

# 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).

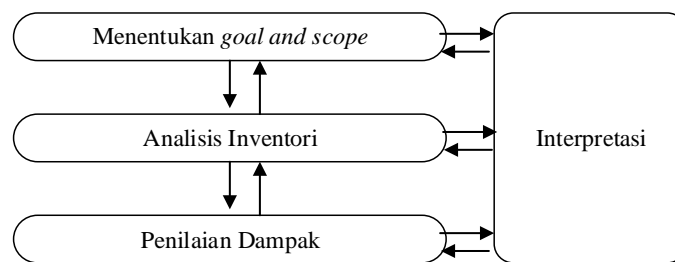
Emisi tersebut dihasilkan dari proses pengolahan air limbah yang membutuhkan bahan-bahan kimia ataupun mikroorganisme tambahan, serta energi yang digunakan untuk menunjang keberhasilan proses pengolahan. Umumnya energi yang dipakai adalah listrik, listrik menghasilkan emisi CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, 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*.

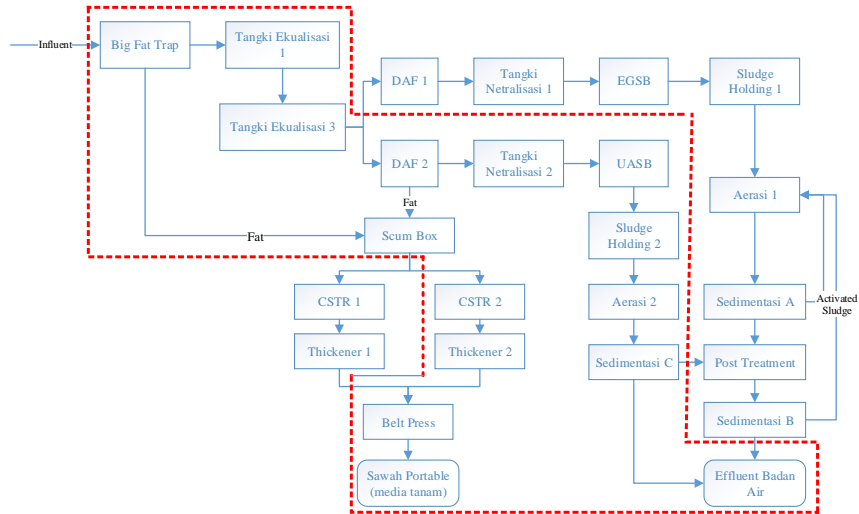


Gambar 1 Tahapan-tahapan dalam LCA

## 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	TanPakal	665946		
		Litrik	MWh/Pakal	122,49		
	Output	Fat	TanPakal	2,45		
		Air Limbah	TanPakal	666116		
	Emiriko Air	Ammonia (NH3-N)	TanPakal	3,92329		
		TSS	TanPakal	319,82		
		COD	TanPakal	1491,12		
		Minyak Lemak	TanPakal	1,53826		
		BOD	TanPakal	284,055		
		Tembaga	TanPakal	2,51921		
Besi		TanPakal	0,19432			
Emiriko Udara		CO2	TanPakal	115,652		
Ekualisasi 1	Input	Air Limbah	TanPakal	640114		
		Litrik	MWh/Pakal	195,413		
	Output	Air Limbah	TanPakal	637229		
		Ammonia (NH3-N)	TanPakal	6,46794		
	Emiriko Air	TSS	TanPakal	1452,16		
		COD	TanPakal	2995,47		
		Minyak Lemak	TanPakal	0,32816		
		BOD	TanPakal	592,029		
		Tembaga	TanPakal	2,04483		
		Besi	TanPakal	2,31828		
Emiriko Udara		CO2	TanPakal	172,419		
Emiriko Udara		CO2	TanPakal	437229		
Ekualisasi 3	Input	Air Limbah	TanPakal	415173		
		Litrik	MWh/Pakal	121,832		
	Output	Fat	TanPakal	2,42		
		Air Limbah	TanPakal	415335		
	Emiriko Air	Ammonia (NH3-N)	TanPakal	415173		
		TSS	TanPakal	1211,21		
		COD	TanPakal	2742,32		
		Minyak Lemak	TanPakal	6,06374		
		BOD	TanPakal	352,414		
		Tembaga	TanPakal	1,64553		
Besi		TanPakal	1,07016			
Emiriko Udara		CO2	TanPakal	114,737		
DAF	Input	Air Limbah	TanPakal	415173		
		Litrik	MWh/Pakal	145,594		
	Output	Air Limbah	TanPakal	32,3028		
		NaOH	TanPakal	46,174		
	Emiriko Air	Ammonia (NH3-N)	TanPakal	6,29545		
		TSS	TanPakal	277,455		
		COD	TanPakal	925,522		
		Minyak Lemak	TanPakal	0,14227		
		BOD	TanPakal	193,749		
		Tembaga	TanPakal	5,73244		
Besi		TanPakal	3,44542			
Emiriko Udara		CO2	TanPakal	124,538		
Netralisasi	Input	Air Limbah	TanPakal	416171		
		Litrik	MWh/Pakal	6,9424		
	Output	NaOH	TanPakal	21,525		
		Air Limbah	TanPakal	415697		
	Emiriko Air	Ammonia (NH3-N)	TanPakal	0,25102		
		TSS	TanPakal	165,174		
