SEMINAR TAHUNAN MAKSI
PENINGKATAN DAYA SAING KELAPA SAWIT INDONESIA
MELALUI RISET
BOGOR,29 JANUARI 2009

EMISI GAS RUMAH KACA AKIBAT DEKOMPOSISI ANAEROBIK LIMBAH CAIR INDUSTRI MINYAK KELAPA SAWIT DAN ALTERNATIF PENANGGULANGANNYA

Oleh:
Suprihatin
Departemen Teknologi Industri Pertanian
Fakultas Teknologi Pertanian IPB

Diselenggarakan oleh :

MAKSI

SEAFAST CENTER
Southeast Asian Food Science & Technology Center

Disponsori oleh :

smart agribusiness and food

Media Partner :

InfoSAWIT

EMISI GAS RUMAH KACA AKIBAT DEKOMPOSISI ANAEROBIK LIMBAH CAIR INDUSTRI MINYAK KELAPA SAWIT DAN ALTERNATIF PENANGGULANGANNYA

(Greenhouse Gas Emission Caused by Anaerobic Decomposition of Palm Oil Mill Effluent and an Alternative for Its Avoiding)

Suprihatin

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB
Kampus IPB Darmaga Bogor, Telp./Fax: 0251-86 21 974 / 86 27 830

Abstract

When palm fruit bunches are harvested and processed into palm oil, a large amount of organic wastewater becomes available. Until now, most of this organics-rich waste-stream was not recovered and left to decompose anaerobically in ponds, where it emits methane, a potent greenhouse gas. By anaerobically digesting the palm oil mill effluent (POME) in a suitable bioreactor, biogas can be captured and used for combustion in gas engines or boilers. This way, methane emission from the anaerobic POME decomposition can be avoided and fossil fuels can be replaced partly with the renewable biogas from the POME decomposition process. It is estimated that for each ton fresh fruit bunches (FFB) processed app. 10.5 m^3 methane will be emitted. By capturing the gas and transforming it into renewable biogas an energy value of 168-210 MJ with a money value of app. Rp 40.385,- can be obtained. Through clean development mechanism (CDM) project it is also possible to gain an additional financial incentive of app. Rp 11,000,-/t FFB. Based on the figures an oil palm mill with production rate of 60 ton FFB/h, for illustration, hat a possibility to earn yearly financial benefit of Rp 300 Mio, consists of Rp 240 Mio. by utilizing the biogas from POME as energy source and Rp 66 Mio. from emission reduction through CDM project. Furthermore, the capturing and utilizing biogas as energy can be used as an alternative for sustaining good environmental management of palm oil industry.

Keywords: palm oil mill, palm oil mill effluent, renewable energy, biogas, CDM

1. PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan salah satu tanaman perkebunan yang mempunyai peranan penting dalam subsektor perkebunan di Indonesia. Kelapa sawit diproses untuk memproduksi minyak kelapa sawit kasar (*crude palm oil*/CPO) yang dapat proses lebih lanjut menjadi minyak goreng dan berbagai macam produk hilir lainnya yang memiliki nilai tambah lebih tinggi.

Dalam proses produksi minyak kelapa sawit, hanya sekitar 21-23 persen dari bahan baku (tandan buah segar/TBS) yang diproses menjadi produk (minyak), sisanya berupa hasil samping atau limbah berbentuk cair, padat dan gas/uap. Limbah padat terdiri atas tandan buah kosong (16-23%), serat perasan buah (11-26%), bungkil inti sawit (4%), cangkang (4-6%), dan limbah padat lain (16,5%) (Utomo, 2001; Morad, Choo dan Hoo, 2008).

Industri minyak kelapa sawit tergolong industri yang menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar, yaitu mencapai sekitar 0,75 – 0,9 m^3/t TBS. Limbah cair ini tercemar berat oleh bahan organik seperti minyak/lemak, karbohidrat, serat dan padatan tersuspensi. Limbah cair ini juga mengandung unsur hara terlarut dalam konsentrasi cukup tinggi (Tabel 1).

