

**PROSES PRODUKSI BIOETANOL DARI LIMBAH CAIR GULA DALAM
KAITANNYA DENGAN POTENSI SEBAGAI BAHAN BAKAR DALAM
PERSPEKTIF *LIFE CYCLE INVENTORY ASSESSMENT***

*Agusta Samodra Putra¹, Hari Rom Hariyadi¹, Herlian Eriska Putra¹, Djaenudin¹, Dani Permana¹, dan Kancitra Pharmawati²

¹Pusat Penelitian Kimia LIPI, Kawasan Puspiptek, Serpong

¹Pusat Penelitian Kimia, Komplek LIPI, Jl. Cisitua Sangkuriang, Bandung

²Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional, Jl. PHH Mustafa No. 23, Bandung

* email: chemguzta@gmail.com

ABSTRAK

Life cycle inventory assessment merupakan salah satu tahapan di dalam *Life Cycle Assessment* (LCA) yang bisa digunakan untuk menggambarkan interaksi materi dan energi di dalam suatu proses produksi bioetanol. Studi kasus dilakukan di pabrik gula kawasan Subang dan pabrik bioetanol di kawasan Palimanan yang merupakan pabrik gula dan bioetanol terbesar di Jawa Barat. *Inventory* yang dilakukan adalah pada bagian perkebunan tebu, pabrikasi tebu menjadi gula, transportasi dari pabrik gula menuju ke pabrik bioetanol, dan pabrikasi etanol. Luas lahan kebun tebu yang dimiliki oleh pabrik gula di Subang adalah seluas 5000 hektar. Dari bahan baku tebu 3000 ton/hari dihasilkan molase sebanyak 60 ton/hari, sisanya menjadi gula dan ampas tebu. Pada *inventory* kali ini selain dari sisi proses juga dilakukan *inventory* pada sisi transportasi.

Kata kunci : *Life Cycle Inventory Assessment*, bioetanol, molase

**BIOETHANOL PRODUCTION PROCESS FROM SUGAR WASTEWATER
(MOLASE) AS A POTENTIAL FUEL IN LIFE CYCLE INVENTORY
PERSPECTIVE**

ABSTRACT

Life cycle inventory assessment is one of the steps in a Life Cycle Assessment (LCA) which could be used for describing the interaction of matter and energy in a process for the production of bioethanol. A case study that conducted in the sugar mills in Subang region and bioethanol plant in Palimanan region which is the largest sugar mill and ethanol in West Java Province. Inventory conducted to sugarcane plantation, a sugar manufacturing, transportation from the factory of sugar to ethanol plant and process of ethanol manufacturing. The area that are covered by sugarcane plantation owned by a sugar factory in Subang is approximately 5000 hectares. From raw material of sugarcane is 3000 tons / day and molasses that are produced is 60 tons / day, and the rest are being sugar and bagasse. Additional information for this inventory was done on the transportation side.

Keyword : Life Cycle Inventory Assessment, bioethanol, molases

PENDAHULUAN

Beberapa jenis tanaman budidaya seperti jagung, gandum, gula bit, singkong, sorgum manis, dan tebu telah umum dimanfaatkan dalam produksi bioetanol. Pemanfaatan tanaman ini secara langsung untuk pembuatan bioetanol dikategorikan sebagai bioetanol generasi pertama. Pembuatan bioetanol generasi kedua memanfaatkan biomassa berupa residu non pangan seperti sampah kebun, limbah kayu, tongkol jagung, jerami dan tandan kosong kelapa sawit. Pada *Life Cycle Inventory* (LCI) kali ini akan difokuskan pada proses produksi bioetanol yang berasal dari limbah tebu (molase) yang dapat dikategorikan bioetanol generasi kedua karena memanfaatkan limbah dan bukan berasal langsung dari tanaman.

