

# Identifikasi Dampak Lingkungan dengan Metode Pendekatan *Life Cycle Assessment* Pada Proses Produksi Pabrik Gula

Erina Ketrin<sup>1</sup>, Firra Rosariawari<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya  
\*Koresponden email: erinakatrin1004@gmail.com<sup>1</sup>, firra.tl@upnjatim.ac.id<sup>2</sup>

Diterima: 3 Mei 2024

Disetujui: 3 Juni 2024

## Abstract

The purpose of this study is to determine and identify potential environmental pollution impacts through Life Cycle Inventory (LCI) at each stage of the cane sugar production process in Sidoarjo, East Java, Indonesia. This study uses the Life Cycle Assessment (LCA) approach method to determine and identify the potential environmental pollution impacts that occur during the sugar production process at PT PG. Candi Baru, and to provide recommendations for improvements that can be made by PT PG. Candi Baru to reduce and mitigate the potential environmental impacts. The LCA analysis focuses on the processing of sugar cane into sugar, and the stages of the LCA consist of several processes, namely the determination of objectives and scope, Life Cycle Inventory (LCI), Life Cycle Impact Assessment (LCIA) and interpretation. The study of the LCA method requires supporting software. The results of the Life Cycle Impact Assessment (LCIA) are expressed using CML-IA (Baseline 2000), which has 14 impact categories, but in this study will only focus on the 4 largest impact categories produced, indicating that the most significant potential impact in reducing environmental quality, especially air pollution. PG. Candi Baru produces types of air emissions in its production process, namely CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub>.

**Keywords:** *sugar production, life cycle assessment, environmental impact, SimaPro 9*

## Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan mengidentifikasi potensi dampak pencemaran lingkungan melalui *Life Cycle Inventory* (LCI) pada setiap tahapan proses produksi gula tebu di Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia. Studi ini menggunakan metode pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA), untuk mengetahui dan mengidentifikasi potensi dampak pencemaran lingkungan yang timbul selama proses produksi gula di PT. PG. Candi Baru dan memberikan rekomendasi perbaikan yang dapat dilakukan PT. PG. Candi Baru untuk mereduksi dan mengurangi potensi dampak lingkungan tersebut. Analisis LCA focus pada pengolahan tebu menjadi gula, tahapan pada LCA terdiri dari beberapa proses yaitu penentuan goal and scope, *Life Cycle Inventory* (LCI), *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA), dan *Interpretation*. Pada studi metode LCA diperlukan perangkat lunak yang mendukung. Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini adalah SimaPro 9. Pada hasil *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) akan diekspresikan menggunakan CML-IA (*Baseline* 2000) yang memiliki 14 kategori dampak, namun pada penelitian ini hanya akan fokus pada 4 kategori dampak terbesar yang dihasilkan, menunjukkan bahwa dampak potensi yang paling signifikan dalam penurunan kualitas lingkungan terutama pada pencemaran udara. PG. Candi Baru menghasilkan jenis emisi udara dalam proses produksinya, yaitu CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, dan SO<sub>2</sub>.