		COD	TanPakal	339,324		
		Minyak Lemak	TanPakal	0,49485		
		BOD	TanPakal	152,247		
		Tembaga	TanPakal	1,10248		
Besi		TanPakal	1,2923			
Emiriko Udara		CO2	TanPakal	0,23333		
UASB	Input	Air Limbah	TanPakal	415191		
		Litrik	MWh/Pakal	121,904		
	Output	Air Limbah	TanPakal	422591		
		Ammonia (NH3-N)	TanPakal	0,21129		
	Emiriko Air	TSS	TanPakal	95,086		
		COD	TanPakal	122,444		
		Minyak Lemak	TanPakal	1,42407		
		BOD	TanPakal	22,491		
		Tembaga	TanPakal	0,16324		
		Besi	TanPakal	0,24982		
Emiriko Udara		CH4	TanPakal	24945,4		
Emiriko Udara		CO2	TanPakal	114,794		
Sludge Holding	Input	Air Limbah	TanPakal	422551		
		Litrik	MWh/Pakal	4,2484		
	Output	Air Limbah	TanPakal	52115		
		Ammonia (NH3-N)	TanPakal	0,10134		
	Emiriko Air	TSS	TanPakal	52,9541		
		COD	TanPakal	112,51		
		Minyak Lemak	TanPakal	1,25824		
		BOD	TanPakal	22,3433		
		Tembaga	TanPakal	0,1854		
		Besi	TanPakal	0,27379		
Emiriko Udara		CO2	TanPakal	3,49423		
Aerasi		Input	Air Limbah	TanPakal	531189	
	Litrik		MWh/Pakal	111,64		
	Output	Air Limbah	TanPakal	578401		
		Ammonia (NH3-N)	TanPakal	0,28578		
	Emiriko Air	TSS	TanPakal	5,27524		
		COD	TanPakal	159,201		
		Minyak Lemak	TanPakal	0,22262		
		BOD	TanPakal	26,2287		
		Tembaga	TanPakal	0,46248		
		Besi	TanPakal	0		
Emiriko Udara		CO2	TanPakal	947,163		
Sedimentasi		Input	Air Limbah	TanPakal	571669	
	Litrik		MWh/Pakal	23,4759		
	Output	Air Limbah	TanPakal	571669		
		Ammonia (NH3-N)	TanPakal	0,22583		
	Emiriko Air	TSS	TanPakal	442545		
		CO2	TanPakal	36,294		
		Minyak Lemak	TanPakal	1,01333		
		BOD	TanPakal	4,34811		
		Tembaga	TanPakal	0,01811		
		Besi	TanPakal	0		
Emiriko Udara		CO2	TanPakal	24,4259		
Scum Box		Input	Sludge Cair	TanPakal	94,854	
	Litrik		MWh/Pakal	15,23		
	Output	Sludge cair	TanPakal	94,854		
		Emiriko Udara	CO2	TanPakal	22,1636	
	CSTR	Input	Sludge Cair	TanPakal	94,854	
			Litrik	MWh/Pakal	121,37	
		Output	Sludge cair	TanPakal	94,854	
			Emiriko Udara	CH4	TanPakal	9,4
		Thickener	Input	Sludge Cair	TanPakal	94,854
				CH4	TanPakal	9,4
Output			Sludge cair	TanPakal	94,854	
			Emiriko Udara	CO2	TanPakal	35,8211
Belt Press			Input	Sludge Padat	MWh/Pakal	3,42
				Litrik	MWh/Pakal	35,821
	Output		Sludge Padat	TanPakal	35,821	
			Emiriko Udara	CH4	TanPakal	5,2
	Emiriko Udara		CO2	TanPakal	2,5414	

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. Intepretasi 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.