *sludge*/lumpur diambil dari dalam kolam secara berkala. Lumpur tersebut dimanfaatkan untuk pupuk di areal perkebunan atau ditumpuk begitu saja di sekitar kolam. Karena sebelum (*baseline*) dan setelah proyek dilaksanakan (*project activity*), pengolahan lumpur ini tidak mengalami perubahan, maka dianggap tidak ada pengurangan emisi pada proses ini, maka  $BE_{s.treatment,y} = 0$ . Dan karena lumpur digunakan sebagai pupuk/*soil application* maka  $BE_{s.final,y} = 0$ .

*Baseline emission* dari proyek penangkapan gas metana pada sistem pengolahan limbah air dapat ditunjukkan dengan persamaan pada AMS-III.H (*Approved Methodology*) (*version 13*): ”*Methane recovery in waste treatment*” [5] :

$$BE_y(t-CO_{2-e/y}) = \{ BE_{power,y} + BE_{ww.treatment,y} + BE_{s.treatment,y} + BE_{ww.discharge,y} + BE_{s.final,y} \} \quad (1)$$

dimana,

- $BE_y$  : Emisi *baseline* pada tahun  $y$  (t-CO<sub>2</sub>)
- $BE_{power,y}$  : Emisi *baseline* listrik atau kebutuhan bahan bakar pada tahun  $y$  (t-CO<sub>2</sub>)
- $BE_{ww.treatment,y}$  : Emisi *baseline* pengolahan limbah cair (t-CO<sub>2</sub>)
- $BE_{s.treatment,y}$  : Emisi *baseline* pengolahan *sludge*/lumpur (t-CO<sub>2</sub>)
- $BE_{ww.discharge,y}$  : Emisi *baseline* pembusukan karbon organik dari hasil pengolahan limbah cair yang dibuang ke sungai/laut (t-CO<sub>2</sub>)
- $BE_{s.final,y}$  : Emisi *baseline* pembusukan anorganik lumpur (t-CO<sub>2</sub>)

Dalam kondisi biasa (sebelum proyek CDM), sumber listrik untuk proses pengolahan limbah cair menggunakan bahan bakar biomasa yang berasal dari limbah padat (serabut dan cangkang) dari proses pembuatan CPO. Sehingga energi listrik yang dipakai tidak menghasilkan emisi, maka  $BE_{power,y} = 0$ .

Pengolahan *sludge*/lumpur pada proyek ini tidak mengalami perubahan dengan adanya proyek ini, dimana lumpur diambil dari kolam anaerobik secara berkala untuk menjaga kualitas air yang dikeluarkan ke areal perkebunan, sehingga dalam proyek ini  $BE_{s.treatment,y} = 0$ .

Dalam proyek ini, limbah air yang keluar dari kolam anaerobik diolah dengan baik di kolam aerobik, maka  $BE_{ww.discharge,y} = 0$ . Dengan kondisi proyek seperti itu, maka persamaan *baseline* dalam kegiatan proyek ini menjadi,

$$BE_y = BE_{ww.treatment,y} = \sum Q_{ww,i,y} \times COD_{removed,i,y} \times MCF_{ww.treatment,BL,i} \times B_{o,ww} \times UF_{BL} \times GWP_{CH4} \quad (2)$$

dimana,

$Q_{ww,i,y}$	:	Jumlah limbah air (t/m <sup>3</sup> )
$COD_{removed,i,y}$	:	Nilai COD yang diambil/terolah
$MCF_{ww.treatment,BL,i}$	:	Faktor koreksi gas metana untuk <i>baseline</i> pengolahan limbah air, 0,8 [7] (kolam anaerobik dalam)
$B_{o,ww}$	:	Kapasitas produksi gas metana pada limbah air, 0,21 kg (CH <sub>4</sub> /kgCOD) [5]
$UF_{BL}$	:	Faktor koreksi model untuk perhitungan ketidakpastian model, 0,94[5]
$GWP_{CH4}$	:	Potensi emisi gas metana pada sistem pengolahan limbah air yang dilengkapi sistem penangkap gas bio, 21 [5]