**Kata Kunci:** *produksi gula, life cycle assessment, dampak lingkungan, SimaPro 9*

## 1. Pendahuluan

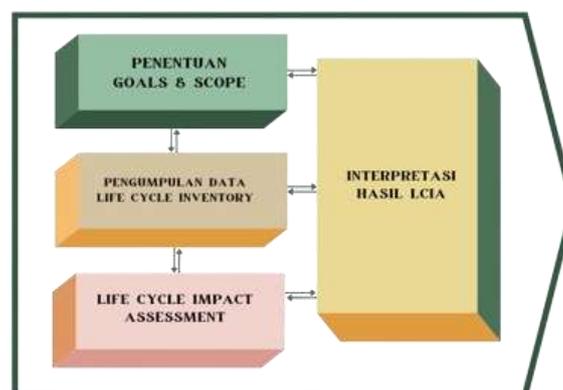
Industri pangan adalah salah satu industri terbesar di dunia. Seiring dengan perkembangan inovasi makanan dan minuman, semakin tinggi juga konsumsi gula dalam skala nasional. Produk gula dalam negeri saat ini belum mampu memenuhi kebutuhan masyarakatnya. Maka perlu peningkatan kapasitas produksi dan pembangunan industri gula sehingga kebutuhan gula dalam negeri tercukupi. [1]. Peningkatan kapasitas dan pembangunan industri berbanding lurus dengan dampak lingkungan yang ditimbulkan dari sebuah proses produksi suatu industri. Meskipun industri pangan tidak dinilai sebagai industri yang menghasilkan dampak berbahaya bagi lingkungan, tetap saja dapat menimbulkan pencemaran bagi ekosistem jika tidak memperhatikan keberlanjutan terhadap lingkungan. Emisi gas rumah kaca di Indonesia diprediksi akan naik dari 2,1 hingga 3,3 GtCO<sub>2</sub>e antara 2005 hingga 2030, dengan sumber emisi terbesar berasal dari perubahan fungsi lahan dan kehutanan, energi, kebakaran lahan gambut, sampah, pertanian dan industri [2]. Sedangkan Industri gula merupakan salah satu industri yang berpotensi sebagai penyumbang emisi GRK. Sumber emisi gas rumah kaca tersebut dapat ditimbulkan dari pembakaran tebu, solar dan listrik [3]. Permasalahan yang

terjadi mengenai dampak lingkungan dapat diukur dan diminimasi dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment*. *Life Cycle Assessment* adalah sebuah mekanisme untuk menganalisa dan memperhitungkan dampak lingkungan dari suatu produk dalam setiap tahapan daur hidupnya. Dimulai dari persiapan bahan mentah, proses produksi, penjualan dan transportasi, serta pembuangan produk [4]. LCA dapat diimplementasikan pada keseluruhan proses dan juga dapat diimplementasikan pada suatu proses tertentu atau sebagian proses. Menurut ISO 14040:2006, LCA terdiri dari empat tahapan utama, yaitu penentuan definisi dan ruang lingkup, analisis persediaan, penilaian dampak, serta interpretasi [5]. [6] LCA secara umum adalah suatu alat atau metode untuk menganalisis beban lingkungan di semua tahapan dalam siklus hidup dari produk dimulai dari ekstraksi sumber daya, melalui proses produksi bahan dan produk itu sendiri, dan penggunaan produk sampai produk itu dibuang dengan kata lain *cradle to grave*.

Setelah mengetahui seluruh emisi yang dihasilkan pada seluruh kegiatan proses, dipilihlah satu proses yang menimbulkan emisi terbesar pada LCA. Dari kegiatan pemilihan proses ini nantinya akan dilakukan suatu alternatif pada satu proses tersebut untuk mengurangi dampak tersebut. Hal ini bertujuan untuk mengetahui penanganan terbaik untuk mereduksi gas rumah kaca yang dihasilkan [7]. Untuk memperoleh alternatif yang terbaik, harus mempertimbangkan berbagai komponen dan yang termasuk dalam kriteria konsep *green supply chain* dan *cleaner production*. Maka, perlu dilakukan *Life Cycle Assessment* yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar dampak yang ditimbulkan dari adanya proses produksi gula agar dapat memberikan alternatif program perbaikan Pabrik Gula Candi Baru yang lebih ramah lingkungan sehingga dapat terciptanya lingkungan industri *zero waste*.

## 2. Metode Penelitian

Studi penelitian ini menerapkan metode pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) untuk mengetahui dan mengidentifikasi potensi dampak lingkungan yang terjadi selama proses produksi gula tebu. Data yang diobservasi berdasarkan data Perusahaan yang diambil dari PG. Candi Baru, Kab. Sidoarjo, Jawa Timur. Langkah metode penelitian LCA diawali dengan penentuan *goal and scope*, dan selanjutnya adalah melakukan identifikasi inventori pada proses produksi diantara pada stasiun Gilingan, stasiun Pemurnian, stasiun Penguapan, stasiun Masakan, stasiun puteran dan stasiun penguapan [8]. LCA akan menghitung berdasarkan *input* proses dan *output* proses dan menilai potensi dampak lingkungan yang signifikan dari LCA berdasarkan tahapan yang sesuai standard dan petunjuk ISO 14040 (ISO 2006) [9]. [10] Berdasarkan buku manual dan ISO 1404 (ISO 2006) ada 4 (empat) langkah dan tahapan dalam penerapan metode pendekatan LCA, yakni penentuan *goals* dan *scope*, *Life Cycle Inventory* (LCI), *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA), dan interpretasi.



