



## Simulasi *Life Cycle Assessment* (LCA) Proses Produksi Gula di Brazil dengan OpenLCA

Alfian Hayu Sudibya<sup>1</sup>, Titi Tiara Anasstasia<sup>2</sup>, Muhammad Mufti Azis<sup>1\*</sup>, dan Sarto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Chemical Engineering Department, Faculty of Engineering, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika 2, Yogyakarta 55284

<sup>2</sup>Environmental Engineering Department, Faculty of Mineral Technology, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran", Yogyakarta, Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatur, Yogyakarta 55283

\*E-mail : [muhammad.azis@ugm.ac.id](mailto:muhammad.azis@ugm.ac.id)

### Abstract

Sugar is one of the most important agricultural commodities for mankind. Brazil is one of the largest sugar cane producers in the world, so dosing environmental impacts on the sugar production process in Brazil can be a reference for other countries. In addition to increasing environmental awareness, the sugar industry must also use environmentally friendly and sustainable processes. The Life Cycle Assessment (LCA) is one of the most important methods for measuring the environmental impact of a process. The aim of this study is to measure the environmental impact of the sugar production process in Brazil. LCA simulations are carried out with the OpenLCA software, which is equipped with an ecoinvent database. The scope of the life cycle assessment simulation includes the planting of sugar cane in the process of sugar production (cradle to gate). The results of the environmental impact assessment show the value of the global warming potential (GWP) of 304.73 kg CO<sub>2</sub> equivalent per ton of sugar products. From this value, the biggest contribution to the GWP is the sugar milling process, which is 1544 kg CO<sub>2</sub> equivalent per ton of sugar products. The plantation sector now contributes -2681 kg CO<sub>2</sub> per ton of sugar products, as it plays a role in absorbing CO<sub>2</sub> in the environment for sugar cane growth.

**Keywords:** Life Cycle Assessment, environment, sugar factory, GWP

### Pendahuluan

Gula adalah salah satu komoditi pertanian yang penting dalam kehidupan manusia. Permintaan gula semakin meningkat seiring dengan peningkatan jumlah populasi penduduk dunia. Sekitar 80% persen produksi gula berasal dari bahan dasar tebu. Brazil merupakan salah satu penghasil gula tebu terbesar di dunia, dengan jumlah produksi gula tebu sekitar 34 juta ton pada tahun 2018 (OECD/FAO, 2019). Hasil samping produksi gula berupa *bagasse* biasanya digunakan sebagai sumber energi bagi proses penggilingan gula. Selain itu, produsen gula biasanya juga memproduksi *ethanol* dari hasil samping produksi gula. Saat ini, Amerika dan Brazil adalah produsen *ethanol* terbesar di dunia. Seiring dengan semakin meningkatnya kesadaran terhadap lingkungan, maka kinerja industri di Brazil juga dituntut untuk berkembang menjadi lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

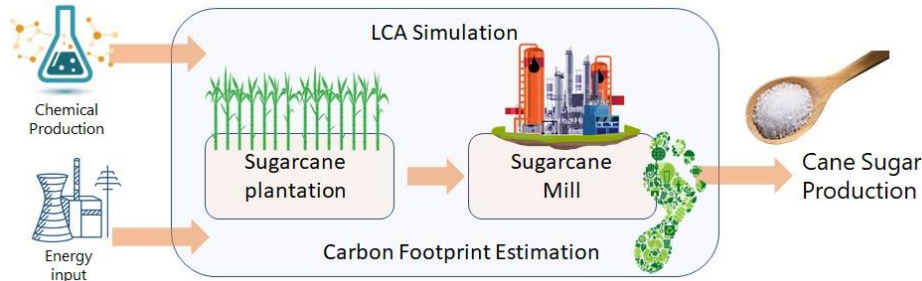
*Life Cycle Assessment* (LCA) merupakan metode penakaran dampak lingkungan dari sebuah proses produksi (Baumann dan Tillman, 2014). Simulasi LCA dapat digunakan untuk memperbaiki proses produksi. Berdasar ISO 14040, metode LCA memiliki alur utama yaitu, *goal and scope definition*, *inventory analysis*, *impact analysis*, dan *interpretation*. Melalui studi LCA diharapkan dapat diperoleh gambaran yang lebih komperhensif tentang dampak lingkungan dari proses produksi gula tebu di Brazil dan dapat dijadikan rujukan bagi sektor industri gula di negara lain. Beberapa penelitian LCA produksi gula tebu telah dilaporkan di literatur. Chauhan dkk., tentang simulasi LCA gula di beberapa negara antara lain LCA gula di Afrika Selatan dengan nilai Global Warming Potential (GWP) sebesar 196 kg CO<sub>2</sub> eq /ton gula dan Mauritius sebesar 160 kg CO<sub>2</sub> eq /ton (Chauhan, 2011)