Pengukuran jumlah limbah air,  $Q_{ww,i,y}$  tidak dilakukan oleh PKS, karena selain harga *flowmeter* mahal, tidak ada kepentingan bagi PKS untuk melakukan pengukuran volume air limbah. Jumlah air limbah ini ditentukan dengan perhitungan menggunakan koefisien perbandingan antara jumlah TBS yang diolah dan jumlah limbah air.

Dalam studi ini dipakai angka 0,6 , yang merupakan angka acuan dari PKS di PTPN V. Untuk PKS di Malaysia dari literatur yang ada, memakai angka 0,7 [6].

Pengukuran COD di *inlet* dan *outlet* kolam anaerobik, yang merupakan parameter penting untuk menentukan jumlah gas metana, nilainya diambil dari data laporan bulanan kualitas limbah cair ke Badan Pengawasan Lingkungan Daerah di lokasi masing masing PKS. Nilai COD di *inlet* kolam anaerobik tercatat 50.000 mg/L [7], dan untuk *outlet* tercatat 5000 mg/L[7].

*Baseline emission* dari penggantian bahan bakar fosil dengan menggunakan bahan bakar gas metana ini ditunjukkan dengan persamaan pada AMS-ID (*Grid connection renewable electricity vesion 11*) [5]:

$$BE_{y,electricity} = MWH_{grid} \times EF_{grid} \quad (3)$$

dimana,

$MWH_{grid}$	:	Jumlah energi yang dibangkitkan dengan menggunakan energi terbarukan (kWh)
$EF_{grid}$	:	Koefisien emisi dari sistem jaringan/grid, 0,743 t-CO <sub>2</sub> /MWh [8].

Total dari emisi *baseline* adalah total dari persamaan (2) dan (3).

### 3.1.2. Emisi proyek

Emisi proyek yang dihasilkan dari kegiatan proyek ini berdasarkan AMS-III.H (*Approved*

*Methodology*) (version 13): "Methane recovery in waste treatment" [5], adalah :

$$PE_y = PE_{power,y} + PE_{ww,treatment,y} + PE_{s,treatment,y} + PE_{ww,discharge,y} + PE_{s,final,y} + PE_{fugitive,y} + PE_{biomass,y} + PE_{flaring,y} \quad (4)$$

dimana,

- $PE_y$  : Emisi proyek pada tahun y (t-CO<sub>2</sub>)
- $PE_{power,y}$  : Emisi proyek dari listrik atau kebutuhan bahan bakar pada tahun y (t-CO<sub>2</sub>)
- $PE_{ww,treatment,y}$  : Emisi gas metana dari sistem pengolahan limbah air yang diakibatkan kegiatan proyek dan tidak dipasang penangkap gas, pada tahun y (t-CO<sub>2</sub>)
- $PE_{s,treatment,y}$  : Emisi gas metana dari sistem pengolahan lumpur yang diakibatkan kegiatan proyek dan tidak dipasang penangkap gas, pada tahun y (t-CO<sub>2</sub>)
- $PE_{ww,discharge,y}$  : Emisi proyek dari pembusukan karbon organik dari hasil pengolahan limbah cair pada tahun y (t-CO<sub>2</sub>)
- $PE_{s,final,y}$  : Emisi proyek dari pembusukan anaerobik dari hasil akhir lumpur pada tahun y (t-CO<sub>2</sub>)
- $PE_{fugitive,y}$  : Emisi proyek dari biogas yang terlepas dari sistem penangkapan pada tahun y (t-CO<sub>2</sub>)
- $PE_{biomass,y}$  : Emisi gas metana dari penyimpanan biomasa pada kondisi anaerobik (t-CO<sub>2</sub>)
- $PE_{flaring,y}$  : Emisi gas metana dari ketidaksempurnaan pembakaran pada tahun y (t-CO<sub>2</sub>)

Pada kegiatan proyek ini, sumber bahan listrik yang dipakai adalah tetap seperti sebelum proyek dilaksanakan, yaitu serabut dan cangkang (limbah biomasa) dari kelapa sawit, sehingga emisi dianggap tidak ada,  $PE_{power,y} = 0$ .