**Gambar 2** : Tahapan Pelaksanaan LCA  
 Sumber : Analisis Penulis, 2023

### 2.1 Penentuan *Goals* dan *Scope*

Langkah pertama dalam melakukan LCA adalah penentuan *goals* dan *Scope* atau penentuan tujuan dan ruang lingkup dari studi penelitian LCA yang akan dilaksanakan [11]. Tujuan (*goals*) dari penelitian ini adalah untuk menentukan dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses produksi gula. Sedangkan ruang lingkup (*scope*) yang dianalisis bersifat *gate to gate* yaitu dimulai pada proses produksi ketika tebu memasuki stasiun persiapan dan gilingan hingga menjadi produk gula pada stasiun penyelesaian.

### 2.2 Tahap *Life Cycle Inventory* (LCI)

Pada langkah ini dibutuhkan data inventori, pengumpulan data yang digunakan adalah data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang didapatkan dari hasil pengamatan dan data kuesioner

responden pada masing-masing unit kegiatan atau stasiun proses produksi. Data sekunder merupakan data yang didapatkan dari industri Pabrik Gula Candi - Sidoarjo. Berdasarkan ISO 14040: 2006 [11]. Berikut bentuk pengumpulan data yang dibutuhkan.

**Tabel 1.** Jenis Data yang dibutuhkan

No	Jenis Data	Data	Asal Data
1	Data <i>Material Balance</i>	Data Sekunder	Data Perusahaan
2	Data jumlah bahan bakar, bahan baku, bahan kimia yang digunakan pada setiap unit produksi di setiap stasiun	Data Sekunder	Data Perusahaan
3	Data jumlah bahan bakar, bahan baku, bahan kimia yang digunakan pada setiap unit produksi di setiap stasiun	Data Sekunder	Data Perusahaan
4	Data limbah dan emisi yang ditimbulkan dari proses produksi gula di setiap stasiun	Data Sekunder	Data Perusahaan

Sumber : Analisis Penulis, 2023

### 2.3 Tahap *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)*

Pada tahapan LCIA bertujuan untuk menilai dan mengelompokkan (klasifikasi) berdasarkan besaran potensi dampak lingkungan dari perhitungan faktor karakterisasi (*factors characterization*). Pada tahapan ini dimulai dengan penentuan metode yang tepat [12]. Metode tersebut dipilih berdasarkan tujuan yaitu mencari empat kategori dampak terbesar yang dapat dilihat menggunakan penilaian normalisasi dan besaran potensi dampak yang muncul sesuai dengan kondisi lapangannya. Hasil dari tahap ini berupa *hotspot*, besaran setiap dampak (*characterization*) dan dampak terbesar (*normalization*).

### 2.4 Interpretasi

Pada tahapan ini yakni menganalisis dan mengidentifikasi penyebab dari empat potensi dampak lingkungan terbesar yang paling signifikan ditimbulkan dari proses produksi gula. Analisis penyebab dampak lingkungan dapat dilihat melewati *hotspot analysis*.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Fokus utama pada studi penelitian ini adalah menganalisa dan mengidentifikasi potensi dampak lingkungan yang paling signifikan atau terbesar pada proses produksi gula, diantaranya pada kategori dampak seperti berikut : *Acidification, Eutrophication, Photochemical Oxidation* dan *Global Warming (GWP 100a)*.

