

JRL	Vol.6	No.3	Hal. 275 - 290	Jakarta, November 2010	ISSN : 2085-3866
-----	-------	------	----------------	---------------------------	------------------

PENGURANGAN GAS RUMAH KACA DARI LIMBAH CAIR DI PABRIK KELAPA SAWIT PINANG TINGGI, JAMBI DENGAN CDM

Irhan Febijanto

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

Abstract

Waste water produced from Crude Palm Oil's process in Palm Oil Mill (POM) is usually treated using water treatment ponds that consist of anaerobic ponds and aerobic ponds. It is known well, methane gas is generated from degradation of organic matter in anaerobic ponds. The methane gas results global warming impacts. Regarding to tackle the global warming impact, the methane gas generated from POM can be captured and flared to convert methane gas to carbon dioxide. This study was conducted in one of the big capacity of Pinang Tinggi POM owned by PT Perkebunan Nusantara 3. Methane gas potential was investigated by using pH, COD (Chemical Oxygen Demand) and waste water measurement. And from these result the methane gas potential was predicted. In this study, using Clean Development Mechanism (CDM), capturing methane gas generated from anaerobic pond gave a result that the project can be an economically feasible based on the condition measured.

Keywords : oil palm industry, methane gas, gas rumah kaca, CDM project (Clean Development Mechanism), COD (Chemical Oxygen Demand)



1. Latar Belakang

Limbah cair di pabrik kelapa sawit umumnya diproses melalui pengolahan dengan menggunakan kolam-kolam. Air limbah dialirkan ke dalam kolam – kolam dengan tujuan mendegradasi komponen organik di air limbah. Umumnya pond terdiri

dari *cooling pond*, anaerobik pond, aerobik pond dan *facultative pond*.

Pada kolam anaerobik, degradasi komponen organik pada air limbah diikuti dengan produksi gas metana. Timbulnya gas metana ini terjadi karena kondisi lingkungan pada kolam mendukung bakteri penghasil gas metana bekerja secara optimum.

Pada studi ini, dilakukan kajian pemanfaatan gas metana yang timbul dari kolam anaerobik di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) milik PT Perkebunan Nusantara (PTPN) 6. Studi ini dilaksanakan untuk menjawab krisis energi dengan memanfaatkan limbah dan penanggulangan efek pemanasan global yang disebabkan oleh Gas Rumah Kaca (GRK) seperti gas metana.

1.1 PT Perkebunan Nusantara 6

PTP. Nusantara VI (Persero) 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 Akta 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.

1.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu Penelitian dilakukan antara bulan September 2009 dan Maret 2010. Lokasi pabrik PKS Pinang Tinggi di Kabupaten Muara Bungo, Propinsi Jambi. Di daerah sekitar PKS Pinang Tinggi terdapat dua PKS lainnya, yaitu PKS Bunut dan PKS Tanjung Lebar. PKS Pinang

Tinggi dipilih sebagai tujuan studi, karena di PKS Bunut, limbah cair akan digunakan sebagai bahan baku pemupukan, dan di PKS Tanjung Lebar, PKS Rimbo Dua dan PKS Ophir kapasitas olah di bawah 60 ton/jam.

Tabel 1 Kapasitas Pabrik Kelapa Sawit (Anonim, 2007)

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

1.3 Kondisi Kolam Limbah di PKS pada umumnya

Gambar 2 menunjukkan kondisi umum kolam limbah di PKS Pinang Tinggi . Nampak di gambar sebelah kanan adalah kondisi kolam pada pagi hari, dimana minyak kotor (miko) pada kolam anaerobik menggumpal, di sebelah kanan adalah kondisi limbah pada siang hari.

Kolam limbah ini mempunyai luas rata rata 50m² lebih dan kedalaman lebih dari 2 m. Pendangkalan kolam terjadi dengan cepat, karena padatan dialirkan ke kolam bersamaan dengan air limbah. Pembersihan lumpur/sekam



Gambar 2 Minyak yang mengental (seb. atas) dan kondisi kolam limbah pada umumnya (seb bawah)

tidak secara periodik dilakukan oleh PKS, hal ini mempercepat pendangkalan kolam. Pada saat dilakukan pembersihan karena kendala biaya, biasanya sekam hanya ditumpuk begitu saja di pinggir kolam.

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

Pada PKS Pinang Tinggi, air limbah dipakai dialirkan ke sungai.

1.4 Limbah Cair

Limbah cair dari pabrik kelapa sawit disebut juga POME, Palm Oil Mill Effluent. Limbah air ini berasal dari air kondensasi proses sterilisasi sekitar 15-20%, air proses klarifikasi & sentrifugasi sekitar 40-50%, dan air dari claybat/hydroclone sekitar 9-11% [Anonim, 2008].

Limbah cair yang dihasilkan dari pabrik pengolahan minyak kelapa sawit (PKS) dapat memberikan dampak negatif bagi lingkungan karena memiliki kandungan BOD (Biochemical Oxygen Demand) dan COD (Chemical Oxygen Demand) yang sangat tinggi. Tanpa proses degradasi limbah cair ini berpotensi mencemari lingkungan dan menimbulkan bau. Untuk itu sebelum dialirkan ke lingkungan sekitar, kadar BOD dan COD limbah cair tersebut harus diturunkan sesuai dengan baku mutu.

Air limbah digunakan untuk Land Application maka sesuai dengan aturan KEPMENLH/28/2003 [Anonim, 2003], tidak lebih dari 5.000 mg/ltr. Dengan nilai BOD ini, limbah cair dianggap masih mempunyai nutrisi yang cukup sebagai pupuk cair. Air limbah yang dibuang ke sungai, sesuai KEPMENLH/28/2003, nilai BOD harus dibawah 150 mg/ltr [Anonim, 2003].

Penurunan suhu air limbah dilakukan dengan menggunakan cooling pond/cooling tower, setelah itu air limbah dialirkan ke kolam anaerobik.