Meningkatnya produksi gula tebu di Indonesia sekitar sepuluh tahun terakhir ini, tentunya akan meningkatkan produksi molase. Molase merupakan media fermentasi yang baik, karena mengandung gula, sejumlah amino dan mineral, setelah itu molase tersebut diolah menjadi berbagai macam produk seperti gula cair dari tetes, penyedap makanan (MSG) dan pakan ternak. Molase tidak layak untuk dikonsumsi secara langsung karena di dalam molase terdapat banyak kotoran-kotoran non gula yang dapat membahayakan kesehatan.

LCI merupakan salah satu tahapan di dalam *Life cycle assessment* (LCA) yang merupakan suatu metode pengukuran dampak suatu produk tertentu terhadap ekosistem yang dilakukan dengan cara mengidentifikasi, mengukur, menganalisis dan menakar besarnya konsumsi energi dan bahan baku, emisi serta faktor-faktor lainnya yang berkaitan dengan produk sepanjang siklus hidupnya (Svoboda, 1995). LCA merupakan evaluasi dari dampak teknologi, ekonomi dan lingkungan yang relevan dari proses, produk atau sektor perekonomian sepanjang siklus hidup (Curran, 1996; Schempf, 1999). Proses LCI yang dilakukan kali ini dilakukan pada bagian perkebunan tebu, pabrikasi tebu menjadi gula, transportasi dari pabrik gula menuju ke pabrik bioetanol, dan pabrikasi etanol (*from cradle to gate*).

Perkembangan metodologi LCA dimulai pada tahun 1970an oleh US Environmental Protection Agency (EPA) yang dikenal dengan pendekatan Resource and Environmental Profile Analysis (REPA). Kebanyakan dari pendekatan REPA berkaitan dengan krisis minyak yang terjadi pada tahun 1973 (Hunt *et al*, 1992). Pada akhir 1970 an hingga awal 1980 an para pecinta lingkungan fokus pada penanganan bahan berbahaya dan beracun sehingga konsep

Tabel 1. Data Peningkatan Produksi Molase Secara Nasional (BPS, 2006)

Tahun	Kuantitas (Kg)	Persentase
1997	1.267.990.000	14,06
1998	1.415.115.971	15,07
2000	1.536.200.007	17,04
2001	1.829.745.972	20,30
2002	2.966.023.440	32,90

LCA dikaitkan dengan metode mengenai analisis resiko (Stilwell *et al*, 1991). Ketika limbah padat menjadi fokus pada akhir 1980an LCA dilengkapi dengan analisa mengenai masalah limbah padat untuk keperluan Council for Solid Waste Solutions (CSWS, 1990).

Pemanfaatan bioetanol sebagai bahan bakar bukan merupakan hal baru dan telah diterapkan di banyak negara. Keberlanjutan bahan bakar bioetanol generasi pertama ini masih diperdebatkan karena membutuhkan sumber daya lahan, air dan energi. Manfaat penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar, antara lain mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, mengurangi efek rumah kaca, dan sebagai diversifikasi energi.

Bioetanol di Indonesia diperoleh dari ubi kayu, ubi jalar, sagu, tebu dan jagung. Pemanfaatan bioetanol sebagai bahan bakar alternatif pengganti BBM ini mengacu Keputusan Dirjen Migas No. 23204.K/10/DJM.S/2008, tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Nabati (Biofuel) jenis Bioetanol sebagai Bahan Bakar lain yang dipasarkan di Dalam Negeri, serta mengacu SNI 7390:2008. Spesifikasi dan standar mutu BBM diatur dalam Keputusan Dirjen Migas No. 3674K/24/DJM/2006 (Kussuyani, 2009).

Keunggulan menerapkan LCI yang merupakan bagian dari LCA, yaitu membantu untuk lebih mengerti dampak lingkungan dari keseluruhan operasinya, barang dan jasa, dan kemudian digunakan untuk mengidentifikasi peluang bagi perbaikan sehingga dapat mengkuantifikasi potensi. Beberapa manfaat dan keunggulan LCA, antara lain :

- Pengambilan keputusan yang lebih baik tentang pemilihan produk dan sistem produksi.
- Sistematis memperkirakan konsekuensi lingkungan dan menganalisis pertukaran yang

terjadi terhadap lingkungan dan terkait dengan produk yang diperiksa atau diproses.