**Tabel 2.** Data *Input* dan *Output* Pada Setiap Stasiun Produksi Gula

Data	<i>Input</i>	<i>Output</i>	Satuan	Proses
<b>Material</b>				
Tebu	758,39		Kg	St. Gilingan
Air Imbibisi	217,98		Kg	St. Gilingan
Ampas		190,85	Kg	St. Gilingan
Nira Mentah	774,24		Kg	St. Gilingan
Flokulan ( <i>Accofloc A-110</i> )	0,0029		Kg	St. Pemurnian
Kapur (Gamping)	0,96		Kg	St. Pemurnian
Belerang (SO <sub>2</sub> )	0,33		Kg	St. Pemurnian
Asam Phospat	0,059		Kg	St. Pemurnian
Blotong		202,99	Kg	St. Pemurnian
Nira Encer	598,68		Kg	St. Pemurnian
Nira Encer		598,68	Kg	St. Penguapan
Uap Air	97,6		Kg	St. Penguapan
Nira Kental		501,08	Kg	St. Penguapan
Fondan	0,00096		Kg	St. Masakan
Nira Kental		501,08	Kg	St. Masakan

Data	Input	Output	Satuan	Proses
Tetes	37,47		Kg	St. Masakan
Uap Air		403,2	Kg	St. Masakan
Gula SHS	50,05		Kg	St. Masakan
Uap Air		0,025	Kg	St. Penyelesaian
Gula SHS		50	Kg	St. Penyelesaian
Abu Kering		4,45	Kg	St. Ketel
Abu Basah		15,92	Kg	St. Ketel
<b>Energi</b>				
Listrik PLN	5,239		kWh	Seluruh St.
Listrik Turbin	13,194		kWh	St. Ketel
<b>Emisi Udara</b>				
NO <sub>2</sub>		0,0102	Kg	St. Ketel
SO <sub>2</sub>		1,4005	Kg	St. Ketel

Sumber : Data Perusahaan, 2022

### 3.1 Characterization

*Characterization* adalah tahapan di mana dapat dilakukannya perbandingan nilai dampak dari setiap kategori dampak berdasarkan hasil perhitungan LCI tiap unit dengan faktor *characterization*. Data yang telah dimasukkan pada tahapan LCI akan di klasifikasikan ke dalam kategori dampak sesuai dengan metode yang digunakan.

#### 3.1.1 Acidification

*Acidification* dapat terjadi karena lepasnya gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), nitrogen (NO<sub>x</sub>) dan NH<sub>2</sub> dan sulfur (SO<sub>2</sub>) ke lingkungan yang akan menyebabkan bertambahnya kadar asam di lingkungan. Polusi seperti sulfur dioksida dan nitrogen oksida yang tinggal dalam atmosfer dan akhirnya bereaksi dengan kelembaban dalam udara akan menyebabkan hujan asam [13]. Jumlah potensi dampak lingkungan dari *acidification* akan dinyatakan dalam nilai *equivalent* KgSO<sub>4(eq)</sub>. Berdasarkan **Tabel 3** memperlihatkan bahwa selama proses produksi gula tebu per 50 Kg teridentifikasi memiliki kontribusi dampak terhadap *Acidification* dan dihasilkan jumlah total 0,68 KgSO<sub>4(eq)</sub>.

#### 3.1.2 Eutrophication

*Eutrophication* merupakan kondisi sejumlah besar nitrogen dalam beberapa polutan bahan kimia mempengaruhi ekosistem laut atau pencemaran di permukaan laut [14]. Gas yang berpotensi untuk memberikan dampak *eutrophication* adalah amonia, nitrat, nitrogen oksida, dan fosfor. Tingginya bahan kimia tersebut yang masuk ke dalam perairan dapat mendorong pertumbuhan alga yang berlebih dan mengurangi oksigen dalam air. Jumlah potensi dampak lingkungan dari *eutrophication* akan dinyatakan dalam nilai *equivalent* KgPO<sub>4<sup>3-</sup>(eq)</sub>. Berdasarkan Tabel 3 memperlihatkan bahwa selama proses produksi gula tebu per 50 Kg teridentifikasi memiliki kontribusi dampak terhadap *eutrophication* dan dihasilkan jumlah total 0,19 KgPO<sub>4<sup>3-</sup>(eq)</sub>.

