

## **Analisis *Life Cycle Assessment* (LCA) Proses Pengolahan Air Limbah Industri Pengolahan Susu dengan Pendekatan Metode *Recipe 2016 Endpoint* (H)**

**Ahmad Erlan Afiuddin<sup>1\*</sup>, Agnesya Miradika Rachmasari<sup>1</sup>, dan Alma Vita Sophia<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

\*E-mail: [erlan.ahmad@ppns.ac.id](mailto:erlan.ahmad@ppns.ac.id)

### **Abstrak**

Industri pengolahan susu merupakan sektor penting dalam sektor pangan yang membutuhkan pengelolaan air limbah yang efektif. Air limbah industri pengolahan susu mengandung kandungan organik yang tinggi dan senyawa berbahaya lainnya yang berpotensi menyebabkan pencemaran dan kerusakan lingkungan pada ekosistem perairan. Proses pengolahan limbah industri pengolahan susu juga dapat memberikan dampak terhadap lingkungan dari emisi ke udara yang disebabkan karena penggunaan energi listrik. Oleh karena itu, perlu adanya kajian dampak lingkungan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Penelitian dilakukan untuk mengidentifikasi dampak lingkungan pada proses pengolahan air limbah industri pengolahan susu. Metode yang digunakan yaitu *Recipe 2016 Endpoint* (H) dengan *software* Open.LCA 1.11.0 Hasil penelitian analisis LCA menunjukkan dampak yang dihasilkan dari proses pengolahan air limbah yaitu *Human Health*  $1,76 \times 10^{-4}$  Pt, *Ecosystem Quality*  $4,54 \times 10^{-8}$  Pt, dan *Resources Availability* 0 Pt. *Human Health* merupakan dampak utama pada proses pengolahan air limbah dengan kontribusi dampak 99,9%.

**Keywords:** IPAL, LCA, OpenLCA, *Recipe 2016 Endpoint* (H)

### **1. PENDAHULUAN**

Industri pengolahan susu tidak dapat lepas dari limbah cair yang dihasilkan selama proses produksi produk susu. Meningkatnya variasi produk yang dihasilkan dapat menyebabkan meningkatnya jenis limbah cair yang dihasilkan. Limbah tersebut memiliki karakteristik khusus yang dapat mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Industri pengolahan susu mampu menghasilkan air limbah rata-rata sebesar 110 m<sup>3</sup>/hari. Air limbah tersebut memiliki kandungan pencemar seperti BOD, COD, TSS, Minyak dan Lemak, Amonia, Besi (Fe), serta Tembaga (Cu) yang berpotensi menyebabkan pencemaran dan kerusakan lingkungan. Sehingga perlu adanya Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) untuk mengurangi kadar pencemar dalam air limbah sebelum dibuang ke badan air. Proses pengolahan air limbah juga dapat menghasilkan emisi ke udara berupa CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> yang dihasilkan dari operasional IPAL.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai dampak lingkungan yang ditimbulkan pada proses pengolahan air limbah adalah dengan pendekatan *Life Cycle Assessment*. Menurut Yekti dan Mirwan (2021), *Life Cycle Assessment* (LCA) merupakan metode untuk mengidentifikasi, menilai dan mengevaluasi dampak lingkungan yang terkait dengan produk, proses dan aktivitas dalam satu siklus hidup yang sesuai dengan standart SNI ISO 14040. Perspektif LCA juga dicantumkan sebagai salah satu kriteria penilaian dalam Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan (PROPER) yang dituangkan dalam Peraturan Menteri LHK (PERMENLHK) Nomor 01 Tahun 2021.

Penelitian terdahulu oleh Bui dkk., (2022) yang dilakukan pada *Waste Water Treatment Plant* industri kertas di Vietnam dengan menggunakan metode ReciPe 2016 pada penilaian *midpoint* dan *endpoint* diketahui bahwa menghasilkan dampak ekotoksitas teresterial, teresterial non-karsinogenik, serta pemanasan global yang cukup besar. Tujuan dari penelitian dengan metode LCA ini yaitu untuk mengevaluasi dampak lingkungan proses pengolahan air limbah industri pengolahan susu pada ruang *gate to gate* menggunakan *software* OpenLCA 1.11.0 dengan metode *Recipe 2016 Endpoint* (H).