Proses pengolahan limbah cair secara anaerobik pada aktivitas proyek ini adalah sama dengan kondisi sebelum proyek (*baseline*), sehingga kualitas air yang diolah/nilai COD limbah air setelah melewati kolam anaerobik pada saat sebelum proyek dan sebelum proyek adalah sama, maka dalam perhitungan ini dapat dianggap  $PE_{ww,discharge,y} = 0$ .

Lumpur/*sludge* dari kolam anaerobik diambil secara periodik untuk menjaga kualitas proses pengolahan air dan mencegah pendangkalan kolam. Lumpur diambil dari kolam, dikeringkan dengan sinar matahari dan kemudian dibuang ke lahan perkebunan terdekat sebagai pupuk, sehingga  $PE_{s,final,y} = 0$ . Dengan tidak adanya pengolahan lumpur maka pada emisi pada kegiatan tersebut tidak ada, dan tidak ada nilai  $PE_{s,treatment,y}$ . Karena tidak ada biomassa yang disimpan di bawah kondisi anaerobik, maka tidak ada nilai  $PE_{biomass,y}$ .

Dengan kondisi aktivitas proyek seperti di atas maka persamaan (4) menjadi,

$$PE_y = PE_{ww,treatment,y} + PE_{fugitive,y} + PE_{flaring,y} \quad (5)$$

$$PE_{fugitive,y} = PE_{fugitive,ww,y} + PE_{fugitive,s,y} \quad (6)$$

karena pada proyek ini tidak ada sistem pengolahan sludge, maka, nilai  $PE_{fugitive,s,y}$  tidak ada, sehingga,

$$PE_{fugitive,y} = PE_{fugitive,ww,y} \quad (7)$$

$$PE_{fugitive,ww,y} = (1 - CFE_{ww}) \times MEP_{ww,treatment,y} \times GWP_{CH4} \quad (8)$$

dimana,

- $CFE_{ww}$  : Efisiensi pengkapan dari fasilitas penangkapan gas pada sitem pengolahan limbah, 0,9 [5]  
 $GWP_{CH4}$  : Potensi emisi gas metana pada sistem pengolahan limbah air yang dilengkapi sistem penangkap gas bio, 21 [5]

Potensi gas metana yang dihasilkan dari limbah cair dari kolam anaerobik dinyatakan dalam persamaan di bawah ini,

$$MEP_{ww,treatment,y} = Q_{ww,y} \times B_{o,ww} \times UF_{PJ} \times \sum COD_{removed,PJ,k,y} \times MCF_{ww,treatment,PJ,k,y} \quad (9)$$

dimana,

- $Q_{ww,y}$  : Jumlah limbah air ( $t/m^3$ )  
 $B_{o,ww}$  : Kapasitas produksi gas metana pada limbah air, 0,21 kg ( $CH_4/kgCOD$ )[5]  
 $UF_{PJ}$  : Faktor koreksi model untuk perhitungan ketidakpastian model, 1,06[5]  
 $COD_{removed,PJ,k,y}$  : Jumlah COD yang terambil/terolah.  
 $MCF_{ww,treatment,PJ,k}$  : 0,8 (kolam anaerobik dalam) [5]

$$PE_{flaring,y} = \sum TM_{RGH} \times (1-0,9) \times GWP_{CH4}/1000 \quad (10)$$

dimana jumlah massa gas metana yang mengalir pada aliran gas bio pada fasilitas pembakaran/*flaring* dianggap sama dengan jumlah massa gas metana yang dihasilkan kolam anaerobik setelah dikurangi jumlah gas metana yang terlepas pada dari sistem penangkapan gas,

$$\sum TM_{RGH} \times GWP_{CH4}/1000 \times (MEP_{ww,treatment,y} \times GWP_{CH4}) - PE_{fugitive,ww,y} \quad (11)$$

dimana

- $\sum TM_{RG,h}$  : Jumlah massa gas metana pada aliran gas bio buang (kg/h)

