

**MANFAAT EKOLOGIS DAN FINANSIAL PEMANFAATAN LIMBAH CAIR AGROINDUSTRI
SEBAGAI BAHAN BAKU DALAM PRODUKSI BIOGAS UNTUK MEREDUKSI
EMISI GAS RUMAH KACA**

(Ecological and Financial Benefits of Agro-industrial Wastewater Utilization as Raw Material in Biogas Production to Reduce Green House Gas Emission)

Suprihatin

Laboratory of Industrial Environmental Technology and Management,
Department of Agroindustrial Technology, Faculty of Agricultural Engineering and Technology,
Bogor Agricultural University, Kampus IPB Dermaga PO. Box 220 Bogor
Telp./Fax: 0251-86 21 974 / 86 27 830
email: suprihatin@indo.net.id

ABSTRACT

Agroindustries in general produce a large amount of organic wastewater. Until now, most of this organics waste-stream was not recovered and left to decompose anaerobically in ponds, where it emits methane, a potent greenhouse gas. By anaerobically digesting of the effluents in a suitable bioreactor, methane can be captured and used for combustion in gas engines or boilers. This way, uncontrolled methane emission from the anaerobic decomposition can be avoided and the utilization of fossil fuels can be replaced partly with the renewable biogas from the decomposition process. In addition, the approach of reducing green house gas emission is potentially to earn financial incentive through Clean Development Mechanism project. This paper demonstrates quantitatively some potential ecological and economical benefits derived from utilising agroindustrial effluents by treating it anaerobically to generate biogas (with cases of cane sugar factory, starch industry, palm oil mill, and tofu industry) . As illustration, for each ton cane sugar produced app. 15 m³ methane can be emitted from uncontrolled anaerobic degradation of it wastewater. By capturing the gas and transforming it into renewable biogas, a methane emission of equivalent to ≈ 272 kg CO₂ can be avoided and an energy value of app. 427 MJ with a money value of app. Rp 59 600,- can be obtained. In addition, a financial incentive of app. Rp 14 850,- is possible to be earned from clean development mechanism (CDM) project. The ecological and financial benefits derived from anaerobic treatment of agroindustrial wastewater as indicated by this study should therefore become the driving force for the implementation of the approach.

Keywords: agroindustrial wastewater, anaerobic degradation, biogas, emission reduction, green house gas

PENDAHULUAN

Agroindustri, seperti industri minyak sawit, industri gula, industri rumah pemotongan hewan, industri pengolahan ikan, dan peternakan, berkontribusi signifikan dalam peningkatan nilai tambah komoditas pertanian, penyerapan tenaga kerja, dan pengembangan ekonomi daerah dan nasional. Namun di sisi lain, agroindustri juga berpotensi mencemari lingkungan, karena industri ini menghasilkan limbah (padat, cair dan gas) dalam jumlah besar dan mengandung polutan organik dalam konsentrasi tinggi.

Limbah cair agroindustri di Indonesia hingga saat ini belum ditangani secara relatif baik, sebagian bahkan hanya dialirkan ke selokan atau dibiarkan terdekomposisi di kolam-kolam dalam yang tidak terkendali. Di tempat ini, sebagian bahan organik dalam limbah cair terdegradasi secara anaerobik dan menimbulkan bau busuk serta menimbulkan emisi metana. Gas metana merupakan gas rumah kaca (GRK) dengan kekuatan 20-30 kali lebih kuat dibandingkan dengan gas karbon dioksida dan berkontribusi terhadap pemanasan global (Porteous, 1992). Di sisi lain, metana hasil dari proses dekomposisi anaerobik bahan organik memiliki kandungan energi tinggi dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan (USDA and NSCS, 2007).

Paper ini menyajikan secara kuantitatif potensi mafaat ekologis dan finansial yang dapat diperoleh dari penggunaan limbah cair agroindustri untuk memproduksi biogas. Analisis dilakukan mengguna kasus limbah cair industri gula, industri pati, industri minyak sawit kasar, dan industri tahu. Penggunaan biogas sebagai sumber energi terbarukan dapat dijadikan salah satu alternatif untuk keberlanjutan pengelolaan lingkungan agroindustri, karena dapat memberi manfaat ekologi dan finansial. Pengolahan limbah cair untuk produksi biogas telah banyak dikenal, tetapi informasi yang mengkaitkannya dengan implikasi finansial ini sangat bermanfaat bagi para praktisi/industri dalam kaitannya dengan pemilihan pendekatan pengelolaan lingkungan lokal maupun global.