Sirkulasi air dari kolam aerobik ke

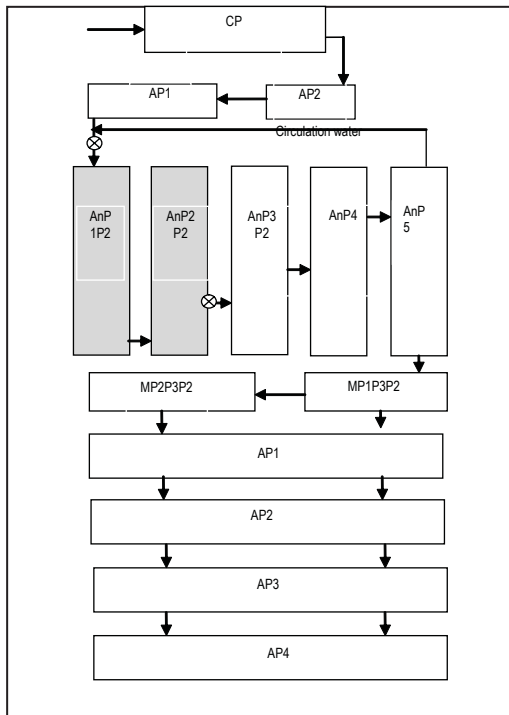
kolam anaerobik dilakukan dengan tujuan menstabilkan suhu dan pH, agar kondisinya sesuai untuk bakteri pembentuk gas metana (*bacteria methanogenesis*), dilakukan sirkulasi dari kolam anaerobik ke 5 ke kolam anaerobik ke 1. Air disirkulasikan hanya pada saat pabrik beroperasi terutama pada siang hari dengan 1 unit pompa berkapasitas 70 m³/jam.



Gambar 3 (atas) saluran seb. atas adalah limbah cair dari separator dan seb. bawah dari proses perebusan, (bawah) deoiling tank

Pada PKS Pinang Tinggi, air limbah dari high speed separator dan air limbah dari proses pemasakan bersatu pada Fat Pit. Kedua cairan limbah ini kemudian disatukan ke dalam deoiling tank. Pada deoiling tank, minyak diambil lagi untuk dimasukkan ke dalam proses. Kondisi ini ditunjukkan pada gambar 3. Sisa air limbah dibuang ke saluran menuju kolam pendingin (cooling

pond) Sebelum masuk ke kolam pendingin, air limbah ini bercampur dengan air limbah pembersih lantai.



Keterangan CL: Cooling Pond, **AP:** Acidification Pond; **MP:** maturity Pond; **AnP:** Anaerob Pond, **AP:** Aerob Pond

Gambar 4 Lay out kolam limbah PKS Pinang Tinggi

Gambar 4 menunjukkan sistem aliran air di PKS Pinang Tinggi. Dari kolam pendingin air limbah masuk ke kolam pematangan (maturity pond), kemudian ke kolam aerob secara paralel. Ukuran kolam anerobik adalah sama, yaitu 67.5 x 40 m². Sirkulasi air dilakukan dengan memompa air limbah dari kolam anaerobik 5 ke kolam anaerobik 1. Pengambilan COD dilaksanakan di inlet kolam anaerobik 1 dan outlet kolam anaerobik 2.

1.5 Proses Pembentukan Biogas

Biogas adalah campuran gas yang dihasilkan dari proses degradasi zat-zat

organik yang terkandung di dalam air limbah hasil proses ekstraksi tandan kosong menjadi minyak kelapa sawit.

Proses degradasi yang terjadi dalam kondisi anaerobik ini, dapat dibagi menjadi beberapa fase, yaitu hidrolisis, asetonogenesis, dan metanogenesis. Pada tahap hidrolisis terjadi dekomposisi bahan biomassa kompleks menjadi glukosa sederhana memakai enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme sebagai katalis. Hasil penting tahap pertama ini adalah bahwa biomassa menjadi dapat larut ke dalam air dan mempunyai bentuk kimia lebih sederhana yang lebih sesuai untuk tahap berikutnya. Di langkah kedua terjadi dehidrogenasi (pengambilan atom hidrogen dari bahan biomassa) yaitu perubahan glukosa jadi asam asetat, karboksilasi (pengambilan grup karboksil) asam amino, memecah asam lemak rantai panjang jadi asam rantai pendek dan menghasilkan asam asetat sebagai produk akhir. Tahap ketiga adalah pembentukan biogas dari asam asetat lewat fermentasi oleh bakteri metanogenik. Salah satu bakteri metanogenik yang banyak didapat di lumpur adalah *Methanobacillus omelianskii*. Metabolisme anaerobik selulosa melibatkan reaksi kompleks dan prosesnya lebih sulit daripada reaksi anaerobik bahan-bahan organik lain seperti karbohidrat, protein dan lemak [Rahmawan, 2007].

Fase yang penting dalam pembentukan gas metana adalah fase metanogenesis, pada fase ini bakteri acetoclastic methanogenic mengkonversi senyawa alkohol, asetat, hidrogen (H₂) dan karbondioksida (CO₂) menjadi metana (CH₄) [Ali Akbar, 2006].

Pada umumnya biogas terdiri atas gas metana (CH₄) 50% sampai 70%, gas karbon dioksida (CO₂) 30% sampai 40%. Hidrogen (H₂) 5% sampai 10% dan gas-gas lainnya dalam jumlah yang sedikit [Abdullah, K., 1991], [Yadava, L.S. 1981].

Biogas memiliki berat kurang lebih 20% lebih ringan dibandingkan udara dan bersuhu pembakaran antara 650 sampai 750°C.

Biogas tidak berbau dan berwarna, dan apabila dibakar akan menghasilkan nyala api biru cerah seperti gas LPG. Nilai kalor gas metana adalah 20 MJ/m³ dengan efisiensi pembakaran 60% pada konvensional kompor biogas [Abdullah, K., 1991].