Sehingga persamaan (10) dapat diubah menjadi persamaan di bawah ini,

$$PE_{flaring,y} = (MEP_{ww.treatment,y} \times GWP_{CH4}) - PE_{fugitive,ww,y} \quad (12)$$

### 3.1.3. Kebocoran / Leakage

Pada proyek ini instalasi sistem penangkapan dan pembakaran gas metana merupakan sistem/peralatan yang baru, sehingga kebocoran/*leakage* dianggap nol,  $LE = 0$ .

### 3.1.4. Pengurangan emisi (*Emission reduction*)

Pengurangan emisi dari skenario proyek ini adalah sebagai berikut

$$ER_{y,ex\ ante} = BE_{y,ex\ ante} + BE_{y,electricity} - (PE_{y,ex\ ante} + LE_{y,ex\ ante}) \quad (13)$$

Persamaan (11) ini dapat diubah menjadi,

$$ER_{y,ex\ ante} = BE_{ww.treatment,y} + BE_{y,electricity} - (PE_{ww.treatment,y} + PE_{fugitive,y} + PE_{flaring,y}) \quad (14)$$

Dari persamaan (14), pengurangan emisi dari proyek CDM ini,  $ER_{y,ex\ ante}$  didapat dari pengurangan antara emisi dari pengolahan limbah cair,  $BE_{ww,treatment}$ , dan emisi dari listrik yang dipakai,  $BE_{y, electricity}$  saat proyek CDM belum dimulai dikurangi dengan emisi dari sistem pengolahan limbah cair,  $PE_{ww,treatment}$ , emisi proyek dari biogas yang terlepas dari sistem penangkapan,  $PE_{fugitive}$  dan emisi dari ketidaksempurnaan pembakaran,  $PE_{flaring}$  di tahun  $y$  pada proyek CDM.

## 3.2. Nilai Kalor Biogas

Komposisi gas metana dari biogas yang berasal dari POME berkisar 60-70% [9] atau 65% [10], dimana sisanya adalah merupakan gas  $CO_2$  dan gas lainnya. Dari literatur yang ada, setiap 1 ton POME akan menghasilkan 28,8  $m^3$  biogas dengan nilai kalor biogas yang dihasilkan dari POME adalah berkisar 4740-6560  $kcal/m^3$ , dan dengan konversi energi sekitar 35%, maka nilai 1  $m^3$  biogas akan dapat menghasilkan listrik setara dengan 1,8  $kWh/m^3$  biogas [10], [11].

## 3.3. Pendapatan Proyek

Biaya yang dikeluarkan untuk proyek ini digunakan untuk :

- i) biaya pengurusan administrasi CDM
- ii) biaya investasi
- iii) biaya operasi proyek, dengan usia proyek 10 tahun.

Pendapatan dari proyek ini berasal dari :

- i) penjualan karbon/CER (*Certified Emission Reduction*)
- ii) penjualan listrik ke PT Perusahaan Listrik Negara.

Pendapatan dari CER sendiri, merupakan total CER dari pengurangan GRK yang berasal dari penangkapan gas metana di kolam an-aerobik melalui penutupan kolam an-aerobik dengan HDPE (*High Density Polyethylene*), dan dari pengurangan GRK yang didapat dari penggantian gas metana sebagai bahan bakar untuk membangkitkan listrik.