Tabel 1. Karakteristik limbah cair industri minyak kelapa sawit

No.	Parameter	Nilai, dalam mg/L kecuali pH	
		GTZ (1997)	Morad, Choo dan Hoo (2008)
1	pH	-	4,7
2	Minyak dan Lemak	8.000	4.000
3	BOD	30.000	25.000
4	COD	90.000	50.000
5	Padatan Total (TS)	-	40.500
6	Padatan Tersuspensi (TSS)	34.000	18.000
7	Total Nitrogen (N)	200-1.000	750
8	Fosfor (P)	100-300	-
9	Kalium (K)	2.000	-
10	Magnesium (Mg)	500	-

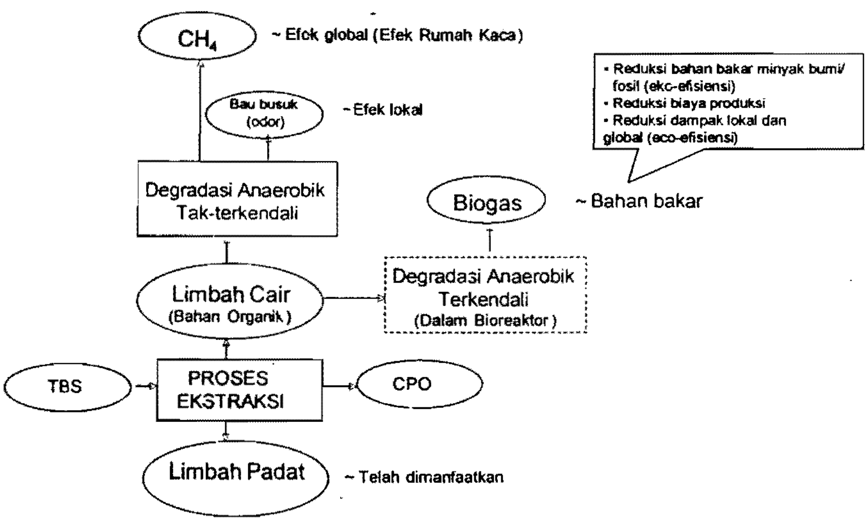
Limbah cair industri minyak kelapa sawit selama ini umumnya ditangani dengan cara relatif sederhana yaitu dengan mengalirkan dan membiarkan terdekomposisi di dalam sistem kolam (*ponding system*). Di dalam sistem ini, bahan organik sebagian besar terdegrasi secara anaerobik dan menyebabkan bau busuk serta menimbulkan emisi metana. Emisi metana berkontribusi terhadap pemanasan global karena merupakan gas rumah kaca (GRK) dengan kekuatan 20-30 kali lebih kuat dibandingkan dengan gas karbon dioksida (Porteous, 1992). Di sisi lain, metana (biogas) hasil dari proses dekomposisi anaerobik bahan organik tersebut memiliki kandungan energi tinggi dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan.

Paper ini menyajikan estimasi potensi emisi gas rumah kaca akibat dekomposisi enaerobik limbah cair industri minyak sawit pada berbagai skenario dan alternatif pencegahannya. Alternatif yang disajikan dianalisis secara teoritis dan kuantitatif dari aspek lingkungan terkait reduksi emisi gas rumah kaca dan aspek finansial dari perolehan energi dan insentif finansial akibat reduksi emisi melalui proyek CDM (*Clean Development Mechanism*). Penerapan pendekatan ini diharapkan dapat berkontribusi pada praktek produksi minyak kelapa sawit yang berwawasan lingkungan dan berkesinambungan (*sustainable*).

2. METODOLOGI

Kerangka pemikiran penelitian ini didasarkan pada skema pada Gambar 1, dimana proses produksi minyak kelapa sawit disajikan secara sederhana. Bahan baku industri ini berupa tandan buah seger dengan produk berupa minyak kelapa sawit kasar. Limbah dari proses ini berbentuk gas, padat dan cair. Limbah padat telah banyak dimanfaatkan, sedangkan limbah cair selama ini hanya dialirkan ke dalam sistem kolam. Di dalam sistem ini, sebagian bahan organik mengalami proses degradasi secara anaerobik dan membentuk metana yang dapat berdampak negatif terhadap lingkungan baik lokal maupun global.

Emisi metana dapat direduksi jika limbah cair diolah dengan menggunakan bioreaktor anaerobik yang dirancang secara khusus sehingga memungkinkan untuk menampung dan memanfaatkan produksi biogas sebagai bahan bakar. Pendekatan ini memungkinkan diperolehnya berbagai manfaat. Manfaat-manfaat tersebut akan dianalisis secara teoritis dan kuantitatif untuk memberikan gambaran potensi emisi metana dan potensi manfaat yang dapat diperoleh. Analisis dilakukan dengan menggunakan data/informasi tentang kuantitas dan kualitas limbah cair industri minyak kelapa sawit dari GTZ (1997) dan Morad, Choo dan Hoo (2008). Estimasi potensi produksi biogas dari proses degradasi limbah cair dilakukan dengan pendekatan neraca masa.