1.6 Bakteri Metanogenik

Bakteri Metanogenik atau metanogen adalah bakteri yang terdapat pada bahan organik dan menghasilkan metana dan gas gas lainnya dalam proses keseluruhan hidupnya pada keadaan anaerobik. Organisme hidup ini mempunyai kecenderungan untuk menyukai kondisi tertentu dan peka pada iklim mikro dalam pencernaan. Terdapat banyak spesies dari hemanogen dan variasi sifat-sifatnya. Variasi sifat-sifat biokimia ini menyebabkan produksi biogas juga bervariasi.[Teguh W., 2007]

Bakteri metanogenik dibandingkan dengan bakteri-bakteri pembentuk asam lainnya berkembang lambat dan sensitif terhadap perubahan mendadak pada kondisi kondisi fisik dan kimiawi. Sebagai contoh, penurunan 2°C secara mendadak pada slurry mungkin secara signifikan berpengaruh pada pertumbuhannya dan laju produksi gas [Gunnerson, C.G.,1986]. Pembentukan gas ini dapat terjadi diantara suhu 4-60°C, dan dalam suhu konstan. Pada suhu optimum bakteri akan menghasilkan enzim lebih banyak.

Bakteri penghasil metana/bakteri metanogenik ini juga sensitif terhadap perubahan pH. Perubahan Aktivitas metanogenik ini berubah menjadi aktif pada pH antara 7 - 8 [Sosnowski, 2003], sedangkan pH optimum untuk jenis bakteri ini adalah 6,4-7,4 [Renita, 2004].

Proses anaerobik pada pengolahan air limbah kelapa sawit untuk menghasilkan gas metana, terdiri dari dua tahap, yaitu tahap pembentukan asam dan tahap pembentukan metana. Dimana pengaturan pH sangat penting pada proses awal. pH pada kondisi awal 7, akan memberikan peningkatan laju produksi

biogas lebih baik dibandingkan dengan konsisi pH yang lain [Mahajoeno, 2008].

1.7 Pengambilan Sample Air Limbah dan Analisa COD

Pengambilan sample air limbah untuk analisa COD (*Chemical Oxygen Demand*) dilakukan di inlet kolam anaerobik 1 dan outlet kolam anaerobik 2. Analisa COD dilakukan untuk memprediksi jumlah gas metana yang dihasilkan dari hasil pemrosesan dekomposisi zat organik pada kolam anaerobik.

Korelasi linier dari penurunan COD dengan peningkatan gas metana yang dihasilkan di kolam anaerobik telah ditunjukkan dengan jelas oleh penelitian sebelumnya [Shahrakbah, Y., 2006], [D.P Cassidy, 2008]

Metoda standar penentuan kebutuhan oksigen kimiawi atau *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang digunakan saat ini adalah metoda yang menggunakan oksidator luas, Kalium bikromat, CaCr₂, asam sulfat pekat dan perak sulfat sebagai katalis.

Sedangkan metodologi pegukurannya terdiri dari seperti di bawah ini, [Anonim], yaitu :

- a) SNI 6989.2:2009 - refluks tertutup secara spektrofotometri
- b) SNI 6989.73:2009 - refluks tertutup secara titimetri
- c) SNI 06-6989.15-2004- refluks terbuka secara titimetri
- d) SNI 06-6989.2-2004 - refluks terbuka secara spektrofotometri

Pengukuran COD dari kolam limbah PKS Pinang Tinggi dilaksanakan di laboratorium Bapedalda yang menggunakan cara SNI 06-6989.2-2004 - refluks terbuka secara spektrofotometri

1.8 Pemanfaatan Sebagai Sumberdaya Energi

Pemanfaatan gas metana sebagai energi pada dasarnya belum banyak

diimplementasikan. Selain kendala investasi juga kendala teknologi menjadi kendala yang umum.

Gas metana yang berasal dari kolam dapat diinjeksikan kedalam biogas engine atau ke dalam boiler sebagai bahan bakar pengganti dari fiber maupun cangkang. Pemanfaatan gas metana dari kolam limbah di PKS belum banyak dilakukan di Indonesia, tetapi sudah banyak diimplementasikan di Malaysia, sebagai proyek CDM [Anonim, 2006].

1.9 Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca

Pemanfaatan gas metana di kolam limbah baik itu sebagai energi atau pun dibakar saja, dapat dimasukkan sebagai usaha untuk mengurangi efek GRK.

Pengurangan emisi terjadi ketika gas metana dibakar, dan diubah menjadi karbondioksida, CO₂. Gas CO₂ termasuk GRK, akan tetapi mempunyai daya rusak 1/21 lebih kecil dari CH₄. Sehingga konversi CH₄ ke CO₂ merupakan pengurangan dampak emisi [Anonim, 2003].

Teknologi penangkapan gas metana dari kolam limbah PKS, untuk dimanfaatkan sebagai energi maupun dibakar saja, secara teoritis bukan merupakan hal baru. Hanya karena membutuhkan biaya yang besar, teknologi tersebut tidak banyak diimplementasikan, karena membutuhkan biaya yang besar, dan dapat menjadi beban bagi perusahaan.

Dengan adanya mekanisme CDM yang memberikan insentif terhadap proyek-proyek yang mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK), aplikasi teknologi ini mulai dikembangkan.

1.10 Mekanisme Clean Development Mechanism (CDM)

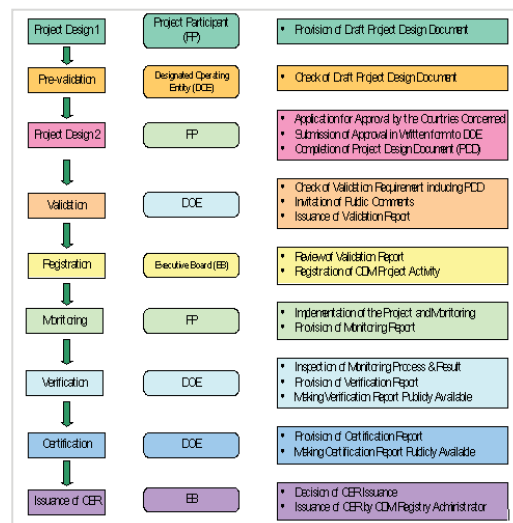
Mekanisme Clean Development Mechanism (CDM) adalah suatu mekanisme yang merupakan komitmen dunia internasional untuk mengurangi Green House Gas (GHG),

seperti gas CO₂, N₂O, CH₄, dsb. GHG ini merupakan penyebab dari pemanasan global.