- Untuk mengidentifikasi dampak utama terhadap lingkungan dan tahap-tahap daur hidup produk.
- Perbaikan produk : LCA dapat mengidentifikasi pilihan biaya paling efisien dan efektif bagi pengurangan dampak lingkungan dari produk atau jasa. Perbaikan semacam itu dapat membuat produk lebih diinginkan oleh konsumen. Menyediakan langkah-langkah perbaikan yang berbasis lingkungan.
- Perbaikan proses. LCA dapat digunakan untuk menangani operasi dan proses produksi perusahaan. Ini adalah cara yang berguna untuk menghitung sumberdaya dan penggunaan energi. Ini dapat menawarkan pilihan bagi perbaikan efisiensi seperti menghindari pengolahan limbah, penggunaan sumberdaya lebih sedikit, dan memperbaiki kualitas perakitan.
- Memberikan solusi atas informasi yang keliru.
- Perencanaan strategis. LCA dapat digunakan sebagai perencanaan strategis. Begitu peraturan lingkungan dan harapan lingkungan meningkat, terdapat kecenderungan peningkatan tekanan bagi perusahaan untuk memperbaiki operasi lingkungan mereka. Kinerja lingkungan juga cenderung menjadi lebih kritis bagi daya kompetisi internasional. Adapun kelemahan LCA antara lain :
 - Studi LCA cukup mahal secara ekonomi, karena prosedur LCA yang sangat intensif dan memakan waktu.

METODOLOGI

Metodologi LCA menurut International Standart of Organization (ISO)-14040, dibagi menjadi 4 tahapan : tujuan dan cakupan (ISO 14040), analisis inventori (ISO 14041), penakaran dampak (ISO 14042), interpretasi dan analisa perbaikan (ISO 14043). Dalam LCI kali ini menggunakan ISO 14041. Basis perhitungan untuk normalisasi satuannya menggunakan kapasitas produksi masing-masing ruang lingkup.

seluas 5000 ha. Tebu dipanen setiap 12 bulan sekali dan dalam setiap hari tebu yang dibutuhkan untuk proses produksi gula sebanyak 3000 ton / hari.

Proses pengangkutan tebu dari perkebunan tebu ke pabrik gula menggunakan truk dengan jarak 3 km. Bahan bakar yang digunakan truk yaitu solar dengan kapasitas tangki 80 liter. Kapasitas truk pengangkut tebu adalah 200 ton sehingga dalam sehari solar yang dibutuhkan adalah 30 liter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

LCI terbagi menjadi tiga tahap yaitu mulai dari perkebunan tebu, pabrikasi gula, dan pabrikasi bioetanol. Seluruh bagian LCI meliputi bagian proses beserta transportasinya.

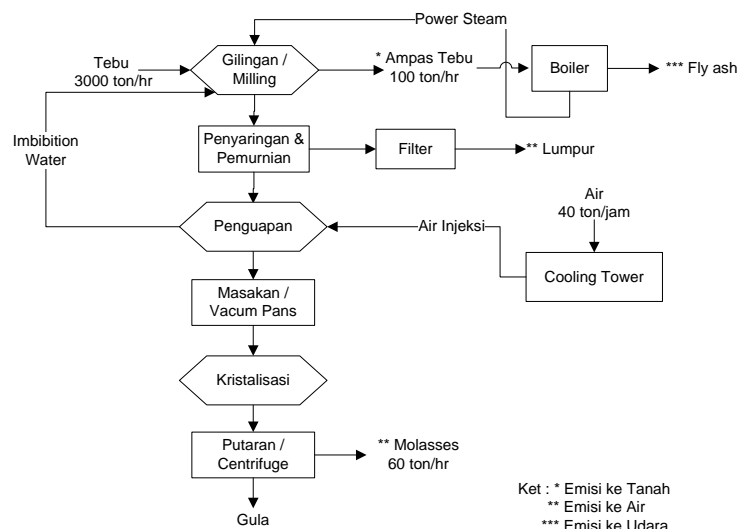
Tebu sebagai bahan baku utama di proses sampai menghasilkan produk akhir berupa kristal gula. Selain menghasilkan produk gula, tebu menghasilkan produk sampingan berupa tetes (molase). Molase dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol.