Gambar 1. Skema dampak negatif limbah cair industri minyak kelapa sawit dan alternatif solusinya melalui pengolahan limbah cair dengan bioreaktor anaerobik

Proses produksi biogas dideskripsikan dengan model dekomposisi bahan organik pada kondisi anaerobik, dimana bahan organik dikonversi oleh mikroorganisme menjadi metana, karbon dioksida, dan komponen lainnya. Jumlah produksi biogas diestimasi berdasarkan pada jumlah bahan organik (COD) yang terdegradasi pada kondisi anaerobik, kemudian dinyatakan dalam satuan jumlah TBS yang diproses.

Emisi metana dikonverasi menjadi emisi gas rumah kaca dalam satuan emisi karbon dioksida dengan menggunakan nilai ekuivalensi kekuatan efek rumah kaca metana relatif terhadap karbon dioksida. Dari data nilai kalor biogas dan data harga energi, potensi biogas / nilai energi biogas kemudian konversi ke dalam bentuk nilai uang yang potensial dapat diperoleh.

Untuk menghitung reduksi emisi gas rumah kaca akibat penggunaan biogas sebagai pengganti bahan bakar fosil/minyak bumi, hasil estimasi produksi biogas / metana dikonversi ke dalam bentuk reduksi emisi karbon atau karbon dioksida ekuivalen. Dengan menggunakan data harga reduksi emisi US$ 20 per ton C (Soemarwoto, 2001), nilai kompensasi yang mungkin diperoleh dari proyek CDM dihitung sesuai dengan tingkat reduksi emisi yang dicapai. Manfaat total merupakan gabungan dari manfaatan dari perolehan biogas sebagai bahan bakar dan manfaat lingkungan melalui proyek CDM, yang keduanya dinyatakan dalam satuan nilai uang.

3. PEMBAHASAN

3.1 Proses produksi

Secara prinsip, proses produksi adalah ekstraksi secara fisik minyak dari tandan buah segar (TBS) kelapa sawit. Proses dimulai dengan sterilisasi TBS, dimana TBS dimasak dengan uap bertekanan hingga 3 bar untuk menghentikan proses pembentukan asam lemak bebas dan menyiapkan bahan untuk diproses lebih lanjut. Tandan yang telah disterilisasi kemudian dirontokkan di dalam drum berputar, dimana buah kelapa sawit dipisahkan dari tandan kosong dan diangkut ke *digester*, dimana buah dilumatkan sehingga daging buah terkelupas dari biji. *Digester* memiliki dua jenis pisau yakni pisau pengaduk yang mempunyai fungsi utama untuk melumatkan buah, serta pisau pelempar yang berfungsi untuk memindahkan buah yang telah dilumat ke mesin pengempa.

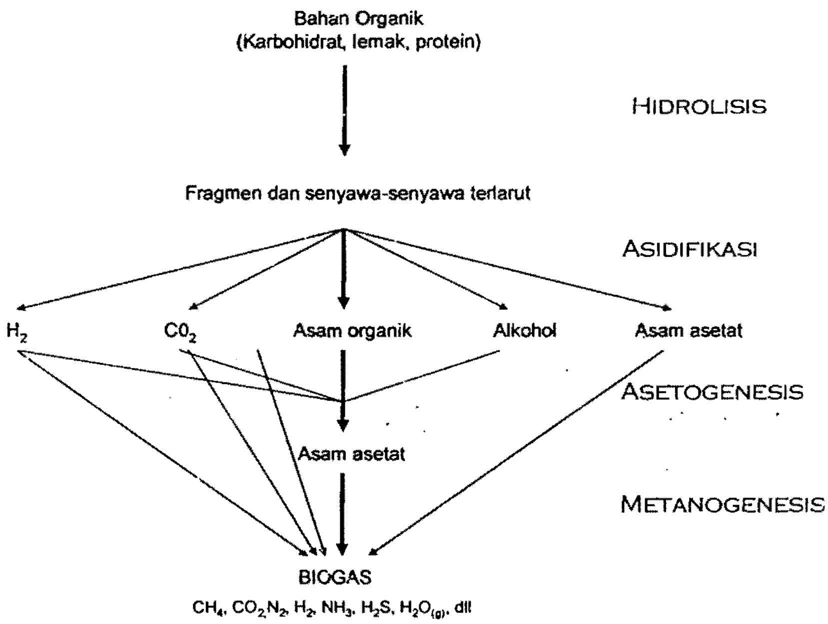
Proses pelumatan buah dibantu dengan *steam* dengan temperatur 90-100°C. Buah yang telah lumat kemudian masuk ke mesin pengempa berupa *screw press* yang berfungsi untuk memeras minyak kasar (*crude oil*) dari sabut berminyak. Minyak kasar hasil *pressing* kemudian dialirkan dengan *oil gutter* menuju *sand trap tank* untuk kemudian dimurnikan, sedangkan ampas hasil *pressing* dialirkan menuju *Cake Breaker Conveyor* (CBC) untuk memudahkan pemisahan antara sabut dengan biji. Pemurnian minyak bertujuan untuk mengurangi kadar air beserta kotoran di dalam *crude oil* sehingga menjadi CPO yang siap jual.