#### 3.1.3 Photochemical Oxidation

*Photochemical oxidation* adalah jenis polutan udara sekunder yang terbentuk di troposfer dan disebabkan oleh adanya reaksi sulfat yang terbentuk dari pembakaran serta menciptakan bahan kimia lainnya. Potensi dampak kategori ini muncul berdasarkan jumlah karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), dan amonium. Jumlah potensi dampak lingkungan dari *Photochemical oxidation* akan dinyatakan dalam nilai *equivalent* KgC<sub>2</sub>H<sub>4(eq)</sub>. Berdasarkan Tabel 3 memperlihatkan bahwa selama proses produksi gula tebu per 50 Kg teridentifikasi memiliki kontribusi dampak terhadap *Photochemical oxidation* dan dihasilkan jumlah total 0,06 KgC<sub>2</sub>H<sub>4(eq)</sub>.

#### 3.1.4 Global Warming (GWP 100a)

*Global warming* merupakan peningkatan suhu rata-rata atmosfer, laut, dan dataran pada bumi yang menyebabkan bumi menjadi lebih panas. Proses produksi gula membutuhkan energi listrik yang besar untuk digunakan pada mesin-mesin dalam produksi. Penggunaan energi listrik yang tinggi akan membutuhkan bahan bakar fosil secara berlebih dan menjadikan penyebab utama gas rumah kaca dilepaskan ke atmosfer. Jumlah potensi dampak lingkungan dari *Global warming* akan dinyatakan dalam nilai *equivalent* KgCO<sub>2(eq)</sub>.

Berdasarkan **Tabel 4** memperlihatkan bahwa selama proses produksi gula tebu per 50 Kg teridentifikasi memiliki kontribusi dampak terhadap *Photochemical oxidation* dan dihasilkan jumlah total 14,63 KgCO<sub>2(eq)</sub>. Hasil tersebut didapatkan pada st. Gilingan sebesar 6,25 KgCO<sub>2(eq)</sub> (43%), diikuti st. penguapan sebesar 2,5 KgCO<sub>2(eq)</sub> (17%), lalu st. Ketel sebesar 2,09 KgCO<sub>2(eq)</sub> (14%), St Masakan sebesar 1,97 KgCO<sub>2(eq)</sub> (13%), diikuti st. Pemurnian sebesar 1,49 KgCO<sub>2(eq)</sub> (10%) dan paling minim pada st. Penyelesaian sebesar 0,38 KgCO<sub>2(eq)</sub> (3%)

**Tabel 3.** Jumlah Total Kategori Dampak

Dampak Kategori	Total Dampak	Satuan Dampak
<i>Acidification</i>	0,68	KgSO <sub>4(eq)</sub>
<i>Eutrophication</i>	0,19	KgPO <sub>4<sup>3-</sup>(eq)</sub>
<i>Photochemical Oxidation</i>	0,06	KgC <sub>2</sub> H <sub>4(eq)</sub>
<i>Global Warming</i>	14,63	KgCO <sub>2(eq)</sub>

Sumber : Analisa Penulis, 2023

**Tabel 4.** Potensi Kategori Dampak Pada Setiap Stasiun

Potensi Dampak	Satuan	St. Gilingan	St. Pemurnian	St. Penguapan	St. Masakan	St. Penyelesaian	St. Ketel
<i>Acidification</i>	KgSO <sub>4(eq)</sub>	0,3	-	-	-	-	0,45
<i>Eutrophication</i>	KgPO <sub>4<sup>3-</sup>(eq)</sub>	0,2	-	-	-	-	0,17
<i>Photochemical Oxidation</i>	KgC <sub>2</sub> H <sub>4(eq)</sub>	-	-	-	-	-	0,06
<i>Global Warming</i>	KgCO <sub>2(eq)</sub>	6,25	1,49	2,5	1,97	0,38	2,09

Sumber : Analisa Penulis, 2023

### 3.2 Normalization

*Normalization* adalah tahapan untuk menyeragamkan satuan dari segala kategori dampak dan mempermudah untuk melakukan perbandingan antar kategori dampak. Nilai yang ditampilkan pada hasil *normalization* atau pada tahap normalisasi untuk menginterpretasikan tentang besarnya kontribusi setiap kategori dampak dengan konversi satuan yang sama sehingga lebih mudah dalam mencari nilai potensi dampak lingkungan yang signifikan dari seluruh proses produksi.