Luas lahan perkebunan tebu yang dimiliki oleh pabrik gula Subang adalah

Tabel 2 Perhitungan Beban Pencemar Transportasi dari Perkebunan Tebu ke Pabrik Gula (Studi Kasus Pabrik Gula Subang)

Jenis Kendaraan	Liter/hari			
	CO	CO ₂	NO _x	SO ₂
Truk	$6,05 \times 10^{-4}$	0,14	$7,2 \times 10^{-5}$	$8,9 \times 10^{-7}$

(Sumber: Perhitungan, Modifikasi dari Samhan, 2012)



Gambar 1 Proses Industri Gula (Pabrik Gula di Subang, Jawa Barat)

Tabel 3 Perhitungan Beban Pencemar Transportasi Molase dari Industri Gula menuju Pabrik Bioetanol

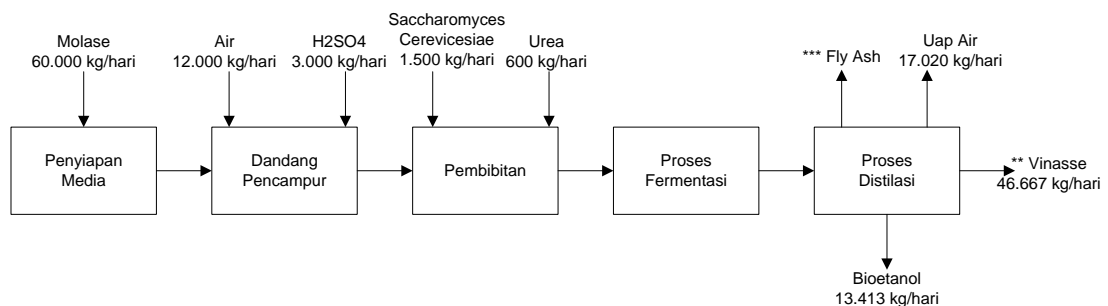
Jenis Kendaraan	ton/tahun						
	CO	CO ₂	HC	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO _x	SO ₂
Truk	0,37	138,94	0,079	0,061	$1,97 \times 10^{-3}$	0,78	0,036

(Sumber Perhitungan, Modifikasi dari Samhan, 2012)

Bahan baku utama untuk membuat gula yaitu tebu, dimana tebu menghasilkan limbah yang dapat dimanfaatkan yaitu molase. Molase dapat dimanfaatkan menjadi bioetanol. Molase yang dihasilkan dari proses produksi gula di PG. X, Subang sebanyak 60 ton/hari atau 41.379 L/hari. Selain molase limbah yang dapat dimanfaatkan dari sisa proses produksi gula yaitu ampas tebu. Ampas tebu di PG. X, Subang dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk boiler. Dalam sehari ampas tebu yang diperlukan untuk kebutuhan boiler sebanyak 800.000 L/hari.