METODOLOGI

Data tentang jumlah dan karakteristik limbah cair agroindustri dikumpulkan dari berbagai sumber melalui kegiatan observasi, analisis laboratorium, analisis data statistik dan studi literatur. Data jumlah limbah cair dinyatakan dalam produksi spesifik (misalnya m^3 /ton bahan baku), dan data karakteristik dinyatakan dalam konsentrasi polutan juga dalam beban (kg polutan/kg bahan baku). Kajian ini menggunakan pendekatan teknis guna menghasilkan informasi yang dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk pengambilan keputusan, terutama oleh pihak praktisi / industri.

Proses produksi biogas dengan bahan baku limbah cair agroindustri dideskripsikan dengan model dekomposisi bahan organik pada kondisi anaerobik. Jumlah biogas atau metana diestimasi berdasarkan pada data empirik (data eksperimen) dan analisis teoritis (stoikiometri). Dengan menggunakan data harga energi saat ini, dan potensi produksi biogas kemudian konversi ke dalam bentuk nilai uang yang potensial dapat diperoleh untuk menggambarkan manfaat finansial. Manfaat finansial juga dikaitkan dengan potensi reduksi emisi GRK baik melalui reduksi emisi metana itu sendiri maupun akibat substitusi bahan bakar fosil dengan metana (manfaat lingkungan). Lebih lanjut, reduksi emisi metana dikaitkan dengan CDM (*Clean Development Mechanism*), dimana reduksi emisi GRK dapat diperdagangkan sesuai dengan Protokol Kyoto. Untuk keperluan ini, 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 dapat diperoleh dari mekanisme proyek CDM dihitung sesuai dengan tingkat reduksi emisi yang dicapai. Manfaat finansial total merupakan gabungan dari manfaat finansial dari

perolehan biogas sebagai bahan bakar dan manfaat lingkungan dari proyek CDM, yang keduanya dinyatakan dalam bentuk nilai rupiah.

Simulasi dilakukan pada berbagai skenario untuk menggambarkan potensi manfaat lingkungan dan manfaat finansial yang dapat diperoleh pada berbagai skenario tersebut, yaitu jumlah limbah cair agroindustri (kapasitas produksi) yang diolah dalam bioreaktor anaerobik terkendali dan tingkat konversi bahan organik dalam limbah cair menjadi biogas atau metana. Studi kasus dilakukan untuk industri gula, industri pati, dan industri minyak sawit kasar untuk menggambarkan industri besar, dan industri tahu untuk menggambarkan industri kecil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Limbah Cair Agroindustri

Dalam proses agroindustri, komoditas hasil pertanian (misalnya tebu, umbi-umbian, kelapa sawit, dan kedele) diolah menjadi produk-produk yang memiliki nilai lebih tinggi (gula, pati, minyak sawit, dan tahu). Dalam proses tersebut, dihasilkan selain produk utama juga limbah cair yang jumlahnya bervariasi tergantung jenis bahan baku, produk, teknologi, dan tingkat implementasi produksi bersih. Jumlah limbah cair dapat dinyatakan dalam satuan volume per satuan produk atau bahan baku. Sebagai contoh, untuk menghasilkan 1 ton gula tebu dihasilkan sekitar 4-18 m³ (US EPA, 2009). Hasil survei di salah satu industri gula swasta yang telah menerapkan prinsip-prinsip konservasi air menunjukkan jumlah produksi limbah cair rata-rata 4.1 m³/ton. Produksi limbah cair spesifik untuk industri gula, industri pati, industri minyak kelapa sawit kasar, dan industri tahu (Tabel 1).

