

## Analisis Dampak Lingkungan Proses Pengolahan Air Limbah Industri Susu dengan Metode LCA Menggunakan Metode Penilaian Recipe 2016

Silvi Wijayanti<sup>1</sup>, Luqman Cahyono<sup>1\*</sup>, Adhi Setiawan<sup>1</sup>

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

\*E-mail: luqmancahyono24@ppns.ac.id

### ABSTRAK

Instalasi pengolahan air limbah di industri susu ditujukan untuk mengolah air limbah agar tidak mencemari lingkungan. Proses pengolahan air limbah membutuhkan adanya sumber energi listrik atau bahan bakar, mikroorganisme, dan bahan kimia untuk mengoptimalkan pengolahannya. Penggunaan bahan kimia, mikroorganisme, dan energi listrik ini menghasilkan dampak lingkungan yang baru. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui dampak lingkungan dari suatu proses/kegiatan adalah *Life Cycle Assessment*. Analisis dampak lingkungan ini dilakukan menggunakan *software* OpenLCA. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis dampak lingkungan dari proses pengolahan air limbah industri susu. Penelitian ini menggunakan metode penilaian Recipe 2016 (H), dengan titik *endpoint*. Hasil penelitian menunjukkan potensi dampak lingkungan yang muncul yaitu dampak *human health* sebesar  $1,27 \times 10^{-3}$  dan *ecosystems* sebesar  $3,94 \times 10^{-6}$ . Kontribusi terbesar pada dampak *human health* berasal dari emisi CH<sub>4</sub> yang dihasilkan dari unit proses UASB.

**Keywords :** IPAL, *Life Cycle Assessment*, OpenLCA, Recipe

### 1. PENDAHULUAN

Saat ini perkembangan industri susu di Indonesia semakin meningkat untuk memenuhi permintaan pasar akan produk susu. Dalam proses produksinya, industri susu juga menghasilkan limbah cair yang harus diolah di Instalasi Pengolahan Air Limbah. Adanya IPAL dimaksudkan untuk membantu mengurangi dan meminimalkan dampak lingkungan yang dapat timbul dari air limbah yang tidak terolah dengan baik. Air limbah industri akan dibuang ke badan air, sehingga air limbah yang dibuang akan berpengaruh langsung ke lingkungan (Rebell dkk., 2021). Effluent dari IPAL dapat dimanfaatkan untuk pertanian. Dari manfaat ini juga menimbulkan dampak yang signifikan terhadap lingkungan seperti emisi, polusi tanah, dan air (Tabesh, 2019). Secara global salah satu penyebab pencemaran air, yaitu karena adanya penggunaan bahan kimia yang menyebabkan tingkat toksisitasnya tinggi (Nauhsad, 2018).

Salah satu sektor sumber emisi gas rumah kaca (GRK) yang tercantum dalam dokumen *Intergovernmental Panel Climate Change* (IPCC) adalah sektor limbah. Sektor limbah mewakili 16% dari seluruh emisi yang dihasilkan di seluruh dunia. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) termasuk sebagai salah satu sumber emisi gas rumah kaca GRK pada sektor limbah, khususnya air limbah. IPAL menghasilkan emisi CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O dari kegiatan pengolahan air limbah. Persentase sektor limbah memang lebih kecil dibandingkan sektor lainnya. Namun emisi dari sektor ini dapat diperkirakan meningkat setiap tahunnya. Peningkatan jumlah produksi dan peningkatan jumlah populasi manusia, menjadi alasan peningkatan air limbah (Muttaqien, 2019).