Tujuan dari penelitian ini adalah menghitung dampak GWP dari industri gula di Brazil. Hasil simulasi LCA ini diharapkan dapat memberi manfaat pemerintah dan pelaku usaha di sektor pertanian untuk memperoleh gambaran mengenai penerapan LCA di sektor pertanian. Selain itu, hasil simulasi ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi LCA industri gula nasional. Dengan mengetahui *hotspot* atau titik yang paling berdampak pada lingkungan, maka kita bisa tahu metode perbaikan apa yang paling tepat untuk digunakan pada proses tersebut. Pada akhirnya dari studi LCA kita akan belajar bahwa setiap aktivitas manusia akan selalu saling berkaitan. Sudah seharusnya bagi kita untuk menyadari dan memilih aktivitas yang akan kita lakukan berlandaskan kesadaran terhadap lingkungan.



### Penentuan *Goal and Scope*

*Goal and Scope* adalah tahap pertama dari studi LCA. Pada tahap ini tujuan dan ruang lingkup penelitian harus ditentukan dengan jelas. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui dampak lingkungan dari proses pembuatan gula dari tebu di Brazil. Dampak lingkungan yang ditakar secara khusus dalam penelitian ini adalah *Global Warming Potential* (GWP). Ruang lingkup atau *scope* perlu dibatasi agar dalam melakukan studi tidak terlalu lebar dan waktu yang digunakan lebih efektif. *Scope* dari penelitian ini meliputi proses penanaman tebu, pengangkutan tebu ke pabrik gula, produksi energi untuk industri gula, dan proses penggilingan tebu sampai menghasilkan gula (*cradle to gate*). Untuk memperjelas proses penghimpunan data maka perlu dibuat flow diagram dari sistem yang dikaji. Gambar 1 menunjukkan ruang lingkup simulasi LCA yang digunakan pada penelitian ini. *Functional unit* yang digunakan dalam penelitian ini adalah produksi 1 ton gula tebu.



**Gambar 1.** Ruang lingkup proses pembuatan gula di Brazil.

### Life Cycle Inventory

*Inventory analysis* merupakan salah satu tahapan utama dalam studi LCA. Tahap ini memakan waktu dan energi paling banyak dalam studi LCA. Pada fase ini, seluruh data yang terkait dengan aliran massa dan energi yang sesuai dengan ruang lingkup dikumpulkan. Pada studi ini data *inventory analysis* diperoleh dari *database ecoinvent*. Dari *database* tersebut selanjutnya dikenakan *cut off* 10%. Semakin nilai *cut off* mendekati 0 %, maka proses yang dikaji pun semakin rinci. Sedangkan apabila nilai *cut off* mendekati 100 % maka proses yang dikaji hanya proses-proses paling berpengaruh saja.

Tabel 1 menunjukkan data input dari keseluruhan proses yang dipelajari. Dari sini terlihat bahwa sistem ini menerima tebu sekitar 7,07 kg tiap 1 kg produk gula. Selain itu, proses ini juga membutuhkan air sebesar 7,5 kg tiap 1 kg produk gula. Bahan pendukung untuk proses ini salah satunya adalah *lime* (kapur tohor) sebesar 0,16 kg/kg gula. Selanjutnya pada Tabel 2 menunjukan data *output* dari seluruh sistem yang ditinjau. Seperti yang tersaji dalam *output*, proses pembuatan gula ini juga menghasilkan berbagai macam emisi tiap 1 kg produk gula antara lain, *nitrogen oxides* sekitar 0,0011 kg, air sebesar 0,0062 kg dan berbagai emisi lainnya.

**Tabel 1.** Data *Inventory Analysis* yang Memuat Input untuk Produksi Gula di Brazil.

No	Aliran arus	Jumlah	Unit
1	<i>ammonia, liquid</i>	1,03E-07	kg
2	<i>ammonium sulfate, as N</i>	5,63E-04	kg
3	<i>bagasse, from sugarcane</i>	-1,35E-01	kg
4	<i>Carbon dioxide, in air</i>	1,80E-01	kg
5	<i>chemical, inorganic</i>	7,37E-04	kg
6	<i>chemical, organic</i>	5,84E-04	kg
7	<i>chlorine, gaseous</i>	4,10E-06	kg
8	<i>coke</i>	1,38E-02	MJ
9	<i>ethanol fermentation plant</i>	2,68E-11	Item(s)
10	<i>heat and power co-generation unit, 6400kW thermal, building</i>	3,01E-09	Item(s)
11	<i>heat and power co-generation unit, 6400kW thermal, common components for heat+electricity</i>	1,21E-08	Item(s)
12	<i>heat and power co-generation unit, 6400kW thermal, components for electricity only</i>	1,21E-08	Item(s)
13	<i>lime</i>	0,167391076	kg