Dalam hal ini terjadi pengurangan bahan bakar fosil. Listrik yang dihasilkan dikoneksikan dengan jaringan sistem kelistrikan interkoneksi Sumatera.

Pada studi ini tidak dilakukan analisa keekonomian dari pelaksanaan proyek CDM, dengan analisa terbatas hanya pada keuntungan dari penjualan karbon dan penjualan tenaga listrik.

### **3.4. Keekonomian Proyek**

Keekonomian proyek penangkapan gas metana perlu dijelaskan dan menjadi bukti untuk menjelaskan *additionality* dan kelayakan keekonomian dari proyek ini, sebagai proyek CDM.

Usaha penangkapan gas metana dari limbah cair di kolam pengolahan limbah cair, jelas merupakan suatu proyek yang tidak menghasilkan pendapatan bagi perusahaan, sebaliknya akan menjadi beban jika proyek ini harus dilaksanakan dengan biaya perusahaan.

Dengan memasukkan usaha penangkapan gas metana ini ke dalam mekanisme CDM, maka akan didapatkan pendapatan dari penjualan sertifikat pengurangan GRK, yang dapat digunakan untuk menutup biaya operasional usaha penangkapan gas metana ini. Dalam perhitungan keekonomian, tanpa pendapatan dari penjualan sertifikat maka karena tidak ada pendapatan, nilai *Net Present Value* (NPV) dari proyek ini akan menjadi negatif. Dan melalui mekanisme CDM, dengan adanya pendapatan dari penjualan sertifikat kredit karbon, jika nilai NPV berubah menjadi positif, maka menunjukkan proyek ini layak.

## **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **4.1. Hasil Pemilihan Lokasi**

Dari lokasi yang telah ditentukan di daerah Muara Bahar, yaitu PKS Tanjung Lebar dan PKS Pinang Tinggi. PKS Bunut tidak menjadi pilihan karena direncanakan akan dibangun proyek pemanfaatan kompos. Kedua PKS ini tidak memanfaatkan limbah cair untuk *aplikasi lahan*.

### **4.2. Emisi Gas Rumah Kaca**

Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dalam proyek ini adalah GRK yang dihasilkan dari proses pembusukan material organik di limbah cair, yaitu gas metana, CH<sub>4</sub>.

Perhitungan emisi memakai persamaan-persamaan yang dijelaskan pada paragraf 2.2. Sesuai dengan Metodologi III H, nomor 17, data yang dipakai adalah data satu tahun terakhir, sebelum proyek dimulai, yaitu tahun 2008.

Perhitungan emisi baseline,  $BE_y$ , dihitung dengan persamaan (2), emisi proyek,  $PE_y$ , dihitung dengan persamaan (3). Pengurangan emisi,  $ER_y$ , dari proyek ini dihitung dengan memakai persamaan (11), yang merupakan selisih dari hasil perhitungan emisi baseline, saat aktivitas proyek belum dilaksanakan (persamaan (2)) dan emisi proyek, saat aktivitas proyek dilaksanakan (persamaan (3)).

Hasil perhitungan ditunjukkan di Tabel 2. Penangkapan gas metana dari kolam anaerobik di PKS Pinang Tinggi dan PKS Tanjung Lebar, dapat mengurangi emisi sebesar 24.366 t-CO<sub>2</sub>. Dalam kurun waktu usia proyek, 10 tahun, maka reduksi emisi dari penangkapan adalah sebesar 240.366 t-CO<sub>2</sub>.