Tabel 1 Produksi limbah cair industri gula, industri pati, industri minyak kelapa sawit kasar, dan industri tahu

No.	Jenis Industri	Satuan	Nilai rentang (rata-rata)	Referensi
1	Industri gula	m ³ /ton gula	3.7-4.5 (4.1)	Hasil survey (2006)
2	Industri pati	m ³ /ton pati	15-20 (17.5)	Rangsivek, 2008
3	Industri minyak sawit kasar (<i>Crude Palm Oil/CPO</i>)	m ³ /t TBS ⁾	(0.75)	Morad, Choo dan Hoo, 2008; GTZ, 1997
4	Industri Tahu	m ³ /t kedele	14-20 (17)	Hasil pengukuran lapang (2008)

⁾TBS = Tandan Buah Segar

Limbah cair agroindustri mengandung bahan organik dalam konsentrasi tinggi. Kandungan bahan organik yang terdapat pada limbah cair umumnya terdiri dari karbohidrat, lemak, protein, dan bahan organik lain. Bahan organik tersebut secara agregat dinyatakan dalam COD atau BOD₅. Bahan-bahan tersebut tergolong mudah terdegradasi secara biologis baik pada kondisi aerobik maupun anaerobic (COD/BOD₅ < 2.5, Capps, 1995). Kandungan bahan organik sangat bervariasi, termasuk di dalam suatu jenis agroindustri tertentu. Untuk keperluan analisis dalam bahasan ini digunakan nilai pendekatan (Tabel 2).

Tabel 2 Nilai BOD₅, COD dan padatan tersuspensi (TSS) limbah cair industri gula, industri pati, industri minyak kelapa sawit kasar, dan industri tahu

No.	Parameter	Industri Gula	Industri Pati	Industri Minyak Sawit Kasar	Industri Tahu
1	BOD ₅ ,	465	9 000	25 000	2 600 - 4 400
2	COD	1 200-1500	12 000	40 000 – 60 000	5 600 - 9 000
3	TSS	85	---	18 000 – 34 000	250 – 750
Referensi	Hasil survey (2006)	Rangsivek (2008)	Morad, Choo dan Hoo (2008)	Hasil pengukuran Lab. (2008)	

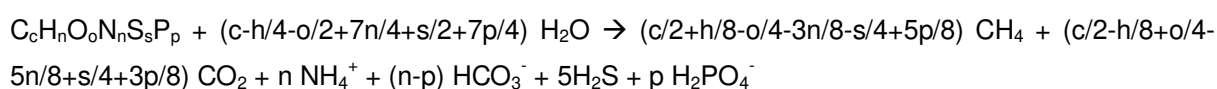
Proses Pembentukan Biogas

Pada proses degradasi secara biologis, mikroba mengkonsumsi bahan organik *biodegradable* dan mengkonversinya menjadi senyawa yang lebih sederhana dan energi untuk pertumbuhan dan reproduksinya. Pada kondisi dimana tersedia oksigen, proses perombakan berlangsung secara aerobik dan dihasilkan produk akhir berupa karbon dioksida dan air. Pada kondisi tidak tersedia oksigen, proses perombakan bahan organik berlangsung secara anaerobik dan dihasilkan produk akhir berupa biogas, yang terdiri dari metana, karbon dioksida dan sejumlah kecil gas lainnya. Proses perombakan bahan organik secara anaerobik merupakan proses yang sangat kompleks, terdiri dari beberapa tahapan proses dan melibatkan berbagai jenis mikroba yang berbeda setiap tahapnya (Gambar 1). Dari sisi teknik pengolahan limbah cair, perbedaan utama antara proses pengolahan secara anaerobik dan aerobik terletak pada aspek energi, dimana proses pengolahan secara aerobik memerlukan energi (untuk aerasi) sedangkan proses anaerobik menghasilkan energi dalam bentuk biogas (Bode, 1988).

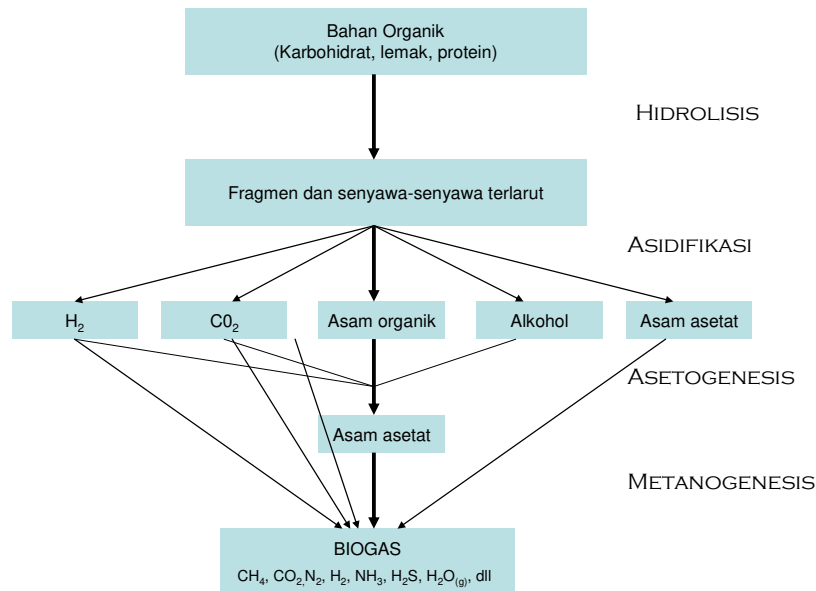
Jumlah produksi metana proporsional dengan jumlah COD yang terdegradasi dan laju umpan bahan organik serta ditentukan oleh koefisien konversi COD menjadi metana sesuai dengan persamaan:

$$Q_{CH_4} = \frac{Y_{CH_4} Q_f (S_0 - S)}{1000}$$

dengan Q_{CH_4} adalah produksi metana (m^3/d), Y_{CH_4} koefisien perolehan metana (m^3/kg COD_{terdegradasi}), S_0 dan S konsentrasi COD dalam influen dan efluen (mg/L), dan Q_f laju umpan (m^3/d). Roedinger dan Kapp (1990) mendeskripsikan proses kimia perombakan bahan organik pada kondisi anaerobik sesuai dengan persamaan reaksi berikut:



Perlu dicatat bahwa produksi metana spesifik metana dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain karakteristik bahan organik, kondisi proses degradasi, serta jenis dan desain bioreaktor yang digunakan. Data produksi biogas atau metana spesifik dari berbagai sumber literatur (Tabel 3). Untuk keperluan analisis disini digunakan pendekatan nilai konversi 0.35 m³ CH₄ per kg COD terdegradasi dan kadar metana dalam biogas 65% vol.



Gambar 1 Tahapan proses pembentukan biogas (Boenke *et al*, 1993)

Tabel 3 Produksi gas dan produksi metan spesifik dari berbagai jenis substrat

Substrat	Satuan	Produksi Biogas	Produksi Metana	Referensi
Karbohidrat	Nm ³ /kg	0.79	0.40	Roedinger dan Kapp (1990)
Lemak	Nm ³ /kg	1.27	0.86	Roedinger dan Kapp (1990)
Protein	Nm ³ /kg	0.70	0.50	Roedinger dan Kapp (1990)
Limbah peternakan	kg/kg COD _{eli} .		0.25	US EPA (2009)
	Nm ³ /kg COD _{eli} .		0.39	USDA dan NSCS (2007)
Limbah cair	Nm ³ /kg COD _{eli} .	0.5-0.6		Moletta (2005)

Biogas merupakan gas campuran dengan kandungan utama metana (50-70%vol.) dan karbon dioksida (30-40%vol.), serta sejumlah kecil gas kelumit seperti H₂, H₂S, uap H₂O, nitrogen (Tabel 4). Seperti gas lainnya, karakteristik biogas sangat tergantung pada tekanan dan temperatur serta komposisi biogas. Hal utama yang perlu menjadi perhatian mencakup: perubahan volume sebagai fungsi dari temperatur dan tekanan, dan perubahan nilai kalor spesifik sebagai fungsi dari temperatur, tekanan dan komposisi biogas terutama kadar CO₂ dan uap air.

Tabel 4 Komposisi biogas

Komponen	Rumus Kimia	Persentase
Metana	CH ₄	50 – 70
Karbon Dioksida	CO ₂	30 – 40
Hidrogen	H ₂	5 – 10
Nitrogen	N ₂	1 – 2
Uap air	H ₂ O	0.3
Hidrogen sulfida	H ₂ S	Kelumit

Sumber: FAO/CMS (1996), <http://www.fao.org/sd/EGdirect/EGre0022.htm>

Tergantung pada komposisinya, biogas memiliki bobot sekitar 20 persen lebih ringan dibandingkan dengan bobot udara. Biogas dengan kandungan metana 50% memiliki densitas 1.227 kg/m³, sedangkan metana memiliki 0.717 kg/m³ (<http://en.wikipedia.org/wiki/Methane>). Nilai kalor biogas 16 000 - 20 000 kJ/m³, 60-80% dari nilai kalor gas alam. Nilai kalor biogas sekitar 6 kWh/m³, atau setara dengan 0.5 Liter solar (Hutzler, 2004).