No	Aliran arus	Jumlah	Unit
14	<i>lubricating oil</i>	1,36E-04	kg
15	<i>municipal solid waste</i>	-4,10E-05	kg
16	<i>nitrogen fertiliser, as N</i>	8,45E-04	kg
17	<i>soda ash, light, crystalline, heptahydrate</i>	0,001904336	kg
18	<i>sodium chloride, powder</i>	5,13E-05	kg
19	<i>sugar refinery</i>	8,65E-11	Item(s)
20	<i>sugarcane</i>	7,076949036	kg
21	<i>sulfur dioxide, liquid</i>	0,002653856	kg
22	<i>sulfuric acid</i>	0,003924381	kg
23	<i>tap water</i>	7,594981705	kg
24	<i>vinasse, from fermentation of sugarcane molasses</i>	-0,663895666	kg
25	<i>waste mineral oil</i>	-4,10E-05	kg
26	<i>wastewater, average</i>	-9,84E-06	m3
27	<i>water, decarbonised, at user</i>	0,00983979	kg
28	<i>wood ash mixture, pure</i>	-0,006614187	kg

**Tabel 2.** Data *Inventory Analysis* yang Memuat *Output* untuk Produksi Gula di Brazil.

No	Aliran arus	Jumlah	Unit
1	<i>Acetaldehyde</i>	7,63E-07	kg
2	<i>Ammonia</i>	2,18E-05	kg
3	<i>Arsenic</i>	1,25E-08	kg
4	<i>Benzene</i>	1,02E-05	kg
5	<i>Benzene, ethyl-</i>	3,36E-07	kg
6	<i>Benzene, hexachloro-</i>	8,07E-14	kg
7	<i>Benzo(a)pyrene</i>	5,61E-09	kg
8	<i>Bromine</i>	7,50E-07	kg
9	<i>Cadmium</i>	8,75E-09	kg
10	<i>Calcium</i>	7,31E-05	kg
11	<i>Carbon dioxide, biogenic</i>	1,715382	kg
12	<i>Carbon dioxide, fossil</i>	7,37E-04	kg
13	<i>Carbon monoxide, biogenic</i>	7,85E-05	kg
14	<i>Chlorine</i>	2,25E-06	kg
15	<i>Chromium</i>	4,95E-08	kg
16	<i>Chromium VI</i>	5,00E-10	kg
17	<i>Copper</i>	2,75E-07	kg
18	<i>Dinitrogen monoxide</i>	2,88E-05	kg
19	<i>Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin</i>	3,48E-13	kg
20	<i>Fluorine</i>	6,25E-07	kg
21	<i>Formaldehyde</i>	1,46E-06	kg
22	<i>Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified</i>	1,02E-05	kg
23	<i>Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated</i>	3,48E-05	kg
24	<i>Lead</i>	3,11E-07	kg
25	<i>m-Xylene</i>	1,35E-06	kg
26	<i>Magnesium</i>	4,51E-06	kg
27	<i>Manganese</i>	2,14E-06	kg
28	<i>Mercury</i>	3,75E-09	kg





No.	Aliran arus	Jumlah	Unit
29	<i>Methane, biogenic</i>	4,87E-06	kg
30	<i>Nickel</i>	7,50E-08	kg
31	<i>Nitrogen oxides</i>	0,0011	kg
32	<i>NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin</i>	6,84E-06	kg
33	<i>PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons</i>	1,23E-07	kg
34	<i>Particulates, &lt; 2.5 um</i>	5,03E-04	kg
35	<i>Phenol, pentachloro-</i>	9,08E-11	kg
36	<i>Phosphorus</i>	3,75E-06	kg
37	<i>Potassium</i>	2,93E-04	kg
38	<i>Sodium</i>	1,63E-05	kg
39	<i>sugar, from sugarcane</i>	1	kg
40	<i>Sulfur dioxide</i>	3,11E-05	kg
41	<i>Toluene</i>	3,36E-06	kg
42	<i>Water</i>	0,006297	kg
43	<i>Water</i>	0,007599	m <sup>3</sup>
44	<i>Zinc</i>	3,75E-06	kg

### Life Cycle Impact Assessment

Simulasi LCA dijalankan dalam OpenLCA yang diperoleh dari laman *website GreenDelta* ([www.openlca.org](http://www.openlca.org)). Proses penakaran dampak lingkungan dihitung dengan menggunakan metode CML *baseline*. Dari berbagai hasil yang diperoleh dari penelitian ini hanya GWP saja yang ditampilkan. Gas emisi dari pabrik gula seperti, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, NO<sub>x</sub> adalah emisi yang berdampak pada GWP. Karakterisasi yang digunakan mengacu pada standar dunia pada tahun 2000.