Pada proses di pabrik bioetanol, molase diencerkan terlebih dahulu dengan air sebanyak 12.000 kg/hari, karena kadar gula dalam molase masih terlalu tinggi untuk menuju proses fermentasi. Setelah molase encer, lalu dimasukkan kedalam dandang pencampur dengan ditambahkan H₂SO₄ sebanyak 3.000 liter yang bertujuan agar pH mendekati netral. Sebelum

memasuki proses fermentasi, dilakukan pembibitan dengan menggunakan ragi yaitu *saccharomyces cerevicesiae* sebanyak 1.500 kg/hr yang berfungsi untuk merubah gula menjadi etanol dan ditambahkan urea sebagai nutrisi bagi *saccharomyces cerevicesiae*, banyaknya urea yang ditambahkan yaitu 1% dari molase yang akan difermentasi yaitu 600 kg/hari. Lalu cairan dari dandang pencampur dialirkan kedalam pembibitan dan dilakukan proses fermentasi. Proses fermentasi diakhiri dengan adanya gelembung-gelembung udara, setelah itu dilakukan proses distilasi yang berfungsi agar etanol yang diinginkan sesuai standar perusahaan yaitu 98% dan pada proses distilasi terjadi penguapan yang menghasilkan uap air sebanyak 17.020 kg/hari. Dari hasil inventarisasi maka dibuatlah sebuah result profile from cradle to gate dari perkebunan tebu hingga industri bioetanol.



Gambar 2 Proses Produksi Bioetanol (Sumber : Pabrik Bioetanol di Palimanan)

Tabel 4 Result Profile Life Cycle Inventory (LCI) untuk Proses Produksi Bioetanol Berbahan Baku Molase

1.Transportasi dari Perkebunan ke Pabrik Gula	Data	Satuan	Equivalent Value (indeks)
Inflow			
Solar	409	Liter	
Outflow			
CO	5,52	ton/tahun	
CO ₂	2.084	ton/tahun	
HC	1,18	ton/tahun	
PM ₁₀	0,92	ton/tahun	
PM _{2,5}	0,029	ton/tahun	
NO _x	11,63	ton/tahun	
SO ₂	0,54	ton/tahun	
2. Pabrikasi Gula	Data	Satuan	Equivalent Value (indeks)
Inflow			
Tebu	3.000.000	kg/hari	50
Air	960.000	kg/hari	16
Ca(OH) ₂	$4,45 \times 10^{-4}$	kg/hari	$7,42 \times 10^{-9}$
SO ₂	2×10^{-6}	kg/hari	$3,33 \times 10^{-11}$
Outflow			
Gula	200.000	kg/hari	3,33
Molase	60.000	kg/hari	1
Sludge	1.275.000	kg/hari	21,25
Uap air	325.000	kg/hari	5,4
Air imbibisi	570.000	kg/hari	9,5
Ampas tebu	1.530.000	kg/hari	25,5
3. Energi di Pabrikasi Gula	Data	Satuan	Equivalent Value (indeks)
Inflow			
Ampas tebu	1.530.000	kg/hari	25,5
Outflow			
Heat	1.530.000	kg/hari	25,5
NH ₃	$5,04 \times 10^{-8}$	kg/hari	$8,4 \times 10^{-13}$
NO ₂	$2,88 \times 10^{-8}$	kg/hari	$4,8 \times 10^{-13}$
SO ₂	$2,77 \times 10^{-6}$	kg/hari	$4,6 \times 10^{-11}$
H ₂ S	$5,97 \times 10^{-8}$	kg/hari	1×10^{-12}
CO	0,0216	kg/hari	$3,6 \times 10^{-7}$
TSP	$7,56 \times 10^{-4}$	kg/hari	$1,3 \times 10^{-8}$
4. Transportasi Molase dari Pabrik Gula ke Pabrik Bioetanol	Data	Satuan	Equivalent Value (indeks)
Inflow			
Solar	409	liter	
Outflow			
CO	5,52	ton/tahun	