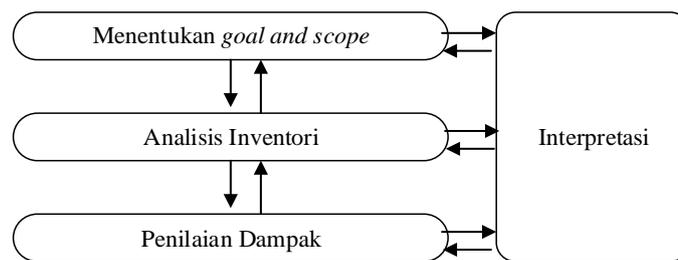
Emisi tersebut dihasilkan dari proses pengolahan air limbah yang membutuhkan bahan-bahan kimia ataupun mikroorganisme tambahan, serta energi yang digunakan untuk menunjang keberhasilan proses pengolahan. Umumnya energi yang dipakai adalah listrik, listrik menghasilkan emisi CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub>, HFCs, PFCs. Jenis emisi gas rumah kaca (GRK), ini terjadi karena bahan bakar yang digunakan dalam pembangkit listrik. Emisi yang difokuskan pada bidang listrik adalah CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O yang semuanya dikonversi ke CO<sub>2</sub>, dikarenakan emisi ini menyumbang 99% lebih terhadap total emisi GRK dari penggunaan bahan bakar pada unit pembangkit listrik (ESDM, 2018).

Pengolahan biologis utamanya yang dilakukan secara anaerobik, menghasilkan  $\text{CH}_4$  dan  $\text{N}_2\text{O}$ . Tingkat produksi  $\text{CH}_4$  tergantung pada jumlah bahan organik yang dapat terdegradasi dalam air limbah, suhu, dan jenis sistem pengolahan. Dengan kenaikan suhu, laju produksi  $\text{CH}_4$  akan meningkat.  $\text{N}_2\text{O}$  dikaitkan dengan degradasi komponen nitrogen dalam air limbah, misalnya urea, nitrat dan protein. Emisi langsung  $\text{N}_2\text{O}$  dapat dihasilkan selama nitrifikasi dan denitrifikasi nitrogen yang ada (IPCC, 2006).

Emisi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , dan beberapa parameter air limbah lainnya seperti besi, tembaga, dan ammonia, menghasilkan dampak lingkungan yang berupa eutrofikasi, ekotoksitas, *ozone depletion*. Emisi yang dihasilkan dari proses pengolahan air beserta potensi dampak lingkungan lainnya dan pencegahan atau upaya pengurangan atas dampak lingkungan yang timbul maka, dapat dilakukan kajian *Life Cycle Assessment* (LCA). Penilaian Daur Hidup atau *Life Cycle Assessment* (LCA) berdasarkan SNI ISO 14040:2016 dan SNI ISO 14044:2017 merupakan kompilasi dan evaluasi masukan, keluaran, dan dampak lingkungan potensial dari sistem produk di seluruh daur hidupnya. Dari kajian LCA dapat diketahui emisi apa saja yang menimbulkan dampak lingkungan. Tujuan adanya penelitian ini untuk mengetahui dampak lingkungan dari proses pengolahan air limbah industri susu. Dengan mengetahui dampak lingkungan, maka dapat dilakukan mitigasi untuk meminimalkan dampak tersebut.

## 2. METODE

Penelitian ini menggunakan Langkah-langkah yang mengacu SNI ISO 14044:2017 melalui 4 tahapan LCA yaitu *goal and scope*, *life cycle inventory* (LCI), *life cycle impact assessment* (LCIA), dan interpretasi data. *Scope* yang diambil dalam penelitian ini adalah *gate to gate* di IPAL industri susu. *Software* yang digunakan adalah OpenLCA dengan metode penilaian dampak Recipe 2016 (H) kategori *endpoint*.