Dari proses produksi tersebut selain dihasilkan produk utama berupa CPO sekitar 163 kg/t TBS, juga dihasilkan hasil samping atau limbah. Perlu ditekankan bahwa seluruh tahapan proses ekstraksi minyak tidak membutuhkan bahan kimia sebagi bahan penolong atau bahan tambahan. Dengan demikian, semua bahan yang terkandung di dalam produk, hasil samping maupun limbah berupa bahan alami yang berasal dari perkebunan kelapa sawit. Kuantitas dan karakteristik residu industri minyak kelapa sawit dapat bervariasi dari satu pabrik ke pabrik lainnya tergantung tipe teknologi dan metode operasinya. Sebagai ilustrasi, dalam Tabel 1 ditunjukkan contoh kuantitas limbah industri minyak kelapa sawit. Dari 1 ton TBS yang diolah dihasilkan BOD_5, COD, SS dan minyak masing-masing sekitar 27, 52, 13 dan 7,5 kg. Nisbah BOD_5/COD limbah cair industri minyak kelapa sawit sekitar 0,6 sehingga dapat digolongkan sebagai mudah terdegradasi secara biologis (GTZ, 1997; Capps, Montelli dan Dradford, 1995).

3.2 Praktek Pengelolaan Limbah Cair

Pengolahan limbah cair industri minyak kelapa sawit biasanya dilakukan dengan sistem kolam terbuka, dengan pertimbangan utama kontruksi dan operasinya yang sederhana. Sistem ini memiliki beberapa kelemahan seperti memerlukan lahan yang luas (beban volumetrik hanya sekitar 1-5 kg COD/m^3/hari), efisiensi eliminasi bahan organik rendah (60-70%), biogas tidak dapat ditampung dan dimanfaatkan, menimbulkan bau busuk (terutama jika tingkat pembebanan tinggi), dan membutuhkan pengambilan sludge/endapan secara reguler.

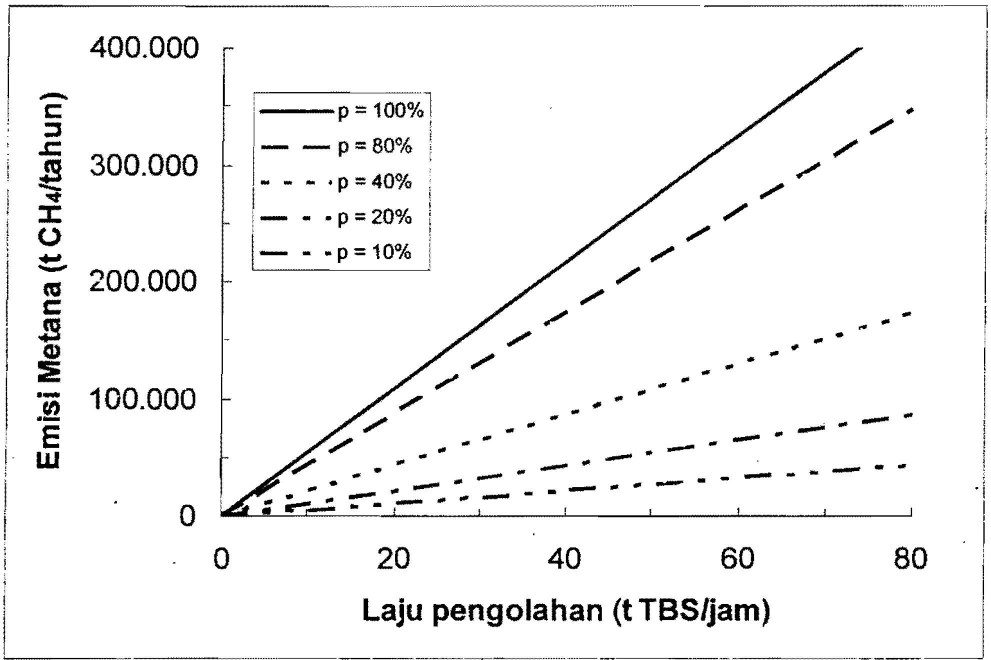
Dalam sistem kolam terbuka, pasokan oksigen bagi mikroorganisme hanya mengandalkan kontak antara limbah cair dengan udara pada permukaan. Dengan cara seperti ini laju difusi oksigen udara bagi mikroorganisme sangat terbatas dan pada lapisan bawah terjadi kondisi anaerbik. Pada kondisi ini proses degradasi menghasilkan produk akhir berupa biogas dengan kandungan utama metana dan karbon dioksida (Boenke, Bischofberger, dan Seyfried, 1993). Proses perombakan secara anaerobik merupakan proses yang sangat kompleks yang melalui beberapa tahapan proses yang melibatkan jenis mikroba yang berbeda setiap tahapnya (Gambar 2). Dengan sistem kolam terbuka, produksi biogas secara teknis sulit dikumpulkan dan dimanfaatkan, sehingga terbuang ke atmosfir dan berkontribusi terhadap masalah lingkungan global (efik rumah kaca).