## 2. METODE

Penelitian dilakukan di industri pengolahan susu yang berlokasi di salah satu kabupaten di Jawa Timur. Data yang digunakan berupa data primer dan sekunder pada rentang waktu 1 tahun yaitu pada tahun 2022. Data primer didapatkan dari hasil pengujian karakteristik parameter air limbah dan besaran konsumsi energi listrik yang ada di setiap unit IPAL. Sedangkan data sekunder didapatkan dari literatur maupun peraturan pemerintah. Adapun hasil emisi GRK dari proses pengolahan biologis dan penggunaan energi listrik yang ada di IPAL dihitung berdasarkan IPCC (2019).

Metode yang digunakan dalam menganalisis dampak lingkungan dengan *Life Cycle Assessment* (LCA) sesuai dengan tahapan LCA pada *framework* SNI ISO 14040:2016 dan SNI ISO 14044:2017. Metode ini terdiri dari empat tahapan yaitu (1) Penentuan *Goal and Scope*, yaitu penentuan tujuan dan ruang lingkup penelitian, (2) *Life Cycle Inventory* (LCI), yaitu proses inventarisasi data atau pengumpulan data, (3) *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA), yaitu penilaian dampak lingkungan, dan (4) *interpretation*, yaitu interpretasi hasil dan penarikan kesimpulan dari penelitian. Analisis LCA dilakukan menggunakan *software* Open.LCA 1.11.0 dengan metode *Recipe 2016 Endpoint* (H).

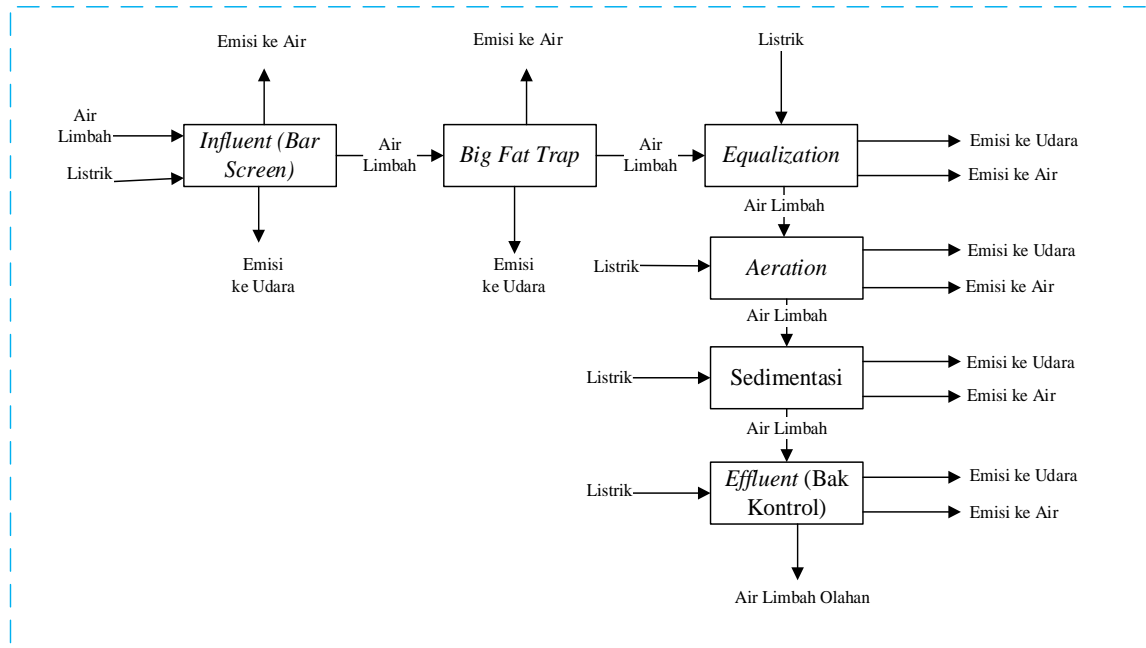
*Recipe* adalah metode untuk penilaian dampak siklus hidup (LCIA). Metode ini pertama kali dikembangkan pada tahun 2008 melalui kerjasama antara RIVM, Radboud University Nijmegen, Leiden University dan *PRé Sustainability*. Tujuan utama metode *Recipe* adalah mengubah daftar panjang hasil inventarisasi siklus hidup menjadi sejumlah skor indikator. Skor indikator ini mengungkapkan keparahan relatif pada kategori dampak lingkungan (Pre, 2016).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengolahan air limbah pada IPAL industri pengolahan susu dilakukan pengolahan secara biologis dengan proses aerobik. Sumber air limbah tersebut dapat berasal dari proses produksi, proses *maintenance* alat-alat produksi, air *blowdown boiler* serta dari kegiatan domestik. Unit yang ada di IPAL industri pengolahan susu terdiri dari *influent (bar screen)*, *big fat trap*, *equalization*, *aeration*, sedimentasi, dan *effluent* (bak kontrol). Setiap unit IPAL menimbulkan beban emisi baik emisi ke air maupun emisi ke udara. Kajian *Life Cycle Assessment* (LCA) dilakukan menggunakan *software* OpenLCA 1.11.0 dengan metode *Recipe 2016 Endpoint* (H). Hasil *running software* akan terbaca nilai dampak lingkungan yang dihasilkan dan akan menunjukkan dampak terbesar (*hotspot*) dari proses IPAL.