CO ₂	2.084	ton/tahun	
HC	1,18	ton/tahun	
PM ₁₀	0,92	ton/tahun	
PM _{2,5}	0,029	ton/tahun	
NO _x	11,63	ton/tahun	
SO ₂	0,54	ton/tahun	
5. Pabrikasi Bioetanol	Data	Satuan	Equivalent Value (indeks)
Inflow			
Molase	60.000	kg/hari	4
Air	12.000	kg/hari	0,9
H ₂ SO ₄	3.000	kg/hari	0,22
Saccharomycess cervicesiae	1.500	kg/hari	0,11
Urea	600	kg/hari	0,045
Outflow			
Bioethanol	13.413	kg/hari	1
Vinasse	46.667	kg/hari	3,48
Uap air	17.020	kg/hari	1,27
6. Energi di Pabrikasi Bioetanol	Data	Satuan	Equivalent Value (indeks)
Inflow			
Gas	5,4	kg/hari	0,000403
Solar	64	kg/hari	0,005
Kayu	30.000	kg/hari	2,23
Outflow			
Heat	30.069,4	kg/hari	2,24
NH ₃	1,37x10 ⁻⁶	kg/hari	4,34x10 ⁻¹⁰
NO ₂	1,41x10 ⁻⁵	kg/hari	4,47x10 ⁻⁹
SO ₂	2,95x10 ⁻⁴	kg/hari	9,35x10 ⁻⁸
H ₂ S	3,024x10 ⁻⁸	kg/hari	9,58x10 ⁻¹²
CO	1,73x10 ⁻⁹	kg/hari	5,48x10 ⁻¹³
TSP	0,48	kg/hari	1,52x10 ⁻⁴
Pb	1,58x10 ⁻¹⁰	kg/hari	5,01x10 ⁻¹⁴
O ₃	3x10 ⁻¹³	kg/hari	9,51x10 ⁻¹⁷

(Sumber: Perhitungan dan Hasil Pengukuran oleh Pabrik Gula di Subang dan Pabrik Bioetanol di Palimanan, 2012)

KESIMPULAN

Dari hasil LCI didapatkan berbagai komponen yang berdampak pada lingkungan dan keseluruhan komponen bahan yang terlibat di dalam daur hidup dari produk bioetanol. Perlu adanya studi kasus dalam ruang lingkup yang lebih luas agar hasil *result profile* bisa lebih mewakili.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Fitria Isti Haula (ITENAS) dan Mahyar Ependi (BTL P2K LIPI Bandung), Pabrik Bioetanol di Palimanan, Pabrik Gula di Subang.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonnymous, 2008. *Potensi Pemanfaatan Bioetanol di Indonesia*, <http://www.pertamina.com/index.php/detail/read/pertamax> (29 September 2011)
- BPS. Data Impor Indonesia. Badan Pusat Statistik. (2006)
- Council for Solid Waste Solutions. "Resource and Environmental Profile Analysis of Polyethylene and Unbleached Paper Grocery Sacks." CSWS (800-243-5790), Washington DC, June 1990
- Curran, Mary Ann. *Environmental Life-Cycle Assessment*. McGraw-Hill, New York. (1996)
- Hunt, R., Sellers, J. and Franklin, W. "Resource and Environmental Profile Analysis : A Life Cycle Environment for Products and Procedures". *Environmental Impact Assessment*, Spring. (1992)
- Kussuyani, Y., Anwar, C. Aplikasi SNI 7390:2008. *Analisis Bioetanol dan Campurannya dengan Bensin*. LEMIGAS. Jakarta. (2009)
- Samhan, Hasbi. Kontribusi Sektor Transportasi Terhadap Pencemaran Kota Bandung. *Skripsi*. Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi. Bandung. (2012)
- Schempf, Noellete Conway. "Case Study: Economic Input-Output Life-Cycle Assessment of Asphalt versus Steel Reinforced Concrete for Pavement Construction". Posner Hall. Carnegie Mellon University, Pittsburgh. (1999)
- Stilwell, J., Canty, R., Kopf, P. and Montrone, A. *Packaging for the Environment*. New York : American Management Association. (1991)
- Svoboda, Susan. *Note on Life Cycle Analysis*. CEMP University of Michigan. (1995)