Gambar 2. Tahapan proses pembentukan biogas (Boenke et al, 1993)

Jumlah biogas yang dihasilkan dari proses degradasi anaerobik limbah cair industri minyak kelapa sawit dapat diestimasi secara teoritis dan empiris. Untuk keperluan tersebut dibutuhkan data tetang nilai COD limbah cair dan tingkat degradasinya. Untuk setiap kg COD yang terdegradasi pada kondisi anaerobik dapat dihasilkan sekitar 0,4 m^3 CH_4 (GTZ, 1997; USDA and NSCS, 2007). Laporan lain menyebutkan bahwa produksi biogas sekitar 500-600 L/kg COD terdegradasi (Moletta, 2005).

Pada kasus dalam sistem kolam terbuka jumlah aktual COD yang dikonversi menjadi biogas proporsional dengan COD yang tedegradasi pada kondisi anaerobik dan dipengaruhi oleh berbagai faktor lainnya seperti karakteristik limbah, dan kondisi proses degradasi. Dengan produksi limbah cair spesifik sebesar Q = 0,75 m^3/t TBS dan nilai COD 40.000 - 60.000 mg/L, rata-rata 50.000 mg/L (Morad, Choo dan Hoo, 2008), maka beban limbah cair industri minyak kelapa sawit dapat diestimasi sekitar 37,5 kg COD per t TBS yang diolah. Apabila porsi bahan organik yang terdegradasi dalam anaerobik dapat diketahui, maka dapat diperkirakan produksi (emisi) metana teoritis untuk industri minyak kelapa sawit pada berbagai tingkat laju pengolahan. Gambar 3 menunjukkan perkiraan emisi metana sebagai fungsi dari laju pengolahan TBS pada berbagai tingkat porsi bahan organik yang terdegedasi dalam kondisi anaerobik. Sebagai contoh, industri minyak kelapa sawit dengan laju pengolahan 25 t TBS/jam, apabila seluruh bahan organiknya terdegradasi 70% dalam kondisi anaerobik, maka dalam satu tahun akan diproduksi metana sekitar 135.500 ton.



Gambar 3. Emisi metana sebagai fungsi dari laju pengolahan pada berbagai tingkatan porsi bahan organik yang terdegedasi dalam kondisi anaerobik (p).

3.3 Pemanfatan Biogas

Pada sistem kolam untuk pengolahan limbah cair organik, produksi biogas secara teknis sulit dikumpulkan dan dimanfaatkan. Dengan menggunakan teknologi yang sesuai, misalnya UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) dan AFBR (*Anaerobic Fluidized Bed Reactor*), bahan organik dalam limbah cair minyak kelapa sawit dapat dikonversi menjadi energi terbarukan berupa biogas pada kondisi yang lebih terkendali, dan biogas yang diproduksi dengan mudah dapat dikumpulkan/ditampung untuk dimanfaatkan.