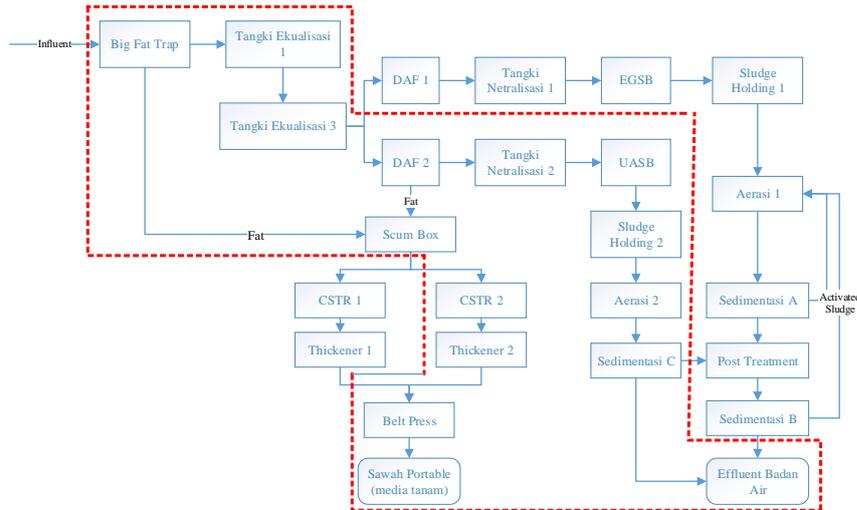


Gambar 1 Tahapan-tahapan dalam LCA

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Goal and Scope

Goal dalam penelitian ini adalah Mengidentifikasi kinerja lingkungan dari proses pengolahan air limbah industri susu yaitu pada fase 2 dengan metode LCA. *Scope* yang diambil dalam penelitian ini adalah *gate to gate* di IPAL industri susu dan pada fase 2 saja, yang meliputi unit proses *big fat trap*, ekualisasi 1, ekualisasi 3, *Dissolved Air Flotation* (DAF), netralisasi, UASB, *sludge holding*, aerasi, sedimentasi Unit pengolahan lumpur yang ada di fase 2, juga turut serta untuk dikaji, yaitu *scum box*, CSTR, *thickner*, dan *belt press*. *Boundary system* pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Boundary System pada Pengolahan Air Limbah

3.2. Life Cycle Inventory

Analisis data pada tahap ini, membutuhkan input dan output pada tiap unit proses. Data yang telah didapatkan dilakukan perhitungan emisi CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, dan CO<sub>2</sub>. Data input dan output inilah yang akan dimasukkan di software OpenLCA yang merupakan data satu tahun selama tahun 2022. input dan output pada tiap unit proses dapat dilihat pada gambar 3.

Unit Kegiatan	Input-Output	Data Inventori	Satuan	Jumlah		
Big Fat Trap	Input	Air Limbah	Tanpa	665946		
		Litrik	MWh/tanpa	122,49		
	Output	Fat	Tanpa	2,45		
		Air Limbah	Tanpa	666146		
	Emiriko Air	Output	Ammonia (NH3-N)	Tanpa	3,92329	
			TSS	Tanpa	319,82	
			COD	Tanpa	1491,12	
			Minyak Lemak	Tanpa	1,53826	
			BOD	Tanpa	284,055	
			Tembaga	Tanpa	2,51921	
Besi			Tanpa	0,19432		
CO2			Tanpa	115,652		
Ekualisasi 1			Input	Air Limbah	Tanpa	640114
				Litrik	MWh/tanpa	195,413
	Output	Air Limbah	Tanpa	637229		
		Ammonia (NH3-N)	Tanpa	6,46794		
	Emiriko Air	Output	TSS	Tanpa	1452,16	
			COD	Tanpa	2995,47	
			Minyak Lemak	Tanpa	0,32816	
			BOD	Tanpa	592,029	
			Tembaga	Tanpa	2,04483	
			Besi	Tanpa	2,31828	
CO2			Tanpa	172,419		
Ekualisasi 3			Input	Air Limbah	Tanpa	637229
				Litrik	MWh/tanpa	121,832
			Output	Fat	Tanpa	2,42
	Air Limbah	Tanpa		53,2315		
	Emiriko Air	Output	Ammonia (NH3-N)	Tanpa	415,513	
			TSS	Tanpa	3,04483	
			COD	Tanpa	1211,21	
			Minyak Lemak	Tanpa	2,742,32	
			BOD	Tanpa	6,06374	
			Tembaga	Tanpa	352,414	
Besi			Tanpa	1,64553		
CO2			Tanpa	1,07016		
DAF			Input	Air Limbah	Tanpa	114,737
				Litrik	MWh/tanpa	418,82
	Output	Air Limbah	Tanpa	46,594		
		NaOH	Tanpa	32,3028		
	Emiriko Air	Output	Ammonia (NH3-N)	Tanpa	4,6174	
			TSS	Tanpa	6,29545	
			COD	Tanpa	277,455	
			Minyak Lemak	Tanpa	925,522	
			BOD	Tanpa	0,14227	
			Tembaga	Tanpa	193,749	
Besi			Tanpa	5,73246		
CO2			Tanpa	3,44542		