Analisis Manfaat

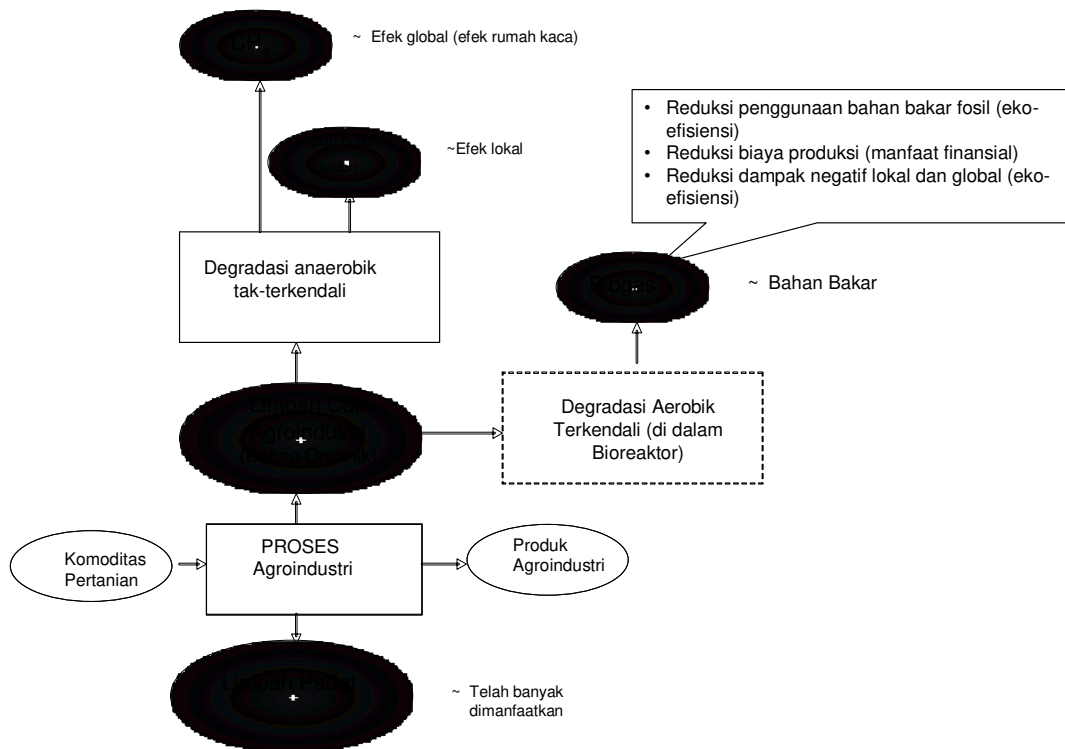
Skema proses agroindustri dan dampaknya terhadap lingkungan. Bahan baku agroindustri berupa komoditas pertanian dikonversi menjadi berbagai macam produk (Gambar 2). Dalam proses produksi tersebut dihasilkan limbah berbentuk gas, padat dan cair. Limbah padat umumnya telah banyak dimanfaatkan, sedangkan limbah cair selama ini hanya dialirkan ke dalam kolam atau badan air, dimana sebagian besar bahan organik mengalami proses degradasi secara anaerobik dan membentuk metana dan senyawa penyebab bau busuk.

Dampak negatif dapat direduksi jika limbah cair diolah dengan menggunakan bioreaktor anaerobik yang dirancang secara khusus sehingga biogas dimungkinkan untuk ditampung dan dimanfaatkan sebagai bahan bakar terbarukan. Dengan demikian, masalah lokal seperti bau busuk dan emisi metana ke atmosfer yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global dapat dicegah.