**Tabel 2. Pengurangan emisi tahun 2008**

PKS	TBS yg diproses (ton)	Produksi air limbah $Q_{ww,i,y}$ (ton)	POME (ton)	Emisi Baseline $BE$ (t-CO <sub>2</sub> /y)	Emisi Proyek $PE$ (t-CO <sub>2</sub> /y)	Pengurangan Emisi $ER$ (t-CO <sub>2</sub> /y)
Pinang Tinggi	201.958	121.175	121.175	18.083	3874	14.029
Tanjung Lebar	144.373	86.624	86.624	12.927	2770	10.158
<b>T o t a l</b>						24.366

### 4.3. Pembangkit Listrik

Dari jumlah biogas yang dihasilkan dapat diprediksi energi yang dapat dikonversikan untuk membangkitkan energi listrik adalah 1,8 kWh/m<sup>3</sup> biogas. Dalam studi ini maka dari dua PKS tersebut dengan asumsi *Capacity Factor* (CF) dari pembangkit adalah 90%, maka jumlah energi yang dibangkitkan dan kapasitas pembangkit yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

Dari listrik yang digantikan, jumlah pengurangan GRK yang didapat dari pemakaian bahan bakar fosil dihitung dengan persamaan (3), total dari kedua PKS tersebut ditunjukkan di Tabel 3. Sehingga total reduksi GRK adalah 7411 t-CO<sub>2</sub>/tahun. Dalam kurun waktu 10 tahun, GRK yang dikurangi sebesar 74.110 t-CO<sub>2</sub>.

**Tabel 3. Jumlah energi listrik dan kapasitas pembangkit**



PKS	Tenaga listrik (MWh)	Kapasitas Pembangkit (kW)	Pengurangan GRK (t-CO <sub>2</sub> )
Pinang Tinggi	5816	740	4322
Tanjung Lebar	4157	530	3089

Dengan biaya pokok penyediaan listrik sesuai dengan Peraturan Menteri ESDM Nomor 269-12/26/600.3/2008 [12], BPP Daerah Jambi adalah Rp 869,-/kWh. Jika listrik yang dihasilkan dikoneksikan ke jaringan menengah maka nilai BPP menjadi 80% [13], yaitu Rp 695,2/kWh. Dengan harga BPP tersebut, tiap tahun PKS Pinang Tinggi dan PKS Tanjung Lebar akan mendapatkan pendapatan kotor dari hasil penjualan listrik masing-masing sebesar Rp 4,0 milyar dan Rp 2,9 milyar.

#### 4.4 Penjualan Kredit Karbon

Penjualan kredit karbon ini akan menjadi pendapatan pemilik proyek. Jika nilai jual kredit karbon adalah EURO 10/t-CO<sub>2</sub>, dan nilai kurs 1 EURO = Rp.14.000,-, maka pada PKS Pinang Tinggi dan PKS Tanjung Lebar dari pengurangan GRK dari penangkapan gas metana dan penggantian tenaga listrik didapat masing masing pengurangan GRK sebesar 18.531 t-CO<sub>2</sub>/thn (4.322 t-CO<sub>2</sub>/thn +14.209 t-CO<sub>2</sub>/thn) t-CO<sub>2</sub>/thn dan 13.247 t-CO<sub>2</sub>/thn (3.089 t-CO<sub>2</sub>/thn +10.158 t-CO<sub>2</sub>/thn).

Dari total pengurangan GRK. PKS Pinang Tinggi dan PKS Tanjung Lebar masing – masing mendapat keuntungan sebesar Rp 2,6 Milyar/thn dan Rp 1,8 Milyar/thn.

Keuntungan dari penjualan karbon (*CER/Certified Emission Reduction*) didapat hampir setengah dari pendapatan dari penjualan listrik.

Pengambilan gas metana dari kolam pengolahan limbah cari di PKS masih sangat sedikit diaplikasikan di Indonesia. Kendala utama adalah faktor keekonomian, karena usaha ini tidak menghasilkan pendapatan secara langsung. Dengan adanya mekanisme CDM, usaha ini dapat menjadi layak secara ekonomi.