Gambar 3 Life Cycle Inventory

Gambar 1 menjelaskan input dan output pada masing-masing unit proses. Output pada inventori ini sudah terbagi antara emisi ke tanah, air, ataupun udara. Nilai pada masing masing jenis data ini yang dimasukkan di software OpenLCA. Nilai input dan output ini yang akan digunakan oleh software untuk membaca dampak lingkungan yang timbul di unit proses tersebut.

3.3. Life Cycle Impact Assessment

Penilaian potensi dampak lingkungan pada proses pengolahan air limbah industri susu dilakukan menggunakan software OpenLca dengan metode Recipe 2016 (H). metode ini dipilih karena mencerminkan dampak lingkungan IPAL. Tahapan Life Cycle Impact Assessment ini bertujuan untuk

mengidentifikasi kontribusi suatu unit pada proses pengolahan air limbah industri susu terhadap lingkungan. Pada tahap ini terbagi menjadi 3 analisis yaitu *characterization*, *normalization*, dan *single score*.

### 3.3.1. Characterization

Tahapan ini merupakan tahapan penilaian besarnya substansi yang berkontribusi pada *impact category*, berdasarkan factor karakterisasinya. Pada OpenLCA untuk nilai karakterisasi sudah didapatkan saat *running*, dari 18 dampak yang ada pada metode Recipe, pada penelitian ini yang muncul sebanyak 8 dampak lingkungan yaitu *Global Warming*, *Marine Ecotoxicity*, *Stratospheric Ozone Depletion*, *Terrestrial Ecotoxicity*, *Marine Eutrophication*, *Human non-carcinogenic toxicity*, *Human carcinogenic toxicity*, dan *Freshwater Ecotoxicity*. Nilai dampak lingkungan yang dihasilkan pada proses pengolahan air limbah industri susu ini dapat dilihat pada tabel 1 Hasil Analisa *Characterization*.

Tabel 1. Hasil Analisa *Characterization*

Unit Proses	Big Fat Trap	Ekualisasi 1	Ekualisasi 3	DAF	Netralisasi	UASB	Sludge Holding
<i>Global warming, Human health</i>	8,95E-08	1,34E-07	8,91E-08	9,79E-08	1,25E-09	1,27E-03	5,50E-09
<i>Global warming, Freshwater ecosystems</i>	7,38E-15	1,11E-14	7,34E-15	8,07E-15	1,03E-16	1,04E-10	4,54E-16
<i>Global warming, Terrestrial ecosystems</i>	2,70E-10	4,05E-10	2,69E-10	2,95E-10	3,77E-12	3,82E-06	1,66E-11
<i>Marine Ecotoxicity</i>	1,25E-10	9,08E-11	7,53E-11	3,12E-11	9,43E-11	5,30E-12	9,07E-12
<i>Stratospheric Ozone Depletion</i>	0	0	0	0	0	8,58E-11	0
<i>Terrestrial ecotoxicity</i>	3,24E-08	2,35E-08	1,95E-08	8,09E-09	2,44E-08	1,37E-09	2,35E-09
<i>Marine Eutrophication</i>	2,40E-12	1,62E-13	1,61E-13	1,06E-13	2,08E-13	2,08E-13	2,06E-13
<i>Human non-carcinogenic toxicity</i>	1,66E-08	1,21E-08	9,99E-09	4,14E-09	1,25E-08	7,03E-10	1,20E-09
<i>Freshwater Ecotoxicity</i>	8,95E-12	6,49E-12	5,39E-12	2,23E-12	6,74E-12	3,79E-13	6,48E-13
<i>Human carcinogenic toxicity</i>	0	0	0	0	0	0	0