Perhitungan perolehan biogas / energi dan potensi reduksi emisi gas rumah kaca pengolahan secara anaerobik dari limbah cair industri gula, industri pati, industri minyak kelapa sawit kasar, dan industri tahu. Sebagai contoh, untuk setiap 1 ton gula yang diproduksi dapat dihasilkan limbah cair dengan beban 55 kg COD. Dengan tingkat degradasi 80% dan nilai konversi 0.35 m³ metana / kg COD terdegradasi, sejumlah 24 m³ biogas atau setara dengan 12 L minyak diesel (solar). Dapat dihasilkan dari limbah cair tersebut. Dengan harga minyak diesel Rp 5 000,-/L, maka untuk setiap ton gula yang diproduksi dapat dihasilkan bahan bakar biogas senilai sekitar Rp 59 600,- (Tabel 5)

Apabila reduksi emisi akibat pemakaian biogas (metana) sebagai bahan bakar dihargai misalnya dengan harga USD 20,- per ton C (Soemarwoto, 2001) sesuai proyek CDM, maka dapat

diperhitungkan untuk setiap ton gula yang diproduksi diperoleh nilai kompensasi finansial sekitar Rp 14 800,-. Dari kedua manfaat finansial tersebut di atas, secara total untuk produksi 1 ton gula dapat diperoleh manfaat total Rp 74 457,-. Dengan cara yang sama, manfaat finansial dari pemanfaatan limbah industri pati, industri minyak kelapa sawit kasar, dan industri tahu dapat dilihat pada Tabel 5. Pemanfaatan limbah cair ketiga jenis agroindustri tersebut sebagai bahan baku biogas dapat memberikan manfaat finansial total Rp 74 457,- per ton pati yang dihasilkan, Rp 50 445,- per TBS yang diproses, dan Rp 166 941,- per ton kedele yang diolah. Nilai tersebut terdiri atas 80% dari biogas dan 20% dari insentif CDM. Dengan bantuan prosedur tersebut, potensi nilai manfaat finansial dapat diperkirakan untuk setiap kapasitas produksi satu jenis agroindustri. Perkiraan manfaat finansial yang dapat diperoleh dari limbah cair pada berbagai kapasitas produksi industri untuk industri gula, industri pati, industri minyak kelapa sawit kasar, dan industri tahu (Gambar 3).

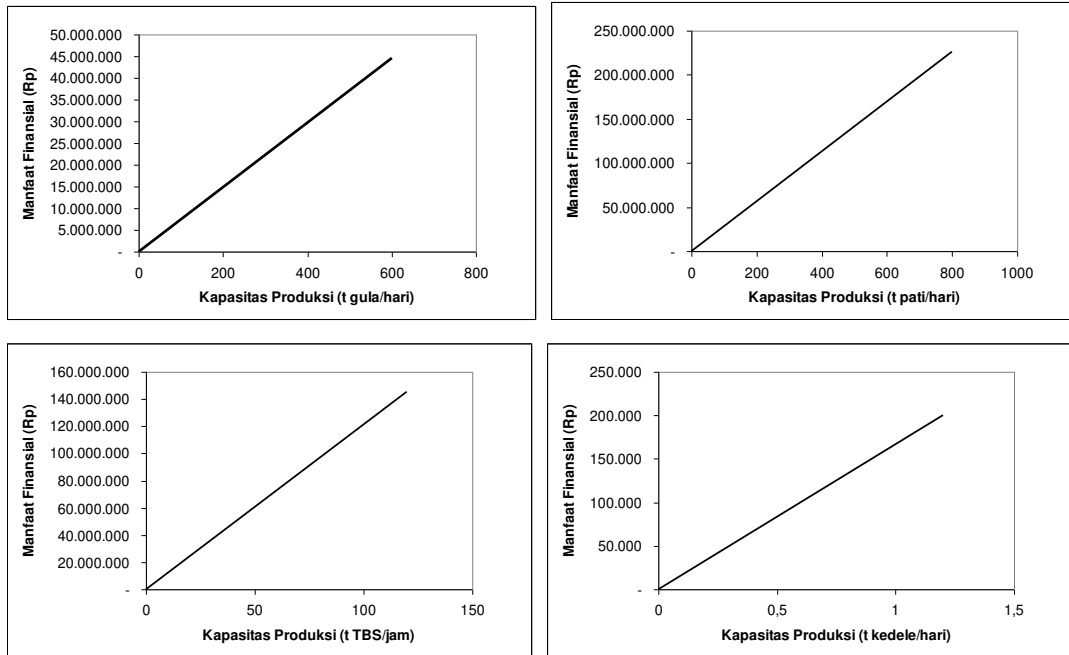


Gambar 2 Skema dampak negatif limbah cair agroindustri dan pengaruh positif pemanfaatan limbah cair agroindustri sebagai bahan produksi biogas dalam bioreaktor anaerobik