Melalui mekanisme 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 :

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



Gambar 5 Proses administrasi CDM

Dari keuntungan-keuntungan yang ada, keuntungan mendapatkan 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 gambar 5.

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 CO₂ terjadi dengan pasti, dan klarifikasi metodologi perhitungan bisa dipertanggungjawabkan.

Pemanfaatan mekanisme CDM, dapat mengurangi resiko ketidaklayakan secara ekonomis suatu proyek yang memakai energi terbarukan. Pemasukan dari penjualan kredit karbon dapat menjadi pemasukan tambahan selain pemasukan dari penjualan listrik. Rata rata hasil dari penjualan kredit karbon ini dapat menambah nilai IRR sebanyak 1-2% dan dapat meningkatkan gross keuntungan sebesar 10-20%

2. Metodologi

2.1 Rasio Air Limbah

Rasio air limbah untuk tiap ton Tandan Buah Segar (TBS) yang diproses berkisar antara 0,55 – 0,65 m³/ton [Anonim, 2007]. Dari perbandingan PKS di Malaysia (5 PKS), di Indonesia (3 PKS) dan di Thailand (1 PKS), didapatkan rata-rata perbandingan antara volume limbah cair terhadap 1 ton TBS, yaitu 54,8% [Hayashi, 2007].

Berdasarkan pertimbangan konservatif, perbandingan air limbah per satu ton TBS pada studi ini diambil 54,8%.

2.2 Pengukuran Kualitas Air

Pengukuran kualitas air digunakan parameter COD. Dari selisih penurunan nilai

COD air limbah pada kolam anaerob dapat dilakukan perhitungan jumlah gas metana yang timbul di kolam anaerob tersebut.

Analisa COD air limbah dilakukan di laboratorium Bapedalda (Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah), Jambi. Pengambilan sampel air untuk pengukuran COD dilakukan 10 hari berturut-turut sesuai aturan dari UNFCCC untuk pengukuran gas metana pada kolam anaerobik.

Sample diambil di tiap inlet dan outlet kolam anaerobik. Sample dimasukkan ke dalam botol plastik (gambar 6). Untuk menjaga kondisi COD sampel, dengan asam sulfat pekat, pH sampel diturunkan sampai di bawah 2, kemudian dibawa dari lokasi ke laboratorium.



Gambar 6 Pengambilan Sample Air Limbah untuk Pengukuran COD.

2.3 Pengukuran pH

Pengukuran ini dilakukan pada inlet dan pada kolam anaerobik, bertujuan untuk mengetahui kesesuaian lingkungan air limbah dengan kondisi lingkungan optimal untuk bakteri metanogenesis.

Pengukuran dilakukan dengan alat pengukur pH digital bermerk TwinpH, seperti nampak dalam gambar di bawah.



Gambar 5 Alat pengukur pH digital

2.4 Potensi Produksi Gas Metana

Potensi produksi gas metana atau 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" [Anonim, 2010] :

2.4.1 Perhitungan Gas Metana

Perhitungan potensi gas metana ditentukan melalui metodologi UNFCCC. Nilai parameter untuk COD, didapat dari hasil rata-rata nilai COD dari pengukuran selama 10 hari berturut turut.

$$BE_{s,treatment,y} + BE_{ww,discharge,y} + BE_{s,final,y} = \{BE_{power,y} + BE_{ww,treatment,y} + BE_{s,treatment,y} + BE_{ww,discharge,y} + BE_{s,final,y}\} \dots (1)$$

dimana,

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

Pada proyek ini, listrik yang dipakai untuk menjalankan proses pengolahan limbah cair

menggunakan bahan bakar biomasa (serabut dan cangkang) yang diambil dari limbah pembuatan CPO di pabrik, sehingga energi listrik yang dihasilkan 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 an aerobik 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 an aerobik diolah dengan baik di kolam aerobik, maka $BE_{ww,discharge,y} = 0$. Dan karena lumpur digunakan sebagai pupuk/soil application maka $BE_{s,final,y} = 0$. Dengan kondisi proyek seperti itu, maka persamaan baseline dalam kegiatan proyek ini menjadi,

$$BE_y = BE_{ww,treatment,y} = \sum Q_{ww,i,y} \times COD_{removed,i,y} \times MCF_{ww,treatment,BL,i} \times Bo_{ww} \times UF_{BL} \times GWP_{CH_4} \dots (2)$$

dimana,

$Q_{ww,i,y}$:	Jumlah limbah air (t/m ³)
$COD_{removed,i,y}$:	Nilai COD yang terambil/terolah.
$MCF_{ww,treatment,BL,i}$:	Koreksi factor gas metana untuk baseline pengolahan limbah air, 0.8(7) (kolam an aerobik dalam)
Bo_{ww}	:	Kapasitas produksi gas metana pada limbah air, 0.21 kg (CH ₄ /kgCOD) (5)
UF_{BL}	:	Faktor koreksi model untuk perhitungan ketidakpastidak mode, 0.94(5)
GWP_{CH_4}	:	Potensi emisi gas metntana pada sistem pengolahan limbah air yang dilengkapi sistem penangkap gas bio, 21(5)

2.4.2 Emisi Proyek

Emisi proyek yang dihasilkan dari kegiatan proyek ini dihitung berdasarkan metodologi pada AMS-III.H(5), dengan persamaan sebagai berikut :

$$PE_y = PE_{power,y} + PE_{ww,treatment,y} + PE_{s,treatment,y} + PE_{ww,discharge,y} + PE_{s,final,y} + PE_{fugitive,y} + PE_{biomass,y} + PE_{flaring,y} \dots\dots\dots(3)$$

dimana,

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

$PE_{power,y}$ terdiri dari emisi proyek yang berasal dari kebutuhan listrik dan konsumsi bahan bakar fosil, seperti ditunjukkan dalam AMS.III.H versi 13. Untuk emisi GRK dari konsumsi listrik ditentukan dalam AMS.I.D versi 15, dan emisi GRK dari konsumsi bahan bakar fosil ditentukan dengan emisi factor dari bahan bakar fosil.