Skenario untuk penangkapan gas metana ini bisa dipilih menjadi dua bagian yaitu

- i) Penangkapan gas metana dan flaring, atau penangkapan gas metana dan
- ii) Memanfaatkan gas tersebut untuk bahan bakar pengganti bahan bakar fosil.
- iii) Jika skenario ii) yang dipilih maka keuntungan dari CER/penjualan karbon didapat dari pengurangan GRK dari penangkapan gas metana dan pengurangan GRK dari penggantian bahan bakar fosil.

Saat ini proses pelaksanaan proyek penangkapan gas metana di kolam pengolahan limbah di PPTN VI masih dalam proses negoisasi antara investor dari Jepang, Shimizu Co., dan PTPN VI, untuk mendapatkan bentuk skema bisnis yang sesuai bagi oleh kedua belah pihak dan aturan kedua negara.

## 5. KESIMPULAN

Pemanfaatan gas metana di kolam pengolahan air limbah di PKS PTPN VI ini merupakan salah satu upaya untuk mengurangi efek gas rumah kaca (GRK) dan merupakan salah satu usaha diversifikasi bisnis industri hilir dari PKS. Mekanisme CDM, membuat pemanfaatan limbah yang tidak ekonomis menjadi usaha yang ekonomis yang berwawasan lingkungan.

Pemakaian gas metana sebagai bahan bakar pengganti fosil merupakan usaha diversifikasi energi yang mendukung program pemerintah untuk pengurangan bahan bakar minyak

Harga listrik yang menjadi asumsi pada studi ini pada kenyataannya dapat berubah bergantung dari negoisasi dengan pihak PT PLN (Pembangkit Listrik Negara). Harga CER saat ini cenderung menurun dan menunjukkan ketidakpastian terutama mendekati tahun 2012.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] [http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php), 2010.
- [2] [www.shimz.co.jp/english/](http://www.shimz.co.jp/english/), 2010.
- [3] Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup, No. 28 tahun 2003, tentang Pedoman Teknis Pengkajian Pemanfaatan Air Limbah dari Industri Minyak Kelapa Sawit pada Tanah di Perkebunan Kelapa Sawit.
- [4] <http://www.ptpn6.com/profile.php>, 2010.
- [5] *Approved small-scales methodologies*, <http://cdm.unfccc.int/methodologies/SSCmethodologies/approved.html>, 2010.
- [6] *Methane Recovery In Wastewater Treatment Project, Sumatera Utara*, Indonesia, UNFCCC Clean Development Mechanism Simplified Project Design Document for Small Scale Project Activity, Aes Agri Verde, Document ID: AIN07-W-01, ver.7, 27 October 2008.
- [7] *Hasil Pemeriksaan Limbah Cair*, Pemprov. Riau, Dinas Pekerjaan Umum, Pekanbaru, 3 Maret 2009.
- [8] [http://dna-cdm.menlh.go.id/Downloads/Others/KomnasMPBGrid\\_umatera\\_JAMALI\\_2008.pdf](http://dna-cdm.menlh.go.id/Downloads/Others/KomnasMPBGrid_umatera_JAMALI_2008.pdf), 2010.
- [9] *Status of Biomass Technologies Development & Utilization in Malaysia*, S.S.Chen, Asean Biomass Meeting, Tsukuba, Japan, Oct., 29, 2004.
- [10] *CO<sub>2</sub> Reduction Opportunities-Power Generation Perspectives*, Dr. Salim Sairan and Mohamad Irwan Aman, TNB Research Sdn. Bhd., No. 1, Jalan Ayer Itam, Kawasan Institusi Penyelidikan Bandar Baru Bangi, 43000 Kajang, Selangor, Malaysia.
- [11] *Asia Biomass Handbook*, Nihon Energi Gakkai Zaidan, 2007.
- [12] Peraturan Menteri ESDM Nomor 269-12/26/600.3/2008, tentang Biaya Pokok Penyediaan (BPP) Tenaga Listrik Tahun 2008.
- [13] Peraturan Menteri No:002 tentang Pembangkit Listrik Skala Menengah Berbahan bakar Energi Terbarukan.