### Penentuan *Goal and Scope*

Tahapan awal dalam *Life Cycle Assessment* (LCA) adalah penentuan *Goal and Scope*. Tujuan dan batas sistem atau ruang lingkup LCA harus didefinisikan secara jelas, konsisten dan terarah sesuai dengan tujuan penerapannya. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengidentifikasi dampak lingkungan dari proses pengolahan air limbah. Kajian LCA pada penelitian ini terbatas pada sistem *gate to gate* pengolahan air limbah di industri pengolahan susu yang dimulai dari unit *influent (bar screen)* hingga unit *effluent* (bak kontrol). Unit fungsi yang digunakan pada proses pengolahan air limbah yaitu 1 m<sup>3</sup> air olahan dari hasil *effluent* air limbah. Sehingga hasil dampak lingkungan yang dihasilkan merupakan dampak dari setiap 1 m<sup>3</sup> air olahan dari proses pengolahan air limbah. Ruang lingkup kajian LCA dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Ruang lingkup penelitian

**Life Cycle Inventory (LCI)**

Tahapan *Life Cycle Inventory* (LCI) merupakan tahap inventarisasi data input dan *output* dari setiap unit proses yang dikaji yaitu volume air limbah, kebutuhan konsumsi energi, hasil uji karakteristik air limbah serta emisi ke udara dari pendekatan perhitungan. Data inventori tersebut merupakan hasil pemantauan rutin setiap bulan yang diakumulasi menjadi data per tahun dengan asumsi penggunaan listrik konstan setiap bulannya. Data yang digunakan dikonversikan sesuai kebutuhan untuk input data pada *software* OpenLCA 1.11.0. Data yang diolah dalam *software* OpenLCA adalah data selama satu tahun, sehingga dampak lingkungan yang dihasilkan juga merupakan akumulasi dampak dalam satu tahun dari proses pengolahan air limbah industri pengolahan susu. Hasil inventarisasi terangkum seluruh unit pada IPAL industri pengolahan susu dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1.** *Life Cycle Inventory* Proses Pengolahan Air Limbah