Pada proyek ini akan dikonsumsi listrik dan konsumsi bahan bakar fosil. Emisi GRK dari kedua konsumsi tersebut dihitung seperti di bawah ini.

$$PE_{power,y} = PE_{electricity,PJ,y} + PE_{fossilfuel,PJ,y} \dots\dots\dots(4)$$

dimana:

$PE_{electricity,PJ,y}$	Emisi CO ₂ dari konsumsi listrik dari aktivitas proyek pada tahun y (tCO ₂ e/thn)
$PE_{fossilfuel,PJ,y}$	Emisi CO ₂ dari konsumsi bahan bakar dari aktivitas proyek tahun y (tCO ₂ e/thn)

$$PE_{electricity,PJ,y} = EC_{PJ,y} * EF_{electricity,CO2} \dots\dots\dots(5)$$

dimana:

$EC_{PJ,y}$	Jumlah konsumsi listrik pada aktivitas proyek tahun y (kWh/thn)
$EF_{electricity,CO2}$	Emisi factor CO ₂ pada proyek (tCO ₂ e/kWh)

Pada proyek ini tidak terkoneksi dengan jaringan listrik PLN dan listrik yang dihasilkan berasal dari pembangkit bahan bakar biomasa dan mesin diesel. Saat pembangkit biomasa tidak beroperasi. Kedua jenis pembangkit tersebut milik PKS.

Emisi Faktor CO₂ berdasarkan AMS. III.H versi 13 dan AMS.I.D versi adalah

sebagai berikut :

$$EF_{\text{electricity,CO2}} = \dots(6)$$

$$\frac{EG_{\text{biomass},y} \cdot EF_{\text{electricity,CO2,biomass}} + EG_{\text{fossil},y} \cdot EF_{\text{electricity,CO2,fossil}}}{EG_{\text{biomass},y} + EG_{\text{fossil},y}} \times \frac{1}{1.000}$$

Dimana:

Pada proyek ini EFCO₂ sangat kecil karena listrik yang dikonsumsi sebagian besar dibangkitkan oleh pembangkit bahan bakar biomasa. Karena jumlah emisi CO₂ pada konsumsi listrik di proyek ini sangat kecil dibanding total emisi CO₂ yang dikeluarkan oleh proyek, maka dapat diabaikan (PE^{power,y}=0).

PE^{fossilfuel,PJ,y} adalah emisi GRK yang berasal dari pembakaran EL_{PIJI} untuk mendukung pembakaran gas pada system flaring. Perhitungannya ditunjukkan pada persamaan di bawah ini.

$$PE_{\text{fossilfuel,PJ,y}} = FCLPG,y \times HVLPG.(7)$$

dimana

PE ^{fossilfuel,PJ,y}	Emisi CO ₂ emission dari konsumsi bahan bakar fosil pada tahun y (tCO ₂ e/thn)
FC _{LPG,y}	Konsumsi ELPIJI pada tahun y (tLPG/thn)
EFLPG _{,combust}	Emisi factor CO ₂ dari pembakaran gas ELPIJI (kgCO ₂ /TJ)
HV _{LPG}	Nilai kalor gas ELPIJI

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

Lumpur/sludge dari kolam an aerobik 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

EF ^{electricity,CO2}	Emisi Faktor CO ₂ di lokasi proyek (tCO ₂ e/kWh)
EG ^{biomass,y}	Jumlah listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit biomasa pada tahun y (kWh/thn)
EF ^{electricity,CO2,biomass}	Emisi Faktor CO ₂ dari pembangkit biomasa pada tahun y (kgCO ₂ e/kWh). Menurut AMS III. H ver 13 nilainya adalah 0.
EG ^{fossil,y}	Jumlah listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit bahan bakar fosil pada tahun y (kWh/thn)
EF ^{electricity,CO2,fossil}	Emisi Faktor CO ₂ dari pembangkit biomasa pada tahun y (kgCO ₂ e/kWh). Berdasarkan AMS I.D ver 15, nilainya adalah 0,8 jika kapasitas > 200 kW.

tidak ada, dan tidak ada nilai PE^{s,treatment,y}. Karena tidak ada biomasa yang disimpan dibawah kondisi an-aerobik, maka tidak ada nilai PE^{biomass,y}.

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

$$PE_y = PE_{\text{ww,treatment,y}} + PE_{\text{fugitive,y}} + PE_{\text{flaring,y}} \dots\dots(8)$$

$$PE_{\text{fugitive,y}} = PE_{\text{fugitive,ww,y}} + PE_{\text{fugitive,s,y}} \dots\dots\dots(9)$$

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

$$PE_{fugitive,y} = PE_{fugitive,ww,y} \dots (10)$$

$$PE_{fugitive,ww,y} = (1 - CFE_{ww}) \times MEP_{ww,treatment,y} \times GW_{PCH_4} \dots (11)$$

dimana,

CF_{Eww}	:	Efisiensi pengkapan dari fasilitas penangkapan gas pada sitem pengolahan limbah, 0.9(5)
GW_{PCH_4}	:	Potensi emisi gas metntana pada sistem pengolahan limbah air yang dilengkapi sistem penangkap gas bio, 21(5)

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

$$MEP_{ww,treatment,y} = Q_{ww,y} \times Bo_{ww} \times UFPJ \times \sum_{k} COD_{removed,PJ,k,y} \times MCF_{ww,treatment,PJ,k} \dots (12)$$

dimana,

$Q_{ww,y}$:	Jumlah limbah air (t/m3)
Bo_{ww}	:	Kapasitas produksi gas metana pada limbah air, 0.21 kg (CH4/kgCOD) (5)
UFPJ	:	Faktor koreksi model untuk perhitungan ketidakpastidak model, 1.06(5)
$CO_{Dremoved,PJ,k,y}$		Jumlah COD yang terambil/terolah.
$MC_{Fww,treatment,PJ,k}$		0.8 (kolam anaerobic dalam) (5)

$$PE_{flaring,y} = \Sigma TMRG,h \times (1-0.9) \times GW_{PCH_4}/1000 \dots (13)$$