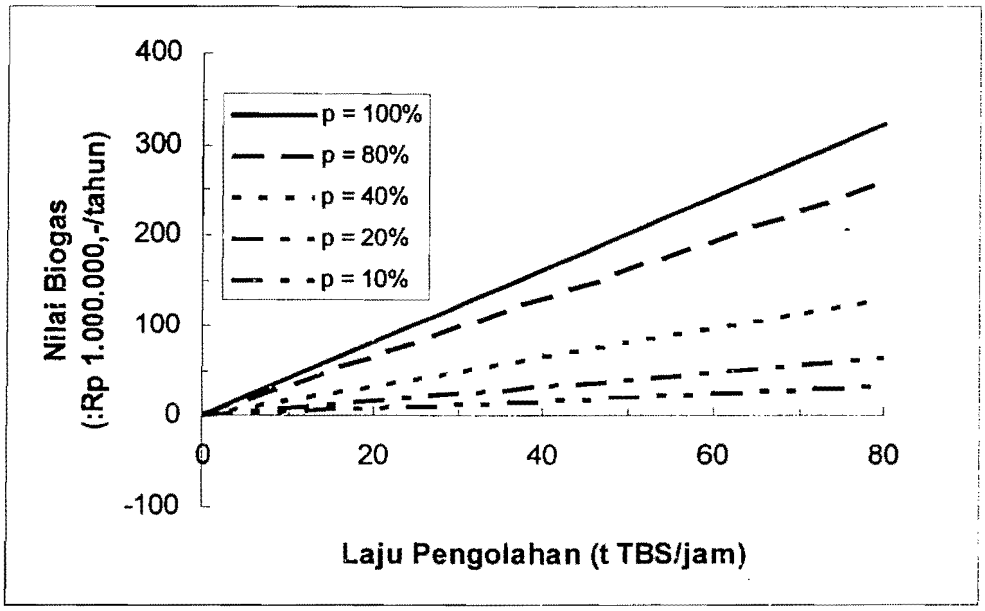
Satu kg COD dapat dikonversi menjadi 0,6 m^3 biogas yaitu gas campuran dengan kandungan utama metana (50-70%vol.), karbon diokasida (30-40%vol.), serta sejumlah kecil gas kelumit seperti H_2, H_2S, uap H_2O, dan nitrogen. Nilai kalor biogas 16.000-20.000 kJ/m^3, 60-80% dari nilai kalor gas alam. Informasi lain menyebutkan nilai kalor biogas adalah sekitar 6 kWh/m^3, setara dengan 0,5 Liter solar (Hutzler, 2004).

Memperhatikan perhitungan neraca bahan pada proses produksi minyak kelapa sawit, untuk setiap 1 ton TBS kg yang diolah akan dihasilkan limbah cair dengan beban 37,5 kg COD. Dengan tingkat degradasi 70% dan nilai konversi 0,4 m^3 metana / kg COD terdegradasi, maka pemrosesan 1 ton TBS akan dihasilkan sejumlah sekitar 16 m^3 biogas atau setara energi dari 8 L minyak diesel (solar). Dengan harga minyak diesel Rp 5.000,-/L (kondisi tahun 2009), maka untuk setiap 1 t TBS yang diolah dapat dihasilkan bahan bakar biogas senilai Rp 40.385,-. Perhitungan perolehan biogas / energi dari limbah cair industri minyak kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2. Potensi perolehan biogas ditentukan oleh jumlah produksi limbah cair dan porsi bahan organik dalam limbah cair yang terdegradasi pada kondisi anaerobik (Gambar 4).

Tabel 2. Perhitungan perolehan biogas / energi dari limbah cair industri minyak kelapa sawit

	Nilai	Satuan	Keterangan
Tandan Buah Segar (TBS)	1	t TBS	
COD dalam limbah cair	37,5	kg COD	Q = 0,75 m^3 /t TBS (Morad, Choo dan Hoo, 2008) COD = 40.000 - 60.000 mg/L, rata-rata 50.000 mg/L (Morad, Choo dan Hoo, 2008)
Potensi:			
Metana (CH_4)	10,5	m^3 CH_4	Tingkat konversi: 400 L CH_4/kg COD terdegradasi (GTZ, 1997; USDA and NSCS, 2007) Eff.=70% (Tipikal untuk sistem kolam)
Biogas	16,2	m^3 Biogas	Kadar metana: 65% vol.
	8,1	L minyak solar	1 m^3 biogas = 0,5 L minyak diesel
Pengehamatan biaya bahan bakar	40.385	Rp	Harga minyak diesel: Rp 5.000,-/L (2009)

Proses anaerobik untuk pengolahan limbah cair dapat memanfaatkan mikroorganisme dalam keadaan tersuspensi atau mikroorganisme dalam struktur biofilm. Dalam struktur biofilm (*fixed growth*), biofilm dapat dibentuk tanpa penambahan media / carrier (granular) atau pada media pembawa (plastik atau mineral). Teknologi biofilm ini telah banyak dikembangkan untuk pengolahan limbah cair karena keunggulannya dibandingkan dengan bioreaktor anaerobik jenis lainnya. Pembentukan biofilm memungkinkan peningkatan konsentrasi biomassa dalam sistem bioreaktor hingga 50 g/L, sehingga kemampuan bioreaktor dapat ditingkatkan secara drastis (Molleta, 2005).