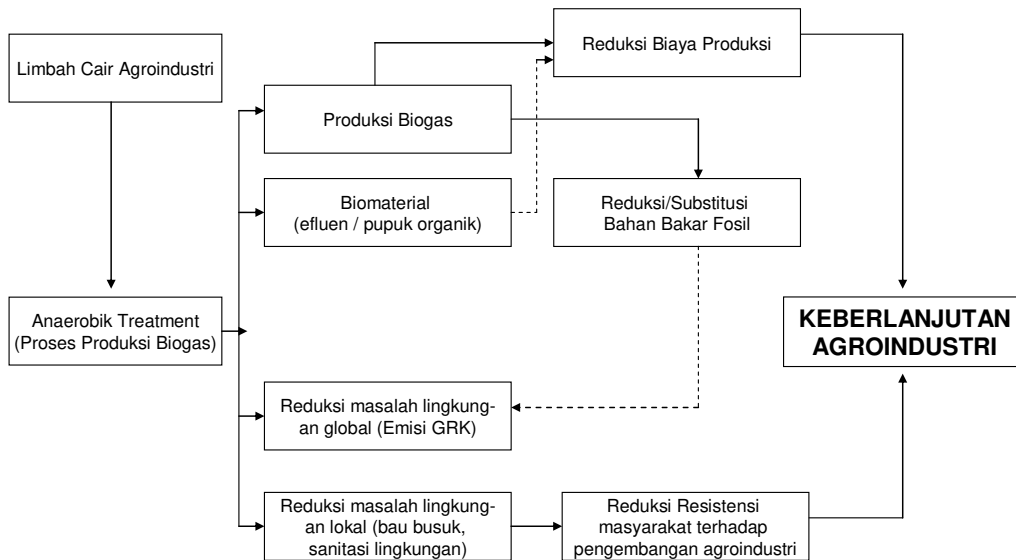
Uraian di atas menunjukkan bahwa berbagai potensi keuntungan dapat diperoleh dari pemanfaatan limbah cair agroindustri sebagai bahan biogas, a.l.: i) Reduksi biaya produksi melalui pemanfaatan biogas sebagai bahan bakar, ii) Reduksi / substitusi bahan bakar (minyak, kayu), iii) Produksi sludge / efluen sebagai pupuk organik, iv) Reduksi masalah lingkungan lokal (bau busuk, sanitasi) dan gangguan serangga, lalat, dan nyamuk, iv) Reduksi emisi gas rumah kaca akibat pemanfaatan biogas, dan v) Perbaikan sistem sanitasi (reduksi penyebaran mikroorganisme patogen). Manfaat-manfaat tersebut dapat berkontribusi terhadap keberlanjutan agroindustri (Gambar 4).

Tabel 5 Perhitungan perolehan biogas / energi dan potensi reduksi emisi gas rumah kaca pengolahan secara anaerobik dari limbah cair industri gula, industri pati, industri minyak kelapa sawit kasar, dan industri tahu

	Satuan	Industri gula	Industri pati	Industri minyak sawit kasar	Industri tahu	Keterangan
Jumlah bahan baku yang diolah atau jumlah produk:		t gula	t pati	t TBS	t kedele	
Produksi limbah cair	m ³	4.1	17.5	0.75	17	
Konsentrasi COD	mg/L	13 500	12 000	50 000	7 300	
Jumlah COD dalam limbah cair	kg COD	55	210	38	124	
Produksi metana / biogas:	m ³ CH ₄	15	59	11	35	0.35 m ³ CH ₄ /kg COD _{ei} , 80% degradasi
Nilai kalor biogas	m ³ biogas MJ	24 429	90 1 628	16 291	53 962	kadar metana: 65% vol. Nilai kalori Biogas=18000kJ/m ³
Penghematan bahan bakar:	L minyak diesel	12	45	8	27	1 m ³ biogas = 0.5 L minyak diesel
	Rp	59 608	226 154	40 385	133 646	Rp 5 000,-/L minyak diesel $\rho_{\text{metana}} = 0.717 \text{ kg/m}^3$ (http://en.wikipedia.org/wiki/Methane)
Reduksi emisi:	kg CH ₄ kg CO ₂ kg C	11 272 74	42 1 033 282	8 184 50	25 610 166	Efek rumah kaca metana 24,5 kali lebih kuat dibandingkan dengan karbon dioksida (Porteous, 1992)
Potensi kompensasi via CDM	Rp	14 850	56 341	10 061	33 295	Harga reduksi emisi: 20 USD/t C 1; kurs: USD = Rp 10 000,-
Total manfaat finansial	Rp	74 457	282 494	50 445	166 941	