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 an aerobik setelah dikurangi jumlah gas metana yang terlepas pada dari sistem penangkapan gas,

$$\Sigma TMRG,h \times GW_{PCH_4}/1000 - (MEP_{ww,treatment,y} \times GW_{PCH_4}) - PE_{fugitive,ww,y} \dots (14)$$

$\Sigma TMRG,h$: Jumlah massa gas metana pada aliran gas bio buang (kg/h)

Sehingga persamaan (13) dapat dirubah menjadi persamaan di bawah ini,

$$PE_{flaring,y} = (MEP_{ww,treatment,y} \times GW_{PCH_4}) - PE_{fugitive,ww,y} \dots (15)$$

2.4.3 Kebocoran/Leakage

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

2.4.4 Pengurangan Emisi (Emission Reduction)

Pengurangan emisi dari skenario proyek ini adalah sebagai berikut

$$ER_{y,exante} = BE_{y,exante} + BE_{y,electricity} - (PE_{y,exante} + LE_{y,exante}) \dots (16)$$

persamaan (16) dapat dirubah menjadi,

$$ER_{y,ex ante} = BE_{ww,treatment,y} + BE_{y,electricity} - (PE_{ww,treatment,y} + PE_{fugitive,y} + PE_{flaring,y}) \dots (17)$$

2.5 Keekonomian Proyek

Diasumikan untuk proyek CDM diskenariokan bekerjasama dengan pihak pembeli, dimana biaya pengurusan administrasi ditanggung oleh pihak pembeli. Pemilik dari

lahan dan limbah cair, PKS Pinang Tinggi tidak mengeluarkan biaya untuk investasi, berkewajiban hanya menyediakan limbah dan lahan untuk proyek ini saja.

Tabel 2 Parameter Keekonomian

INVESTASI	BIAYA
<i>flaring system</i> + methane gas capture+ CDM procedure	936.000 USD
O&M	BIAYA
<i>Flaring system</i>	59.000 USD
Verifikasi (proyek CDM)	30.000 USD

Harga CER (Credit Emission Reduction) diasumsikan 15 EURO/t-CO₂ [Cristian R, 2009] atau 20,64 USD/t-CO₂. Nilai investasi untuk *flaring gas system* berikut *covering sheet* untuk dua kolam anaerobic seluas masing masing 67.5 x 40 m², dan biaya operasional meliputi *maintenance alat*, gaji pegawai dan biaya verifikasi tiap tahun diasumsikan di tabel 2.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengukuran Air Limbah

Pada PKS Pinang Tinggi, total jumlah TBS olah pada tahun 2008 adalah 201.958 ton, dengan rasio air limbah per ton TBS adalah 54,8% [Hayashi, 2007], maka jumlah air limbah pada tahun itu adalah 109.057 ton. Air sirkulasi dihitung dari kapasitas pompa dalam setahun adalah 247.100 ton. Sehingga total debit air limbah yang masuk ke dalam kolam anaerobik 1 dan 2 adalah 356.157 ton.

3.2 Hasil Pengukuran COD

Hasil pengukuran COD selama 10 hari berturut-turut, dengan lokasi pengukuran pada inlet dan outlet kolam anaerobik ditunjukkan pada tabel 3. Air limbah pada PKS Pinang Tinggi ini dialirkan ke kolam

anaerobik secara paralel. Hasil pengukuran ditunjukkan di tabel 3.

Nilai rata-rata data COD selama 10 hari, di inlet dan outlet adalah 26.575 mg/ltr dan 922 mg/ltr.

Nilai COD di saluran input kolam anaerobik, nilainya relatif rendah dibandingkan dengan beberapa referensi yang ada. Pengukuran COD untuk proyek CDM di PKS Perlabian, Sumatera Utara menunjukkan angka 0.076950 ton/m³ [Anonim, 2009], dan 0,055410 ton/m³ dan 0,07256 ton/m³ pada proyek CDM yang lain di PKS Ulu Kanchong, Malaysia [Anonim, 2009], dan Sabah [Anonim, 2006].

Tabel 3 COD Air Limbah di Inlet dan Outlet Kolam Anaerobik

Hari	Inlet	Outlet
1	27.924	990
2	27.924	1.084
3	25.003	1.008
4	25.624	1.067
5	23.698	958
6	26.370	960
7	28.110	781
8	28.173	821
9	26.681	754
10	26.246	796

Dari suatu penelitian terkait nilai COD dari 30 PKS di Indonesia dan 40 PKS di Malaysia, ditunjukkan bahwa rata rata COD di Indonesia berkisar dari 15.300-65.100 mg/l, dengan rata rata 34.720 mg/l, sebagai perbandingan di Malaysia berkisar antara 15.500-106.360 mg/l, dengan rata-rata 53.630 mg/l. Target pengukuran COD ini hanya dikhususkan pada PKS yang menggunakan *Centrigue Waste*, dimana kondisi ini sama dengan kondisi PKS Pinang Tinggi yang tidak memiliki sistem pemisahan antara limbah padat dan cair. [Anonim, 2008]. Dari data tersebut di atas, nilai COD di PKS

Indonesia, rata-rata lebih rendah 35,2% dibandingkan Malaysia

Nilai COD pada outlet di PKS Pinang Tinggi ini masih relatif tinggi dibandingkan dengan standard baku mutu yang ada, tetapi dari pengukuran ulang dengan pengubahan titik pengambilan sample lebih ke arah hilir, didapatkan nilai COD 220 mg/ltr.

Rendahnya nilai COD ini dapat dijelaskan dengan kondisi PKS Pinang Tinggi sendiri, dimana sistem pembuangan air limbah dari Fat Pit mengalami pengenceran dengan air limbah hasil pencucian minyak yang bocor pada saat proses pengolahan CPO.

Gambar 6 menunjukkan air limbah dari proses pembuangan dan pipa dari Fat Pit yang mengalirkan air limbah dari deoiling tank. Secara kasat mata volume air limbah dari pencucian lebih banyak dari air limbah Fat Pit.