Input - Output	Material / Komponen	Kuantitas	Satuan
Input	Influent air limbah	38.805	ton/tahun
	Listrik	798.102	kWh
Output	Air hasil olahan	32.359	ton/tahun
Emisi	CO <sub>2</sub>	694,348	ton/tahun
	CH <sub>4</sub>	6,965	ton/tahun
	BOD	240,180	ton/tahun
	COD	689,867	ton/tahun
	TSS	197,300	ton/tahun
	NH <sub>3</sub>	0,2901	ton/tahun
	Fe	0,3852	ton/tahun

	Cu	0,1522	ton/tahun
	Oil and Fat	0,5975	ton/tahun

### Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

LCIA merupakan tahapan penilaian dampak lingkungan pada proses pengolahan air limbah industri pengolahan susu dengan menggunakan *software* OpenLCA versi 1.11.0 dan metode yang dipilih yaitu *Recipe* 2016 *Endpoint* (H). LCIA terdiri dari 3 tahapan penilaian yaitu, (1) *Characterization*, (2) *Normalization*, dan (3) *Weighting and single score*. Berikut merupakan tahapan dari LCIA.

#### a. Characterization

*Characterization* merupakan tahapan penilaian besarnya substansi yang berkontribusi pada kategori Dampak lingkungan pada proses pengolahan air limbah berdasarkan faktor karakterisasinya. Keseluruhan kategori dampak dipengaruhi oleh besarnya emisi yang dihasilkan dari tiap kegiatan. Hasil analisis *characterization* pada proses pengolahan air limbah industri pengolahan susu ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

**Tabel 2.** Hasil Analisis *Characterization*

Unit Proses	Kategori Dampak		
	<i>Ecosystem Quality</i>	<i>Human Health</i>	<i>Resources Availability</i>
	species.yr/m <sup>3</sup>	DALY/m <sup>3</sup>	USD2013/m <sup>3</sup>
<i>Influent</i> (Bar Screen)	$8,65 \times 10^{-8}$	$1,01 \times 10^{-6}$	0
<i>Big Fat Trap</i>	$1,30 \times 10^{-10}$	$6,49 \times 10^{-10}$	0
<i>Equalization</i>	$3,30 \times 10^{-8}$	$1,09 \times 10^{-5}$	0
<i>Aeration</i>	$3,5 \times 10^{-8}$	$1,18 \times 10^{-5}$	0
<i>Sedimentasi</i>	$7,92 \times 10^{-10}$	$2,57 \times 10^{-7}$	0
<i>Effluent</i> (Bak Kontrol)	$2,46 \times 10^{-9}$	$8,09 \times 10^{-7}$	0
<b>TOTAL</b>	<b><math>1,58 \times 10^{-7}</math></b>	<b><math>2,47 \times 10^{-5}</math></b>	<b>0</b>

Berdasarkan hasil analisis *characterization* dari *running* menggunakan *software* OpenLCA didapatkan kontribusi untuk dampak *ecosystem quality* sebesar  $1,58 \times 10^{-7}$  species.yr/m<sup>3</sup>, *human health* sebesar  $2,47 \times 10^{-5}$  DALY/m<sup>3</sup>, dan *resources availability* sebesar 0 USD2013/m<sup>3</sup>. Dampak *resources availability* tidak menghasilkan nilai karena dampak ini dihasilkan oleh substansi dari penggunaan bahan bakar dari alam seperti batu bara. Sedangkan pada proses pengolahan air limbah tidak menggunakan bahan bakar batu bara sehingga dampak yang dihasilkan sebesar 0.

#### b. Normalization

*Normalization* merupakan tahapan penyetaraan satuan unit untuk semua kategori dampak ke dalam unit satuan yang sama sehingga nilai masing-masing dampak dapat dibandingkan. Nilai *normalization* didapatkan dilakukan dengan membagi hasil nilai *characterization* dengan faktor *normalization*. Hasil analisis *Normalization* pada proses pengolahan air limbah industri pengolahan susu ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil Analisis *Normalization*

Unit Proses	Kategori Dampak		
	<i>Human Health</i>	<i>Ecosystem Quality</i>	<i>Resources Availability</i>
<i>Influent</i> (Bar Screen)	$2,40 \times 10^{-8}$	$6,19 \times 10^{-11}$	0
<i>Big Fat Trap</i>	$1,54 \times 10^{-11}$	$9,31 \times 10^{-14}$	0
<i>Equalization</i>	$2,58 \times 10^{-7}$	$2,37 \times 10^{-11}$	0

<i>Aeration</i>	$2,79 \times 10^{-7}$	$2,55 \times 10^{-11}$	0
Sedimentasi	$6,10 \times 10^{-9}$	$5,68 \times 10^{-13}$	0
<i>Effluent</i> (Bak Kontrol)	$1,92 \times 10^{-8}$	$1,76 \times 10^{-12}$	0
<b>TOTAL</b>	<b><math>5,86 \times 10^{-7}</math></b>	<b><math>1,14 \times 10^{-10}</math></b>	<b>0</b>

Berdasarkan Tabel 3, dapat diketahui bahwa semua kategori dampak telah dilakukan normalisasi sehingga memiliki nilai yang dapat dibandingkan antar kategori dampak. Berdasarkan analisis *normalization* kategori dampak *human health* memiliki nilai paling tinggi dari seluruh kategori dampak yang dihasilkan yaitu sebesar  $5,86 \times 10^{-7}$ .

### c. *Weighting and Single Score*

*Weighting and single score* merupakan tahapan pemberian bobot terhadap masing-masing kategori dampak. Pembobotan dapat dilakukan dengan mengalikan hasil *normalization* dengan faktor bobot (*weighting*). Nilai *weighting* atau pembobotan kemudian diklasifikasikan berdasarkan proses kegiatan yang disebut dengan *single score*. Hasil analisis *weighting and single score* pada proses pengolahan air limbah industri pengolahan susu ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil Analisis *Weighting and Single Score*

Unit Proses	TOTAL	Kategori Dampak		
		<i>Human Health</i>	<i>Ecosystem Quality</i>	<i>Resources Availability</i>
	Pt	Pt	Pt	Pt
<i>Influent</i> (Bar Screen)	$7,23 \times 10^{-6}$	$7,20 \times 10^{-6}$	$2,48 \times 10^{-8}$	0
<i>Big Fat Trap</i>	$4,66 \times 10^{-9}$	$4,62 \times 10^{-9}$	$3,72 \times 10^{-11}$	0
<i>Equalization</i>	$7,74 \times 10^{-5}$	$7,74 \times 10^{-5}$	$9,46 \times 10^{-9}$	0
<i>Aeration</i>	$8,38 \times 10^{-5}$	$8,38 \times 10^{-5}$	$1,02 \times 10^{-8}$	0
Sedimentasi	$1,83 \times 10^{-6}$	$1,83 \times 10^{-6}$	$2,27 \times 10^{-10}$	0
<i>Effluent</i> (Bak Kontrol)	$5,76 \times 10^{-6}$	$5,76 \times 10^{-6}$	$7,04 \times 10^{-10}$	0
TOTAL	$1,76 \times 10^{-4}$	$1,76 \times 10^{-4}$	$4,54 \times 10^{-8}$	0

Berdasarkan Tabel 4, dapat diketahui bahwa hasil analisis *weighting and single score* dari proses pengolahan air limbah industri pengolahan susu menghasilkan kategori dampak tertinggi yaitu dampak *human health* sebesar  $1,76 \times 10^{-4}$ Pt. Nilai dari analisis *weighting and single score* dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan titik *hotspot*. Pada proses pengolahan air limbah *hotspot* dihasilkan dari unit *aeration* dengan penyumbang total dampak terbesar yaitu sebesar  $8,38 \times 10^{-5}$ .

### *Interpretation*

*Interpretation* adalah tahapan terakhir dalam analisis LCA dimana merupakan integrasi dari hasil *life cycle inventory* dan *life cycle impact assessment* yang digunakan untuk mengkaji dan menentukan rekomendasi. *Interpretation* dapat digunakan sebagai langkah untuk mengambil bentuk kesimpulan serta rekomendasi untuk mengambil keputusan yang konsisten sejalan dengan tujuan dan ruang lingkup penelitian. *Interpretation* dilakukan dengan melakukan identifikasi terhadap isu penting (*hotspot*) berdasarkan hasil tahapan LCI dan LCIA.

Identifikasi isu penting atau analisis *hotspot* dapat dilakukan dengan menentukan titik yang menimbulkan dampak paling tinggi atau besar. Titik *hotspot* yang ditentukan dapat berupa unit proses atau kegiatan, kategori dampak, maupun substansi pencemar yang memiliki nilai tertinggi pada rangkaian satu siklus proses produksi. Hasil analisis *weighting and single score* menggunakan software OpenLCA 1.11.0 dengan metode *Recipe 2016 Endpoint* (H) digunakan sebagai acuan untuk menentukan titik *hotspot*.

Berdasarkan hasil analisis *weighting and single score* yang telah disajikan pada Tabel 4, diketahui dampak tertinggi yang dihasilkan adalah *human health*. Sehingga, kategori dampak *human health* ini dapat dikatakan sebagai *hotspot* berdasarkan kategori dampak. Sedangkan, titik *hotspot* berdasarkan unit proses terletak pada unit *aeration*. Unit proses *aeration* menjadi *hotspot* proses karena menyumbang dampak *human health* paling tinggi, dimana *human health* juga merupakan *hotspot* berdasarkan kategori dampak. Kategori dampak *human health* berkontribusi sebagai dampak tertinggi dalam proses pengolahan air limbah industri pengolahan susu sebesar 99,9%.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil analisis LCA yang telah dilakukan pada proses pengolahan air limbah menggunakan *software* OpenLCA 1.11.0 dengan metode *Recipe 2016 Endpoint* (H), dihasilkan 3 kategori dampak yaitu *Human Health*, *Ecosystem Quality*, *Resources Availability*. Dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses pengolahan air limbah industri pengolahan susu disebabkan oleh emisi ke udara berupa CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> dan emisi ke air yaitu BOD, COD, TSS, Minyak dan Lemak, Amonia, Besi (Fe), serta Tembaga (Cu). Nilai dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses pengolahan air limbah adalah *Human Health* sebesar  $1,76 \times 10^{-4}$  Pt, *Ecosystem Quality* sebesar  $4,54 \times 10^{-8}$  Pt, dan *Resources Availability* sebesar 0 Pt. Titik *hotspot* terletak pada unit proses *aeration* dan kategori dampak paling besar adalah *human health*.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2016. SNI ISO 14040: 2016 tentang Manajemen Lingkungan – Penilaian Daur Hidup – Prinsip dan Kerangka Kerja. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2017. SNI ISO 14044:2017 tentang Manajemen Lingkungan – Penilaian Daur Hidup – Persyaratan dan Panduan – International Standard ISO 14044. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Bui, H. N., Chen, Y. C., Pham, A. T., Ng, S. L., Lin, K. Y. A., Viet Nguyen, N. Q., & Bui, H. M. 2022. Life cycle assessment of paper mill wastewater: a case study in Viet Nam. *Water Science and Technology*, 85(5), 1522–1537.
- IPCC. 2019. *Energy Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. In *Intergovernmental Panel on Climate Change*, Switzerland.
- Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2014). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 01 Tahun 2021 Tentang Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan Dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup (PROPER). Jakarta : KLHK.
- Pre. (2016). ReCiPe. <https://pre-sustainability.com/articles/recipe/>. Diakses pada 11 Januari 2023.
- Yekti, H. S., & Mirwan, M. 2021. Analisis Dampak Pencemaran Lingkungan Dengan *Metode Life Cycle Assessment* (LCA) Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) PT. Surabaya Industrial Estate Rungkut (Sier) Surabaya. *EnviroUS*, 1(2), 120-128.