Gambar 4. Nilai biogas sebagai fungsi dari laju pengolahan pada berbagai porsi degradasi anaerobik (p)

Teknologi biofilm yang banyak menjadi perhatian adalah UASB maupun AFBR. Dalam sistem UASB, mikroorganisme tumbuh dalam bentuk granular, yang berada dalam bentuk "tersuspensi" oleh adanya aliran biogas yang terbentuk dan akibat aliran resirkulasi limbah cair. Pada bagian atas sistem UASB dilengkapi dengan kompartemen yang berfungsi sebagai pengendap biomassa dan penahan granular agar tidak terbawa oleh aliran efluen. Pada sistem AFBR, media tumbuh mikroorganisme (biofilm) dalam keadaan terfluidisasi *(fluidized)* oleh aliran resirkulasi limbah cair. Kedua teknologi biofilm tersebut di atas telah banyak diteliti untuk pengolahan berbagai jenis limbah cair dan menunjukkan hasil yang efektif. Dibandingkan dengan sistem tersuspensi konvensional yang beban organiknya hanya sekitar 1-5 kg COD/m^3/hari, dengan sistem biofil beban organik dapat ditingkatkan sampai 5-15 kg COD/m^3/hari untuk UASB dan 15-30 kg/m^3/hari untuk AFBR (Molleta, 2005; Qureshi et al., 2005). Berapa hal yang masih memerlukan pengembangan lebih lanjut adalah optimasi proses konversi bahan organik dari berbagai jenis limbah agroindustri menjadi biogas, pengembangan metode pemurnian biogas (eliminasi NH_3, H_2S), dan optimasi konversi biogas menjadi energi listrik.

3.4 Metana sebagai Gas Rumah Kaca

Gas rumah kaca (GRK) adalah istilah kolektif untuk gas-gas yang memiliki efek rumah kaca, seperti klorofluorokarbon (CFC), karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), nitrogen oksida (NO_x), ozon (O_3) dan uap air (H_2O). Beberapa gas tersebut memiliki efek rumah kaca lebih besar daripada gas lainnya. Metana memiliki efek 20-30 kali lebih besar dibanding dengan karbon dioksida, dan CFC diperkirakan memiliki efek rumah kaca 1000 kali lebih kuat dibanding dengan karbon dioksida (Porteous, 1992; Hanks, 1996). Karena besarnya efek rumah kaca gas metana, usaha-usaha penanggulangannya seharusnya diarahkan kepada pengendalian sumber-sumber emisi metana tersebut. Salah satu sumber metana adalah degradasi anaerobik bahan organik, termasuk bahan organik dalam limbah cair industri minyak kelapa sawit.

Pengolahan limbah cair industri minyak kelapa sawit dengan sistem anaerobik merupakan alternatif pemanfaatan / pengolahan limbah yang prospektif, karena dengan biaya investasi dan operasional relatif rendah, menghasilkan produk samping berupa biogas, dan mereduksi masalah lingkungan (bau busuk).

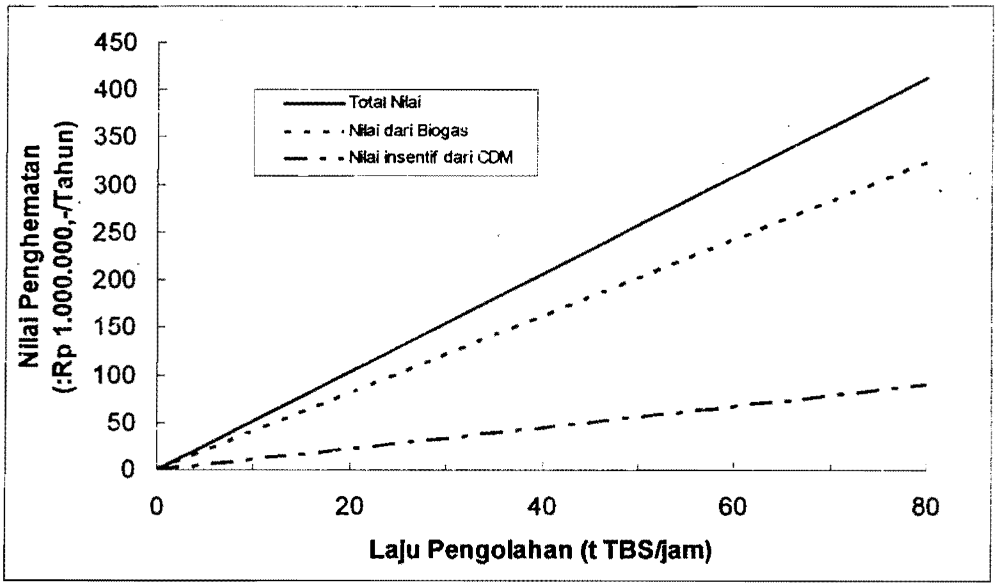
Sebagaimana telah diilustrasikan pada Gambar 3, industri minyak kelapa sawit dengan kapasitas 60 ton TBS/jam menghasilkan limbah cair yang dapat dikonversi menjadi 325.200 ton metana/tahun (waktu produksi 360 hari/tahun, 20 jam/hari). Biogas tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan untuk substitusi bahan bakar minyak / fosil. Sebaliknya, apabila limbah industri minyak kelapa sawit dibuang ke lingkungan dan terdegrdasi secara anaerobik secara tidak terkendali dapat menimbulkan selain dampak lokal (bau busuk) juga berdampak global berupa emisi metana (gas rumah kaca) setara dengan sekitar 8 juta ton CO_2/tahun.