Gambar 6 Titik pertemuan air limbah dari Fat Pit dan parit buangan air limbah dari proses pencucian

Kebocoran ini terjadi hampir di setiap proses pengolahan mulai dari perebusan biji kelapa sawit sampai proses pemisahan minyak kelapa sawit. Ini diperkuat dengan pengamatan harian yang dilakukan dimana proses pencucian lantai akibat kebocoran minyak dilakukan sepanjang pengoperasian pabrik di hampir tahapan proses.

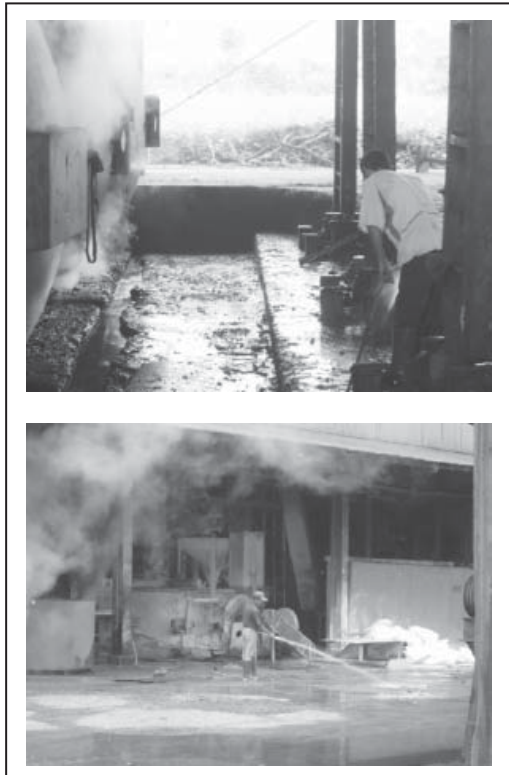
Gambar 7 menunjukkan pencucian lantai di dalam pabrik dan gambar 8

menunjukkan pembersihan minyak akibat kebocoran di luar pabrik. Pembersihan yang dilakukan di gambar 7 dan 8, terjadi dalam waktu yang hampir bersamaan. Jumlah kuantitatif air pembersih tidak diukur pada studi ini, tetapi melihat proses pencucian ini terjadi di sepanjang pabrik beroperasi, diperkirakan jumlahnya cukup banyak.



Gambar 7 Pencucian kebocoran minyak di lantai pabrik

Kebocoran minyak pada proses kemungkinan besar tidak banyak terjadi di PKS-PKS Malaysia, sehingga proses pencucian tidak banyak, sehingga nilai COD air limbah di Fat Pit tidak mengalami pengenceran.



Gambar 8 Pencucian kebocoran minyak di area luar pabrik

Reduksi COD (selisih nilai COD di inlet dan outlet) selama 10 hari berturut-turut adalah 96.5%. Reduksi ini masih relatif tinggi, jika dibandingkan dengan hasil pengukuran Hayashi di kolam anaerobik yang menunjukkan angka reduksi COD sebesar 97.8% [Hayashi, 2007]. Tingginya reduksi COD ini menunjukkan proses degradasi bahan organik terjadi pada kolam anaerobik.

3.4 Nilai pH

Nilai pH menunjukkan kondisi bakteri yang memproses.

Nilai pH pada inlet kolam anaerobik adalah 4,5 dan nilai pH pada kolam anaerobik sendiri menunjukkan nilai 7,3. Yang dapat diartikan bakteri metanogenik pada kolam anaerobik bekerja optimum. Dari hasil penelitian, bakteri metanogenik akan menghasilkan gas metana

secara aktif pada pH antara 7 dan 8 [I.A. Zakaria, 2008], [Sosnowski, 2003] [Mahajoeno, 2008], sedangkan pH optimum berkisar pada 6,4-7,4 [Renita, 2004].

3.3 Pemanfaatan Gas Metana

Dari hasil data 3.1 dan 3.2, potensi sumber gas metana dihitung dengan menggunakan persamaan di 2.4. Jumlah gas metana yang dihasilkan dari dua kolam anaerobik tiap tahun adalah 1.310 t-CH₄/tahun atau 27.502 t-CO₂/tahun.

3.4 Pengurangan Emisi GRK

Jika proyek ini dimasukkan ke dalam proyek CDM, dengan skenario flaring, atau pembakaran gas metana saja. Maka proyek ini mempunyai arti sebagai proyek yang berkontribusi terhadap pengurangan GRK, dengan cara penangkapan dan pembakaran gas metana. Aktifitas dari proyek ini kemudian jika disertifikatkan kepada badan PBB yang mengurus pengurangan GRK, sebagai sebuah proyek CDM. Maka proyek ini akan mendapatkan pendapatan dari hasil penjualan sertifikat tersebut.

Ketika proyek belum dilaksanakan kolam anaerobik 1 dan 2 mengeluarkan emisi, BE_y = BE_{ww,treatment,y}, sebesar 27.502 t-CO₂/tahun.

Dan ketika proyek ini berjalan proyek akan menghasilkan emisi yang merupakan penjumlahan dari,

$$PE_y = PE_{ww,treatment,y} + PE_{fugitive,y} + PE_{flaring,y}$$

atau 26.2+3.484,5+3.136,1=6.646,8 t-CO₂/tahun.

Dengan begitu proyek ini dapat mereduksi emisi CO₂ sebesar 20.855 t-CO₂/thn (=27.501,6 – 6.646,8).

3.5 Proyek CDM

Sebagai proyek CDM, emisi GRK yang didapat dapat disertifikatkan, dan jika sertifikasi proyek dapat disetujui oleh UNFCCC. Proyek baru bisa mendapatkan

pendapatan dari CER setelah dilakukan verifikasi oleh pihak ke tiga 6 bulan atau 12 bulan proyek berjalan.

3.6 Analisa Keekonomian

Pendapatan dari proyek ini, hanya berasal dari penjualan CER (Credit Emission reduction), tanpa adanya pendapatan dari CER maka proyek ini tidak layak secara keekonomian, karena tidak adanya pendapatan.