Selanjutnya tiap-tiap gas emisi tersebut dihitung berdasarkan faktor ekuivalensinya. Untuk kategori potensi pemanasan global (GWP) faktor ekuivalensi yang digunakan adalah CO<sub>2</sub>-ekuivalen (Guinée dkk., 2001). Simulasi LCA dalam penelitian ini GWP total menunjukkan hasil yang positif, yaitu sebesar 304,73 kg CO<sub>2</sub> eq per 1 ton produksi gula (Tabel 3).

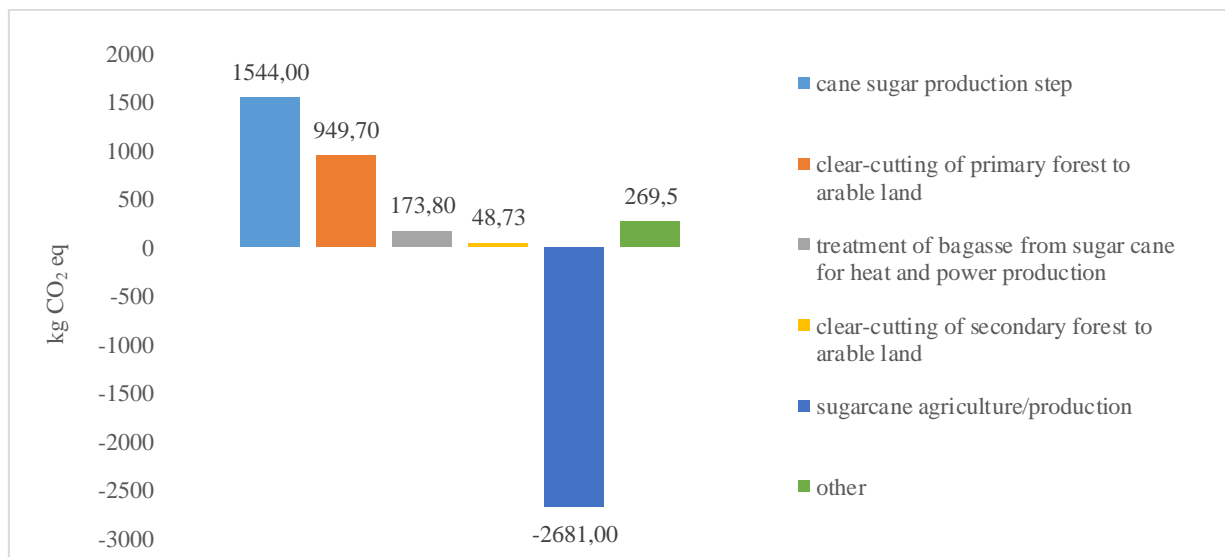
### Interpretasi

Interpretasi penelitian ini menggunakan metode analisis kontribusi. Analisis kontribusi menyajikan dampak lingkungan dari setiap proses, sehingga dapat diketahui proses mana yang menghasilkan dampak paling besar. Dari situ perusahaan atau pemerintah bisa mengambil langkah yang lebih tepat untuk perbaikan di masa yang akan datang. Tabel 3 dan Gambar 2 menunjukkan kontribusi setiap proses pada GWP dari produksi gula di Brazil. Kontribusi terbesar adalah proses produksi gula yaitu menghasilkan GWP sebesar 1544 CO<sub>2</sub> eq. Namun demikian, proses penanaman tebu (*sugarcane production*) ini memberikan dampak GWP yang negatif sebesar -2681. Hasil negatif tersebut diperoleh karena tanaman tebu menyerap CO<sub>2</sub> dalam pertumbuhannya. Dengan demikian, diperoleh nilai GWP sebesar 304,73 kg CO<sub>2</sub> eq per ton produk gula.