Unit Proses	Aerasi	Sedimentasi	Scum Box	CSTR	Thickner	Belt Press	Total dampak
<i>Global warming, Human health</i>	1,44E-06	3,64E-08	3,41E-08	6,34E-07	4,77E-07	3,79E-09	1,27E-03
<i>Global warming, Freshwater ecosystems</i>	1,19E-13	3,00E-15	2,81E-15	5,22E-14	3,92E-14	3,12E-16	1,05E-10
<i>Global warming, Terrestrial ecosystems</i>	4,35E-09	1,10E-10	1,03E-10	1,91E-09	1,43E-09	1,14E-11	3,83E-06
<i>Marine Ecotoxicity</i>	3,59E-12	1,63E-12	0	0	0	0	4,36E-10
<i>Stratospheric Ozone Depletion</i>	0	0	0	0	0	0	8,58E-11
<i>Terrestrial ecotoxicity</i>	9,30E-10	4,21E-10	0	0	0	0	1,13E-07

Marine Eutrophication	2,38E-13	2,24E-13	0	0	0	0	3,92E-12
Human non-carcinogenic toxicity	4,76E-10	2,16E-10	0	0	0	0	5,79E-08
Freshwater Ecotoxicity	2,57E-13	1,16E-13	0	0	0	0	3,12E-11
Human carcinogenic toxicity	0	0	0	0	0	6,46E-07	6,46E-07

Dari hasil Analisa *characterization* ini akan digunakan untuk menghitung nilai normalisasinya, dari dampak di atas, akan dikategorikan ke 3 dampak *endpoint* yaitu *Human Health*, *Ecosystem*, dan *Resources*. Namun pada penelitian ini tidak terdapat dampak *resources* karena dari kategori dampak yang ada pada *characterization* ini tidak ada dampak yang ke *resources*.

### 3.3.2. Normalization

Normalisasi merupakan tahap perhitungan besarnya hasil indikator kategori relative terhadap informasi acuan. Tujuan adanya normalisasi dilakukan untuk memudahkan pemahaman dan perbandingan antar kategori dampak, sehingga satuan yang ada akan disetarakan, dan masing-masing kategori dampak dapat dibandingkan. Nilai Normalisasi dihasilkan dari membagi nilai dampak dengan faktor normalisasi. Nilai normalisasi ini juga menunjukkan nilai yang setara bagi setiap kategori dampak, dimana hasilnya sudah tidak terdapat satuan, sehingga dapat dibandingkan antar kategori dampak. Nilai normalisasi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Normalisasi

Dampak Lingkungan	Nilai Normalisasi
Global warming, Human health	$3,016 \times 10^{-5}$
Global warming, Freshwater ecosystems	$7,483 \times 10^{-14}$
Global warming, Terrestrial ecosystems	$2,744 \times 10^{-9}$
Marine Ecotoxicity	$2,805 \times 10^{-15}$
Stratospheric Ozone Depletion	$2,038 \times 10^{-12}$
Terrestrial ecotoxicity	$8,095 \times 10^{-11}$
Marine Eutrophication	$2,805 \times 10^{-15}$
Human non-carcinogenic toxicity	$1,379 \times 10^{-9}$
Freshwater Ecotoxicity	$2,235 \times 10^{-14}$
Human carcinogenic toxicity	$7,061 \times 10^{-8}$

Dari 10 dampak di atas, akan dijadikan ke 3 dampak *endpoint*, meliputi *human health*, *ecosystem*, dan *resources*. Dampak *resources* pada penelitian ini tidak ada, dikarenakan dampak *resources* dihasilkan dari dampak *mineral resources* dan *fossil resources*.

Tabel 3 Hasil Normalisasi Kategori Endpoint

Dampak Lingkungan	Nilai Normalisasi
Human Health	$3,023 \times 10^{-5}$
Ecosystems	$2,825 \times 10^{-9}$
Resources	0

Tabel 3 menunjukkan hasil normalisasi yang telah dikelompokkan sesuai dampak *endpoint*. Dari nilai di atas selanjutnya dilakukan *weighting and single score* agar dapat ditentukan titik hotspotnya.

### 3.3.3. Weighting and Single Score

Pembobotan adalah proses mengkonversi hasil normalisasi menggunakan faktor pembobotan. Langkah pembobotan didasarkan pada pilihan nilai, dan tidak bersifat ilmiah sehingga dapat memiliki preferensi yang berbeda.