**Tabel 5.** Hasil Normalisasi pada Kategori Dampak

Potensi Dampak Kategori	Nilai Normalisasi
<i>Acidification</i>	2,79 x 10 <sup>-12</sup>
<i>Eutrophication</i>	1,08 x 10 <sup>-12</sup>
<i>Photochemical Oxidation</i>	1,02 x 10 <sup>-12</sup>
<i>Global Warming</i>	3,16 x 10 <sup>-13</sup>

Sumber : Hasil Running Simapro 9, 2023

Berdasarkan hasil normalisasi pada kategori dampak yang telah didapatkan, dapat diartikan bahwa *acidification* termasuk kedalam potensi dampak paling signifikan dengan nilai sebesar 2,79 x 10<sup>-12</sup> dari proses produksi gula di PG. Candi Baru. Berdasarkan analisis potensi dampak menggunakan *software SimaPro*, kategori dampak *acidification* muncul akibat adanya emisi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> yakni parameter utama yang berkontribusi pada *acidification*. Emisi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> ini timbul akibat dari kegiatan proses produksi di stasiun ketel.

Pada stasiun ketel terjadi pembakaran ampas pada boiler, dimana hasil dari pembakaran tersebut menjadi penggerak dari turbin uap untuk menghasilkan listrik di PG. Candi Baru. Pembakaran ampas tebu menghasilkan emisi seperti karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), metana, dan VOC atau volatile organic compounds, emisi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> merupakan emisi yang tercatat atau terhitung akibat dari proses pembakaran ampas di PG. Candi Baru. Adanya perbedaan besarnya nilai *normalization* pada kategori dampak *acidification* dengan kategori dampak lainnya yang memiliki kontribusi emisi yang sama dapat dikarenakan adanya perbedaan nilai faktor pengali atau pembagi pada

tahapan *characterization* dan *normalization* yang menjadikan nilai *normalization* kategori dampak *acidification* menjadi lebih besar dari yang lainnya.

### 3.3 Rekomendasi Perbaikan

Kondisi *existing* pada pabrik produksi sudah melakukan beberapa tindakan untuk penanggulangan pencemaran lingkungan terutama pada pencemaran udara dan Gas Rumah Kaca. Tindakan mitigasi untuk mereduksi pencemaran udara yang dilakukan adalah dengan memasang *Dust Collector* Basah yang digunakan untuk menangkap gas sebelum dibuang ke udara melalui cerobong. Sistem ini dipilih karena dianggap paling efisien untuk menangkap debu. Cerobong asap juga dilengkapi *sampling point* analisa yang berguna untuk memonitor gas yang keluar dari cerobong. Untuk mengatasi dan mereduksi potensi dampak lingkungan yang telah dianalisa pada penelitian kali ini ada 3 skenario perbaikan yang bisa diimplementasikan kedepannya.

Alternatif yang pertama adalah dengan penambahan *Water Spons Filter* (WSF) di ujung cerobong asap pabrik, *Water Spons Filter* (WSF) merupakan alat yang digunakan untuk menurunkan kadar  $SO_2$  dengan menggunakan filter berupa spons dan dengan menambahkan air larutan berupa  $Ca(OH)_2$ . Penggunaan WSF dengan larutan  $Ca(OH)_2$  yang diletakkan di ujung cerobong di salah satu pabrik gula dapat menurunkan kadar  $SO_2$  sebesar 73,7% [15]. Penurunan kadar  $SO_2$  disebabkan oleh adanya reaksi antara  $Ca(OH)_2$  dengan  $SO_2$  yang akan menghasilkan gipsum.