Penjualan CER bergantung kepada besarnya emisi GRK yang dikurangi selama proyek berjalan dalam setahun, selama 10 tahun. Proyek ini dapat mengurangi emisi GRK sebanyak 275.016 t-CO₂/tahun.

Dengan asumsi harga CER adalah 15 EURO, maka pendapatan yang didapat dari CER per tahun adalah USD 430.443. Dengan memperhitungkan nilai investasi dan biaya operasional seperti ditunjukkan di tabel 4, maka nilai IRR dari proyek ini adalah 25,62%. Bunga pinjaman rata rata bank menurut Bank Indonesia pada awal tahun 2010 adalah sekitar 20% [Jakarta Post, 2010] maka proyek ini dapat dinilai sangat layak.

4. Kesimpulan

Dari hasil survei ditemukan, bahwa potensi gas jumlah gas metana pada kolam limbah berkaitan erat dengan reduksi COD (Chemical Oxygen Demand) dan massa air limbah yang masuk ke dalam kolam anaerobik.

Nilai COD pada PKS Pinang Tinggi relatif rendah dibandingkan dengan nilai COD dari PKS di Malaysia. Rendahnya nilai COD ini dikarenakan adanya pencampuran air buangan yang berasal dari proses pencucian ke dalam saluran pembuangan air limbah yang mengakibatkan pencairan air limbah.

Sebagai proyek CDM, proyek pemanfaatan gas metana dari dua

kolam anaerobik di PKS Pinang Tinggi merupakan proyek yang layak secara keekonomian.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada rekan-rekan di Pabrik PKS Pinang Tinggi, PTPN 6, yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan analisa dan observasi serta pengumpulan data di lapangan.

Daftar Pustaka

1. Anonim, 2003. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup, No. 28 tahun, tentang *Pedoman Teknis Pengkajian Pemanfaatan Air Limbah dari Industri Minyak Kelapa Sawit pada Tanah di Perkebunan Kelapa Sawit*.
2. Anonim, 2006 <http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>
3. Anonim, 2010. "Approved small-scales methodologies", <http://cdm.unfccc.int/methodologies/SSCmethodologies/approved.html>,
4. Anonim, 2007. *Project Design Document of Solids Separation of POME and co-composting project*, Sabah
5. Anonim, 2007. *Project Design Document of Methane Recovery in Wastewater Treatment*, Project AIN07-W-05, Sumatera Utara, Indonesia, Ver. 1, 14 November
6. Anonim, 2009. *Project Design Document of Methane Recovery in Wastewater Treatment*, Biogas Recovery at Ulu Kanchong Palm Oil Mill, 15 January
7. Anonim, <http://www.palmoilmill-community.com/limbah/25-effluent/56-pen...>
8. Anonim, http://websisni.bsn.go.id/index.php/?sni_main/sni/cari_simple
9. Anonim, http://websisni.bsn.go.id/index.php/?sni_main/sni/cari_simple
10. Abdullah, K., Abul Kohar Irwanto, Nirwan Siregar, Endah Agustina, Armansyah H. Tambunan, M. Yasin, Edy Hartulistyo,

- Y. Aris Purwanto, 1991. *Energi dan Listrik Pertanian*, JICA-DGHE/IPB Project/ADAET, JTA-9a (132).
11. Ali Akbar Z.L, *Biological Treatment of Palm Oil Mill Effluent (POME) using an Up-Flow Anaerobic Sludge Fixed Film (UASFF) Bioreactor*, thesis for degree of Doctor of Philosophy,
 12. Cristian Retamal, 2009. *Understanding CER price volatility, Carbon Management Consulting Group, Latin Carbon Forum, Panama, June 25*
 13. D.P Cassidy, P.J. Hirl and E. Belia, 2008 *Methane production from ethanol anaerobics SBRs*, Water Science & Technology-WST, 58-4,, pp. 789-793.
 14. Gunnerson, C.G. and Stuckey, D.C. 1986, *Anaerobic Digestion: "Principles and Practices for Biogas System*. The World Bank Washington, D.C., U.S.A.
 15. Hokkaido Electric Power Co., "*Utilization of Biomass as Palm Oil Manufacturing Factories in Sabah, Malaysia*", Fiscal 2005 CDM/JI Project study, Provisional Report Summary
 16. Jakarta Post, <http://www.thejakartapost.com/news/2010/03/05/central-bank-keeps-key-rate-low-push-bank-lending.html>, 19 Maret 2010
 17. I.A.Zakaria, H.A. Tajaradin, I.Abustan dan N. Ismail, *Relationship between Methane Production and Chimica, Oxygen Demand (COD) in Anaerobic Digestion of Food Waste*, International Conference on Construction and Building Technology (ICCBT)-D-(03), pp.28-36
 18. K., Hayashi, *Environmental Impact of Palm Oil Industry in Indonesia*, Proceeding of International Symposium on eco Topia Science 2007, ISETS07 (2007)
 19. Mahajoeno, Edwi, Lay, Bibiana Widiati, Sutjahjo, Suryo Hadi, dan Siswanto. 2008. *Potensi Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit untuk Produksi Biogas*. Jurnal Bioversitas Volume 9 No. 1.
 20. Renita Manurung, 2004. *Proses Anaerobik sebagai Alternatif untuk Mengolah Limbah Sawit*, e-USU Repository, Univeristas Sumatera Utara,
 21. Rachmawan Budiarto, 2007. *Potensi Energi Limbah Pabrik Kelapa Sawit*, BSS_325_1_1-6.
 22. Sosnowski, P., Wieczorek A., & Ledakowicz, S. "*Anaerobic co-digestion os sewage Sludge and Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*, Adv, Environ Res, 2003. 7(3), pp. 609-616.
 23. Teguh Wikan W, Ana N., dan Elita R., 2007. *Pemanfaatan Limbah Industri Pertanian Untuk Energi Biogas*".
 24. Yadava, L.S. and P.R. Hesse, 1981. *The Development and Use of Biogas Technology in Rural Area of Asia* (A Status Repoert 1981). Improving Soil Fertility through Organic Recycling, FAO/ UNDP Regional Project RAS/75/004, Project Field Document No. 10.