Gambar 3 Perkiraan manfaat finansial yang dapat diperoleh dari limbah cair pada berbagai kapasitas produksi industri untuk industri gula, industri pati, industri minyak kelapa sawit kasar, dan industri tahu



Gambar 4 Skema kontribusi produksi biogas dari limbah cair agroindustri dalam mewujudkan keberlanjutan agroindustri

Perhitungan di atas menggunakan asumsi-asumsi. Oleh karena itu, akurasi estimasi ini dipengaruhi oleh akurasi input data yang terkait, seperti produksi metana spesifik dan tingkat degradasi anaerobik yang dicapai. Untuk memperoleh data yang lebih akurat, modifikasi masih diperlukan dan perhitungan perlu disesuaikan dengan kondisi spesifik agroindustri yang bersangkutan. Kajian ini dimaksudkan untuk menunjukkan indikasi adanya potensi kontribusi pemanfaatan limbah cair agroindustri sebagai bahan produksi biogas.

KESIMPULAN

Bahan organik dalam limbah cair agroindustri mengandung bahan organik dalam konsentrasi tinggi dan berpotensi dapat dimanfaatkan sebagai sumber biogas. Metode recycling ini tergolong murah dalam investasi dan operasional, serta ramah lingkungan. Berbagai keuntungan dapat diperoleh, a.l. reduksi biaya produksi melalui pemanfaatan biogas sebagai bahan bakar, reduksi / substitusi bahan bakar minyak/fosil, produksi sludge sebagai pupuk organik, reduksi masalah lingkungan lokal (bau busuk), dan reduksi emisi gas rumah kaca akibat pemanfaatan biogas. Besarnya nilai manfaat yang dapat diperoleh ditentukan oleh jumlah limbah cair yang diolah secara anaerobik, dan tingkat konversi bahan organik menjadi biogas yang tergantung pada desain dan operasi bioreaktor anaerobik yang diterapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bode, H. 1988. Anaerobic-aerobic treatment of wastewater. *Wat.Sci.Tech.*, Vo. 20, No. 4/5, pp. 189-198
- Boenke, B., Bischofberger, W. und Seyfried, C.F. 1993. *Anaerobitechnik*. Springer-Verlag, Berlin. 837 hal.
- Capps, R.W., Montelli, G.N. and Dradford, M.L. 1995. Design concepts for biological treatment. *Env. Progress* 14, p. 1-8
- GTZ. 1997. *Environmental Management Guideline for the Palm Oil Industry*. Deutsche Gessellschaft fuer Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Bangkok
- Hutzler, N. 2004. *Solid Waste Management. Lecture Note* [onlinewww.cee.mtu.edu/~hutzler/ce3503/Solid Waste Managementnjh.ppt](http://onlinewww.cee.mtu.edu/~hutzler/ce3503/Solid%20Waste%20Managementnjh.ppt). Diakses tanggal 3 Agustus 2008
- Moletta, R. 2005. Winery and distillery wastewater treatment by anaerobic digestion. *Wat. Sci. Techn.* Vol. 51, no. 1, pp. 137-144
- Morad, M., Choo, S.S. dan Hoo, Y.C. 2008. Simplified Life Cycle Assessment of Crude Palm Oil – A Case Study at a Palm Oil Mill. *International Conference on Environmental Research and Technology (ICERT 2008)*.
- Porteous, A. 1992. *Dictionary of Environmental Science and Technology*, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York
- Rangsivek, R. 2008. *Anaerobic treatment system in Thailand: Case studies of Pig farms, Agro-industries and Small to Medium Enterprises (SMEs)* Energy Research and Development Institute (ERDI), Chiang Mai University, Thailand. Paper Presentasi

- Roedinger, M. dan Kapp, H. 1990. Anaerobe alkalische Schlammfauling. 4. Aufl. R. Oldenbourg, Muenschen
- 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
- US. EPA. 2009. Resource Assessment Report for Livestock and Agro-Industrial Wastes – Thailand. http://www.methanetomarkets.org/m2m2009/documents/ag_thailand_res_assessment.pdf. dikases tanggal 4 November 2009.
- 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