**Tabel 3.** Data kontribusi dampak lingkungan dari produksi gula di Brazil

<i>GWP contributors</i>	<i>kg CO<sub>2</sub> eq.</i>
<i>cane sugar production step</i>	1544
<i>clear-cutting of primary forest to arable land</i>	949,7
<i>treatment of bagasse from sugar cane for heat and power production</i>	173,8
<i>clear-cutting of secondary forest to arable land</i>	48,732
<i>sugarcane agriculture/production</i>	-2681
<i>other</i>	269,5
Total GWP	304,73





**Gambar 2.** Grafik kontribusi dampak lingkungan dari produksi gula di Brazil

Nilai GWP yang diperoleh dalam penelitian ini dapat dibandingkan dengan studi LCA produksi gula tebu di negara lain seperti Afrika Selatan sebesar 196 kg CO<sub>2</sub> eq dan Mauritius sebesar 160 kg CO<sub>2</sub> eq (Chauhan, 2011). Hal ini menunjukkan bahwa produksi gula di Brazil memiliki dampak lingkungan yang lebih besar jika dibandingkan dengan kedua negara tersebut. Besar kemungkinan bahwa nilai GWP Brazil yang melebihi literatur karena besarnya emisi saat proses penggilingan gula serta proses penebangan hutan.

### Kesimpulan

Simulasi LCA proses produksi gula di Brazil dengan *software* OpenLCA telah dilakukan dalam penelitian ini. Secara keseluruhan, nilai emisi *Global Warming Potential* (GWP) proses produksi 1 ton gula tebu adalah 304,73 kg CO<sub>2</sub> eq. Kontribusi terbesar adalah proses produksi gula yaitu menghasilkan GWP sebesar 1544 CO<sub>2</sub> eq. Kontribusi terkecil adalah proses *Agriculture/Production* ini memberikan dampak GWP yang negatif sebesar -2681. Nilai emisi negatif pada proses ini disebabkan karena penyerapan CO<sub>2</sub> yang diperlukan guna mendukung pertumbuhan tebu. Nilai GWP yang diperoleh dalam penelitian ini bermanfaat sebagian nilai rujukan untuk simulasi LCA serupa di dalam negeri. Dengan demikian, industri gula dapat tumbuh menjadi sektor industri yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

### Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada Panitia Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan, Universitas Pembangunan Nasional (UPN) Veteran, Yogyakarta yang telah menerima dan menyelenggarakan kegiatan ini dengan baik.

### Daftar Pustaka

- Baumann H, Tillman AM. The hitch hiker's guide to LCA. Student Literatur. Poland:Dimograf. 2014
- Chauhan MK, Varun, Chaudhary S, Kumar S, Samar. Life cycle assessment of sugar industry: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd. 2011; 15 (7): 3445-3453
- Guinée JB, Gorrée M, Heijungs R, Huppes G, Kleijn R, Van Oers L, Sleswijk AW, Suh S, Udo de Haes HA, de Bruijn H, Van Duin R, Huijbregts MAJ. *Life cycle assessment: An operational guide to the iso standards*. kluwer academic publishers. Dordrecht (Hardbound, ISBN 1-4020-0228-9; Paperback, ISBN 1-4020-0557-1). 2001
- OECD/FAO. *OECD-FAO agricultural outlook 2019-2028* OECD Publishing. Paris/Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 2019 [https://doi.org/10.1787/agr\\_outlook-2019-en](https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2019-en).
- OpenLCA. LCA Data, 2019 <<http://www.openlca.org/lca-data/>>. (Diakses tanggal 30 Juni 2019).



## Lembar Tanya Jawab

**Moderator** : **Adi Ilcham (UPN "Veteran" Yogyakarta)**  
**Notulen** : **Heni Anggorowati (UPN "Veteran" Yogyakarta)**

1. Penanya : Adi Ilcham (UPN "Veteran" Yogyakarta)  
Pertanyaan : Bagaimana dampak lingkungan dari pabrik gula di Indonesia ?  
Jawaban : Studi LCA di Indonesia masih baru, ada wacana dari KLHK untuk memasukkan studi LCA sebagai standar *proper* pabrik – pabrik di Indonesia. Di pabrik Madukismo pernah dihitung dengan LCA dan ternyata hasilnya lebih baik dari pada yang ada di Brazil
2. Penanya : Istihanah Nurul (Balai Batik)  
Pertanyaan : Apakah metode LCA bisa digunakan untuk industri batik?  
Jawaban : Untuk studi LCA di industri batik maka harus tahu input dari produk batik itu apa saja misalnya tinta yang digunakan, bahan diambil dari mana. Semua input dimasukkan dalam software open LCA kemudian disimulasikan dan dihitung dampak lingkungannya. Misalnya dari tintanya menghasilkan dampak lingkungan seberapa.