Apabila reduksi emisi tersebut dihargai sesuai dengan mekanisme CDM (*Clean Development Mechanism*), misalnya dengan harga USD 20,- per kg C (Soemarwoto, 2001), maka dapat diperhitungkan untuk setiap ton TBS yang diolah dapat diperoleh nilai kompensasi finansial Rp 11.000,- sesuai dengan perhitungan pada Tabel 3. Sebagai ilustrasi, untuk pabrik minyak kelapa sawit dengan kapasitas olah 60 ton TBS/jam, memiliki potensi untuk memperoleh manfaat sebesar Rp 300 juta/tahun, berasal dari pemanfaatan biogas sebesar Rp 240 juta/tahun dan insentif melalui proyek CDM Rp 66 juta/tahun (Gambar 5). Lebih dari itu, pengolahan limbah cair industri minyak kelapa sawit dengan bioreaktor anaerobik dan pemanfaatan biogas sebagai pengganti bahan bakar minyak bumi / fosil dapat berkontribusi pada praktek produksi minyak kelapa sawit yang berwawasan lingkungan.

Perlu dicatat bahwa akurasi estimasi potensi emisi dan manfaat yang dapat diperoleh dari penggunaan biogas sebagai sumber energi pengganti dipengaruhi oleh akurasi input data yang terkait, terutama produksi biogas spesifik, komposisi biogas, porsi bahan organic yang terdegradasi secara anaerobic, harga biogas dan harga reduksi emisi. Pengujian skala pilot dan modifikasi masih diperlukan dan perhitungan perlu disesuaikan. Analisis ini dimaksudkan untuk memberikan indikasi tingginya potensi pemanfaatan limbah cair industri minyak kelapa sawit sebagai sumber energi terbarukan (biogas).

Tabel 3. Perhitungan emisi gas rumah kaca dan potensi nilai kompensasi reduksi emisi

	Nilai	Satuan	Keterangan
Jumlah TBS yang diolah	1	t TBS	
Jumlah COD dalam limbah cair	37,5	kg COD	Q = 0,75 m^3/t TBS (Morad, Choo dan Hoo, 2008) COD = 40.000 - 60.000 mg/L (Morad, Choo dan Hoo, 2008)
Potensi emisi:	10,5	m^3 CH_4	Efisiensi = 70%
	7,53	kg CH_4	ρ_{metana} = 0,717 kg/m^3 (http://en.wikipedia.org/wiki/Methane).
	184,4	kg CO_2	Efek rumah kaca metana 24,5 kali lebih kuat dibandingkan dengan karbon dioksida (Porteous, 1992)
	50,3	kg C	
Potensi kompensasi reduksi emisi melalui CDM:	11.067	Rp	USD 20/ton C (Soemarwoto, 2001) 1 USD = Rp 11.000,- (2009)



Gambar 5. Nilai manfaat dari pemanfaatan biogas dari limbah cair industri minyak kelapa sawit sebagai fungsi dari kapasitas olah pabrik

Porteous, A. 1992. Dictionary of Environmental Science and Technology, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York

Qureshi, N., B.X. Annous, T.C. Ezeji, P. Karcher and I.S. Maddox. 2005. Biofilm reactor for industrial bioconversion processes: Employing potential of enhanced reaction rates. Artikel online, tersedia di: http://www.microbialcellfactories.com/content/4/I/24. Diakses pada tanggal 17 September 2008

Soemarwoto, O. 2001. Peluang Berbisnis Lingkungan Hidup Di Pasar Global untuk Pembangunan Berkelanjutan. Makalah Seminar "Kebijakan Perlindungan Lingkungan dan Pembangunan berkelanjutan Indonesia di Era Reformasi dalam Menghadapai KTT Rio + 10". Jakarta, 8 Februari 2001

USDA and NSCS. 2007. An Analysis of Energy Production Costs from Anaerobic Digestion Systems on U.S. Livestock Production Facilities. Technical Note No. 1, Issued October 2007

Utomo, N.U. 2001. Limbah Padat Pengolahan Minyak Sawit sebagai Sumber Nutrisi Ternak Ruminansia. MSc. Tesis. http://www.pustaka-deptan.go.id/publikasi/p3231044.pdf. *[9 Oktober 2008]*.