Alternatif kedua adalah penggantian sistem pembangkit boiler yang menggerakkan turbin uap dengan pembangkit turbin gas. Uap yang dihasilkan ini kemudian dikeringkan sebagai umpan penggerak turbin uap, dimana turbin uap digunakan sebagai pembangkit listrik. Ampas tebu yang digunakan untuk bahan bakar turbin gas diubah terlebih dahulu menjadi *bioetanol* dengan cara fermentasi. Emisi yang dihasilkan dari etanol sekitar 48% dari solar, dimana nilai ini merupakan nilai terendah dari bahan bakar lainnya. Perubahan ampas menjadi bioethanol kemudian di gasifikasi menjadi bentuk gas untuk dicampur dengan udara bertekanan tinggi untuk diumpan ke tempat pembakaran turbin gas.

Alternatif yang ketiga adalah pergantian mesin-mesin yang sudah usia karena hal tersebut mempengaruhi besarnya hasil emisi  $CO_2$  selain itu pergantian mesin dengan *upgrade* spesifikasi juga dapat meningkatkan efisiensi proses produksi yang mana akan mereduksi penggunaan energi Listrik. Rekomendasi mesin yang akan diganti adalah pompa *massecuite* yang sebelumnya menggunakan *rotary loop pump single segment* diganti *double segment* pada stasiun puteran hal ini dapat mengurangi penggunaan energi listrik yang cukup besar yakni sekitar 15 kWh/pompa. Saat ini yang terpasang total ada 13 pompa dan jika seluruh pompa diganti dengan *double segment*, yang akan terjadi kemungkinan dapat mereduksi penggunaan listrik pada saat proses produksi per 50 kg gula yang semula membutuhkan 18,433 kWh menjadi 18,340 kWh dengan total penurunan listrik sebesar 0,092 kWh atau 0,6% dan menurunkan emisi  $CO_2$  sebesar 0,1 kg.

**Tabel 6.** Perbandingan Kondisi *Existing* dan Skenario alternatif

Keterangan	Kondisi <i>Existing</i>	Skenario Alternatif Perbaikan	Lokasi
Filter Cerobong Asap	-	Pemasangan <i>Water Spons Filter</i> di ujung cerobong asap	St. Ketel
Bahan Bakar Bioler penghasil Listrik	Penggunaan Ampas sebagai bahan bakar	Penggunaan <i>Bioethanol</i> dari ampas ( <i>Baggase</i> ) yang di fermentasi	St. Ketel
Pompa <i>massecuite</i>	Pompa <i>massecuite rotary loop pump single segment</i>	Pompa <i>massecuite rotary loop pump double segment</i>	St. Puteran

Sumber : Analisis Penulis, 2023

Setelah menentukan alternatif perbaikan untuk proses produksi dan penempatan alternatif perbaikan sesuai dengan stasiun yang membutuhkan. Kemudian, dilakukan analisa pada Simapro dengan membandingkan kondisi *existing* yang saat ini dilaksanakan pada proses produksi dan scenario alternatif perbaikan.

**Tabel 7.** Hasil Perbandingan pada scenario perbaikan

Potensi Dampak Kategori	Kondisi Existing	Alternatif Perbaikan	% Penurunan
<i>Acidification</i>	$2,79 \times 10^{-12}$	$2,09 \times 10^{-12}$	25%
<i>Eutrophication</i>	$1,08 \times 10^{-12}$	$8,11 \times 10^{-13}$	25%
<i>Photochemical Oxidation</i>	$1,02 \times 10^{-12}$	$6,65 \times 10^{-13}$	25%
<i>Global Warming</i>	$3,16 \times 10^{-13}$	$3,11 \times 10^{-13}$	2%

Sumber : Hasil Running *Simapro 9*.

pada hasil nilai kategori PG Candi Baru yang diskenarioikan menggunakan alternatif terlihat terdapat penurunan nilai kategori pada setiap kategori dampak.