*Single score* merupakan pengklasifikasian hasil dari pembobotan berdasarkan proses kegiatan. Nilai pembobotan akan dikalikan dengan faktor *single score*. Tabel 4 merupakan hasil nilai *single score* untuk kategori dampak *endpoint*

Tabel 4 Hasil *Single Score*

Dampak Lingkungan	<i>Single Score</i>	Satuan
<i>Human Health</i>	5651,934	Pt
<i>Ecosystems</i>	0,703	Pt
<i>Resources</i>	0	Pt

Hasil pada tabel 4 ini, digunakan untuk menentukan nilai *single score* berdasarkan unit prosesnya. Tabel 5 menunjukkan nilai *single score* dari setiap unit proses, yang digunakan sebagai acuan dalam menentukan titik *hotspot*.

Tabel 5 Hasil *Single Score* Pada Setiap Unit Proses

Unit Proses	<i>Human Health</i>	<i>Ecosystems</i>	<i>Resources</i>	Satuan
<i>Big fat trap</i>	4,71E-01	5,86E-03	0	Pt
Ekualisasi 1	6,49E-01	4,29E-03	0	Pt
Ekualisasi 3	4,40E-01	3,55E-03	0	Pt
DAF	4,53E-01	1,50E-03	0	Pt
Netralisasi	6,11E-02	4,38E-03	0	Pt
UASB	5,63E+03	6,82E-01	0	Pt
Sludge Holding	2,98E-02	4,24E-04	0	Pt
Aerasi	6,40E+00	9,43E-04	0	Pt
Sedimentasi	1,62E-01	9,51E-05	0	Pt
Scum Box	1,51E-01	1,83E-05	0	Pt
CSTR	5,86E+00	8,60E-05	0	Pt
Thickner	5,17E+00	0	0	Pt
Belt Press	2,88E+00	2,04E-06	0	Pt

### 3.4. Interpretasi Data

Berdasarkan hasil analisis *life cycle impact assessment*, *human health* merupakan *hotspot* pada tingkat kategori dampak karena memiliki nilai tertinggi diantara kategori dampak lainnya dampak *human health* terdiri dari *global warming human health*, *stratospheric ozone depletion*, *human carcinogenic toxicity*, dan *human non-carcinogenic toxicity*. Dari dampak tersebut penyumbang tertinggi berasal dari dampak *global warming human health*. Berdasarkan unit proses yang ada pada IPAL, unit proses UASB merupakan penyumbang dampak lingkungan terbesar. Dampak *global warming human health* ini berasal dari emisi CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan N<sub>2</sub>O.

#### 4. KESIMPULAN

Dampak yang dihasilkan dari proses pengolahan air limbah adalah dampak *human health* sebesar  $1,27 \times 10^{-3}$  DALY dan dampak *ecosystem* sebesar  $3,94 \times 10^{-6}$  PDF\*m<sup>2</sup>\*yr. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa titik *hotspot* berada pada unit UASB, dengan kategori dampak *human health* contributor dari dampak tersebut berasal dari emisi CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan N<sub>2</sub>O..

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2017. SNI ISO 14044-2017. Manajemen lingkungan Penilaian daur hidup – Persyaratan dan panduan Badan Standarisasi Nasional : Jakarta
- Bui, H. N., Chen, Y. C., Pham, A. T., Ng, S. L., Lin, K. Y. A., Nguyen, N. Q. V., & 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
- DJK KESDM, Pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca, Bidang Energi-Sub Bidang Ketenagalistrikan, Jakarta: Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2018, p. 136
- IPCC. 2006. Energy Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In Intergovernmental Panel on Climate Change, Switzerland
- Muttaqien, F. F. 2019. Estimasi Potensi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Sewon Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Naushad, M. (Ed.). 2018. *Life cycle assessment of wastewater treatment*. CRC Press
- Rebello, T. A., Roque, R. P., Gonçalves, R. F., Calmon, J. L., & Queiroz, L. M. 2021. Life cycle assessment of urban wastewater treatment plants: a critical analysis and guideline proposal. *Water Science and Technology*, 83(3), 501-514.