#### 4. Kesimpulan

Hasil LCA menunjukkan bahwa terdapat potensi dampak penurunan kualitas lingkungan pada saat proses produksi gula tebu. Hal tersebut dapat terlihat bahwa kontribusi terbesar adanya potensi dampak pada stasiun gilingan dan stasiun ketel dengan potensi dampak paling signifikan terhadap *Acidification*, *eutrophication*, *Photochemical Oxidation* dan *global warming*. Perlunya rekomendasi alternatif perbaikan untuk mitigasi membesarkan dan meningkatnya potensi dampak penurunan kualitas lingkungan terutama pada pencemaran udara.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada para dosen Teknik Lingkungan UPN “Veteran” Jawa Timur yang telah memberikan arahan dan masukan dalam penelitian ini.

#### 6. Singkatan

LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
LCI	<i>Life Cycle Inventory</i>
LCIA	<i>Life Cycle Impact Assessment</i>

#### 7. Referensi

- [1] Badan Pusat Statistik. Pertanian, Perikanan dan Perhutanan. Impor Gula Menurut Negara Asal Utama 2017-2023.
- [2] Siregar, K., Tambunan, A. H., Irwanto, A. K., Wirawan, S. S., Araki, T., Chaerul, M., Allia, V., Putri, H. P., & Lingkungan, D. T. (2019). Life Cycle Assessment (Lca) Emisi Pada Proses Produksi Bahan Bakar Minyak (Bbm) Jenis Bensin Deng. *Jurnal Serambi Engineering*, 65(1), 816–823. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.01.054>.
- [3] Sirait, M. (2020). Studi Life Cycle Assessment Produksi Gula Tebu : Studi Kasus di Jawa Timur. *Rekayasa*, 13(2), 197–204.
- [4] Hamonangan, S. P., Handayani, N. U., & Bakhtiar, A. (2017). Evaluasi Dampak Proses Produksi Dan Pengolahan Limbah Minuman Isotonik Mizone Terhadap Lingkungan Dengan Metode Life Cycle Assessment. *Evaluasi Dampak Proses Produksi Dan Pengolahan Limbah Minuman Isotonik Mizone Terhadap Lingkungan Dengan Metode Life Cycle Assessment*, 6(2), 1–1.
- [5] Muredzi, P. (2015). ISO 14040 Life Cycle Assessment (LAS) as a tool for effective environmentally friendly waste management in the Food Industry. 1–11.
- [6] Bruijn, H. De. (2004). *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards* (1st ed.).
- [7] Yani, M., Purwaningsih, I., Mas, D., & Munandar, N. (2012). Life Cycle Assessment of Sugar At Cane Sugar Industry. *E-Jurnal Agroindustri Indonesia* Juli, 1(1), 60–67..
- [8] Avista, R., Hantoro, R., & Hamidah, N. L. 2015. Analisis Produksi Emisi CO2 Pada Industri Gula Di PT. Perkebunan Nusantara X (Persero) Tbk. Paper ITS, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [9] ISO. (2006). 14040: Environmental management–life cycle assessment—Principles and framework. International Organization for Standardization.
- [10] Seruyaningtyas K, Handayani DS, Samadikun BP. Studi Kasus Kelurahan Gedawang Kecamatan Banyumanik , Kota Semarang. 2017;6(1):1–12.

- [11] Baumann, H., dan A.-M. Tillman. 2004. The hitchhikers Guide to LCA. An Orientation in Life Cycle Assessment methodology and application, 1st ed.
- [12] Curran, M. A. 2006. Life Cycle Assessment: Principles and Practice, Amerika Serikat:Environmental Protection Agency (EPA).
- [13] Cahyono, W. E. 2010. Pengaruh Hujan Asam pada Biotik dan Abiotik. Pengkajian Ozon dan Polusi Udara, LAPAN;
- [14] Alfionita, A. N. A., Patang, P., & Kaseng, E. S. 2019. Pengaruh eutrofikasi terhadap kualitas air di sungai jeneberang. Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian, 5(1): 9-23.
- [15] Bestita, N. S. 2015. Pengendalian Pencemaran Gas SO<sub>2</sub> pada Pabrik Gula di kabupaten Sidoarjo dengan Water Spons Filter, Skripsi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya.