



# ANALISIS *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA) PADA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) RUMAH SAKIT PUPUK KALTIM BONTANG

Edhi Sarwono<sup>1\*</sup>, Dwi Ermawati Rahayu<sup>1</sup>, Hairul Huda<sup>2</sup>, Ibrahim<sup>1</sup>, dan Muhammad Iqbal Buraka<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman  
Jalan Sambaliung No. 9 Kampus Gunung Kelua Samarinda

\*Korespondensi penulis: [e.sarwono@unmul.ac.id](mailto:e.sarwono@unmul.ac.id)

## ABSTRAK

Rumah sakit adalah institusi yang menyediakan pelayanan kesehatan bagi masyarakat. Limbah yang dihasilkan oleh rumah sakit, termasuk limbah cair, berasal dari pasien dan pengunjung, seperti feses, urine dan darah. Limbah ini dapat berdampak negatif pada kualitas lingkungan dan menimbulkan risiko kesehatan bagi penduduk di sekitar rumah sakit. Untuk mengatasi masalah ini, air limbah dari rumah sakit diolah di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) agar layak dibuang ke badan air. Salah satu cara untuk mengendalikan dampak lingkungan adalah dengan melakukan analisis dampak lingkungan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi eksisting dan mengevaluasi dampak lingkungan dari pengolahan air limbah di rumah sakit pupuk Kaltim, serta memberikan rekomendasi kepada perusahaan untuk perbaikan berkelanjutan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode LCA dengan menggunakan *software* Simapro. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sumber dampak lingkungan dari pengolahan air limbah di Rumah Sakit Pupuk Kaltim di IPAL berasal dari enam unit kolam. Kolam-kolam ini menyebabkan 18 jenis dampak lingkungan, termasuk pemanasan global, penipisan ozon, pembentukan ozon (vegetasi dan manusia), pengasaman, eutrofikasi daratan, eutrofikasi perairan EP(N) dan EP(P), toksisitas terhadap manusia di udara, air, dan tanah, ekotoksitas air kronis dan akut, ekotoksitas tanah kronis, limbah berbahaya, lumpur, limbah massal dan limbah radioaktif. Berdasarkan identifikasi titik hotspot, Tangki Septik III adalah unit proses yang memiliki kontribusi terbesar terhadap dampak perubahan iklim dengan skor 1,32 Pt.

**Kata Kunci:** Air Limbah Rumah Sakit, Biofilter Aerobik, LCA, Perubahan Iklim.

## 1. Pendahuluan

Rumah sakit adalah institusi pelayanan kesehatan yang berbeda dari yang lainnya dan dipengaruhi oleh perkembangan ilmu kesehatan, kemajuan teknologi, dan kondisi sosial ekonomi masyarakat. Rumah sakit harus terus meningkatkan kualitas pelayanan yang bermutu dan terjangkau agar dapat mencapai tingkat kesehatan yang optimal. Sebagai fasilitas pelayanan kesehatan yang bersifat sosial ekonomis, rumah sakit memiliki fungsi dan tugas memberikan pelayanan kesehatan yang komprehensif kepada masyarakat.

Sebagai salah satu fasilitas pelayanan kesehatan yang melibatkan berbagai personel, rumah sakit tentunya juga menghasilkan produk sampingan berupa limbah. Limbah yang dihasilkan oleh rumah sakit, termasuk limbah cair, umumnya berasal dari pasien dan pengunjung, seperti feses, urine dan darah. Berbagai limbah cair tersebut kemudian dialirkan dan diolah pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Hasil dari IPAL rumah sakit tersebut dialirkan ke badan air di sekitar rumah sakit, dimana memiliki potensi berdampak pada masyarakat di sekitarnya. Oleh karena itu, perlu adanya analisis dampak IPAL rumah sakit terhadap lingkungan, salah satunya adalah menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Ada 7 (tujuh) prinsip dasar LCA yaitu perspektif daur hidup, fokus lingkungan, pendekatan relatif dan unit fungsional, pendekatan iteratif, transparansi, komprehensif, dan prioritas pendekatan ilmiah. LCA dapat diterapkan untuk berbagai tujuan oleh para pemrakarsa.



Penelitian ini bertujuan untuk memahami kondisi eksisting dampak lingkungan dari pengelolaan air limbah di Rumah Sakit Pupuk Kaltim Bontang melalui analisis *Life Cycle Assessment (LCA)*. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi dampak lingkungan berdasarkan pendekatan LCA pada pengelolaan air limbah di rumah sakit tersebut, serta memberikan rekomendasi perbaikan untuk mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh unit instalasi pengelolaan air limbah di Rumah Sakit Pupuk Kaltim Bontang.

## 2. Metode Penelitian

Waktu penelitian dilakukan selama 12 bulan, dengan tempat penelitian dilakukan di Rumah Sakit Pupuk Kaltim yang berlokasi di Kecamatan Bontang Utara, Kota Bontang, Kalimantan Timur. Pada penelitian ini, dilakukan pengumpulan data primer dengan dilakukan uji laboratorium dengan parameter yang di uji yaitu pH, BOD, COD, dan Total Nitrogen. Data sekunder dari basis data (*database*), buku, hasil penelitian terdahulu, maupun SNI yang dapat menjadi acuan dalam pengumpulan data, dan analisis data.

### Alat dan Bahan

Perangkat dan *software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Laptop HP, Intel Core i5-7200U with Radeon Graphics 2.50 GHz, RAM 4 GB, Windows 10 Pro, *Software SimaPro 9.5.0.0*, dan *Software Microsoft Office 2016*.

### Pengumpulan Data

Tahap ini dilakukan untuk mengumpulkan semua data terkait yang mendukung jalannya penelitian, yang bertujuan untuk memperoleh kumpulan data yang diperlukan dalam proses *input* dan *output* pada setiap sistem atau unit di IPAL. Pada IPAL Rumah Sakit Pupuk Kaltim tersebut, unit yang diambil sampel materialnya ialah Tangki Septik Operasional, Tangki Septik III, Bak Pengumpul, *Trickling Filter*, Bak Kontak Klorinasi, dan Kolam Bioindikator. Pengumpulan data tersebut ada yang diukur langsung di lapangan, ada yang diambil sampelnya untuk diuji lebih lanjut di laboratorium, serta ada yang ditentukan melalui perhitungan dengan menggunakan panduan dari IPCC dan US UPE. Pengumpulan data ini akan menggambarkan *Life Cycle Inventory*, yang mencakup bahan baku sebagai *input* (material dan energi) serta *output* (produk, produk sampingan, dan emisi) ke lingkungan. Untuk uraian rinci dari data yang dibutuhkan dalam melakukan analisis LCA dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1.** Pengumpulan Data

Unit	Material	Satuan	Sumber Data
Tangki Septik Operasional	<b>Input</b>		
	Debit Ruang Perawatan	m <sup>3</sup> /day	Pengukuran
	<b>Output</b>		
	<i>Sludge</i>	kg/day	Perhitungan
	Debit Tangki Septik Operasional	m <sup>3</sup> /day	Pengukuran
	<b>Emisi Air</b>		
	BOD	kg/day	Data Primer
	COD	kg/day	Data Primer
	T-N	kg/day	Data Primer
	pH		Data Primer
	<b>Emisi Udara</b>		
	CH <sub>4</sub>	kg/day	Perhitungan IPCC
	N <sub>2</sub> O	kg/day	Perhitungan IPCC
	CO <sub>2</sub>	kg/day	Perhitungan US UPE



Unit	Material	Satuan	Sumber Data
Tangki Septik III	<b>Input</b>		
	Debit Dapur dan Laundry	m <sup>3</sup> /day	Pengukuran
	<b>Output</b>		
	Sludge	kg/day	Perhitungan
	Debit Tangki Septik III	m <sup>3</sup> /day	Pengukuran
	<b>Emisi Air</b>		
	BOD	kg/day	Data Primer
	COD	kg/day	Data Primer
	T-N	kg/day	Data Primer
	pH		Data Primer
	<b>Emisi Udara</b>		
	CH <sub>4</sub>	kg/day	Perhitungan IPCC
	N <sub>2</sub> O	kg/day	Perhitungan IPCC
	CO <sub>2</sub>	kg/day	Perhitungan US UPE
Bak Pengumpul	<b>Input</b>		
	Debit Tangki Septik Operasional	m <sup>3</sup> /day	Pengukuran
	Debit Tangki Septik III	m <sup>3</sup> /day	Pengukuran
	<b>Output</b>		
	Sludge	kg/day	Perhitungan
	<b>Emisi Air</b>		
	BOD	kg/day	Data Primer
	COD	kg/day	Data Primer
	T-N	kg/day	Data Primer
	pH		Data Primer
	<b>Emisi Udara</b>		
	CH <sub>4</sub>	kg/day	Perhitungan IPCC
	N <sub>2</sub> O	kg/day	Perhitungan IPCC
	CO <sub>2</sub>	kg/day	Perhitungan US UPE
Trickling Filter	<b>Input</b>		
	Debit Bak Pengumpul	m <sup>3</sup> /day	Pengukuran
	<b>Output</b>		
	Sludge	kg/day	Perhitungan
	Debit <i>Trickling Filter</i>	m <sup>3</sup> /day	Pengukuran
	<b>Emisi Air</b>		
	BOD	kg/day	Data Primer
	COD	kg/day	Data Primer
	T-N	kg/day	Data Primer
	pH		Data Primer
	<b>Emisi Udara</b>		
	CH <sub>4</sub>	kg/day	Perhitungan IPCC
	N <sub>2</sub> O	kg/day	Perhitungan IPCC
	CO <sub>2</sub>	kg/day	Perhitungan US UPE
Bak Kontak Klorinasi	<b>Input</b>		
	Debit <i>Trickling Filter</i>	m <sup>3</sup> /day	Pengukuran
	Klorinasi	kg/day	Perhitungan



Unit	Material	Satuan	Sumber Data
	Listrik	Kwh	Data Spesifikasi
	<b>Output</b>		
	Sludge	kg/day	Perhitungan
	Debit Bak Kontak Klorinasi	m <sup>3</sup> /day	Pengukuran
	<b>Emisi Air</b>		
	BOD	kg/day	Data Primer
	COD	kg/day	Data Primer
	T-N	kg/day	Data Primer
	pH		Data Primer
	<b>Emisi Udara</b>		
	CH <sub>4</sub>	kg/day	Perhitungan IPCC
	N <sub>2</sub> O	kg/day	Perhitungan IPCC
	CO <sub>2</sub>	kg/day	Perhitungan US UPE
	Kolam Bioindikator	<b>Input</b>	
Debit Bak Kontak Klorinasi		m <sup>3</sup> /day	Pengukuran
<b>Output</b>			
Sludge		kg/day	Perhitungan
Debit Kolam Bioindikator		m <sup>3</sup> /day	Pengukuran
<b>Emisi Air</b>			
BOD		kg/day	Data Primer
COD		kg/day	Data Primer
T-N		kg/day	Data Primer
pH			Data Primer
<b>Emisi Udara</b>			
CH <sub>4</sub>		kg/day	Perhitungan IPCC
N <sub>2</sub> O		kg/day	Perhitungan IPCC
CO <sub>2</sub>		kg/day	Perhitungan US UPE

### Analisis Life Cycle Assessment (LCA) dengan Software SimaPro

Hasil dari pengumpulan data yang tercantum dalam Tabel 1 dilanjutkan dengan analisis data menggunakan Software SimaPro 9.5.0.0. Terdapat sejumlah tahapan yang harus dilakukan dalam melakukan analisis LCA, yakni tahapan *goal and scope*, *Life Cycle Inventory (LCI)*, *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)*, dan interpretasi. Melalui analisis ini, dapat ditentukan kategori dampak lingkungan apakah yang memiliki bobot atau skor tertinggi yang ditemukan pada unit proses dan material yang terlibat dalam IPAL Rumah Sakit Pupuk Kaltim.

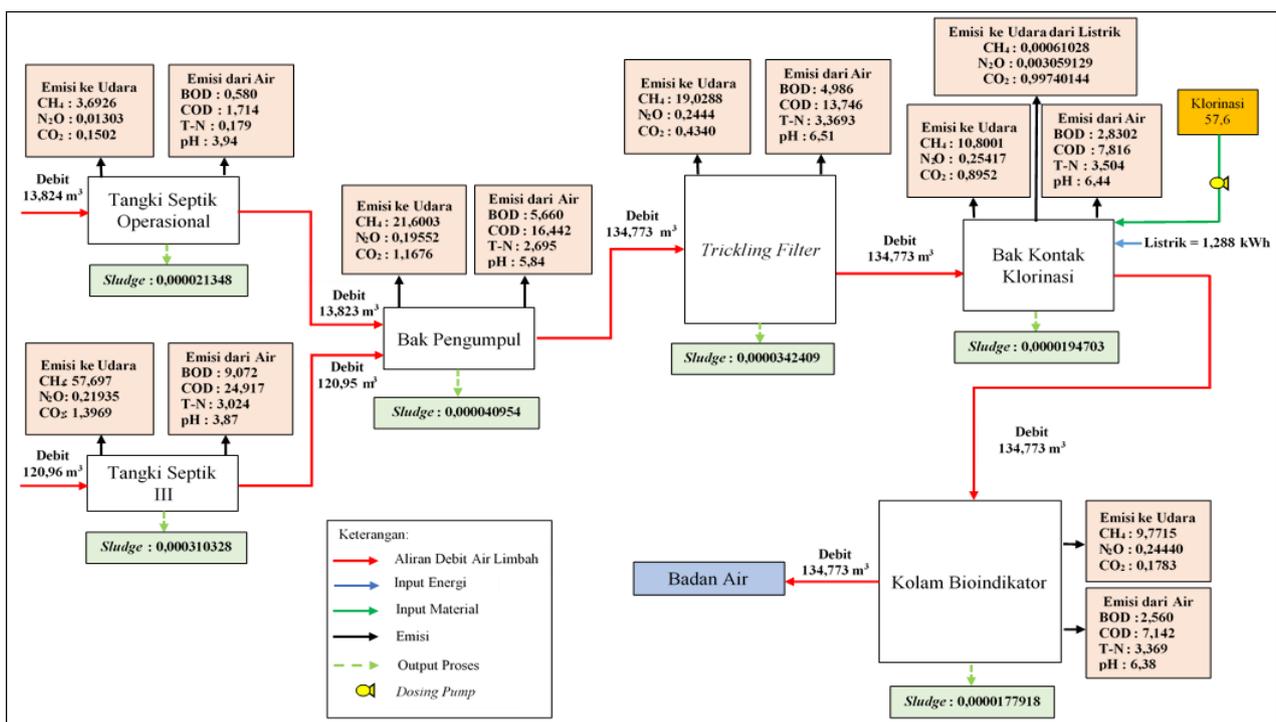
### 3. Hasil dan Pembahasan

Tahap *Life Cycle Inventory (LCI)* merupakan tahap pengumpulan data berupa material input, kebutuhan energi dan, emisi gas, emisi air, *output*, dan pelepasan lainnya untuk semua siklus hidup pada produk dalam setiap proses. Pada tahap ini, semua data yang relevan diatur dan dikumpulkan dari hasil analisis *inventory* per unit proses pengolahan limbah cair rumah sakit. Adapun data-data yang dibutuhkan menyesuaikan dengan *list* yang terdapat pada Tabel 1. Untuk data primer, dilakukan pengujian parameter di laboratorium dengan sampel yang diambil pada unit-unit yang ada pada IPAL Rumah Sakit Pupuk Kaltim, diantaranya ialah pH, BOD, COD, dan Total Nitrogen. Mengacu pada hasil dari pengujian laboratorium, dilakukan perhitungan



jumlah emisi GRK yaitu metana, dinitrogen oksida, karbon dioksida, dan juga perhitungan *sludge* pada setiap unit proses IPAL.

Tahap *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) bertujuan untuk mengevaluasi pentingnya dampak lingkungan potensial berdasarkan hasil inventarisasi siklus hidup (LCI). Proses ini menghubungkan data yang telah diinventarisasi dengan kategori dampak lingkungan tertentu dan indikator kategori yang akan dianalisis menggunakan *software* SimaPro versi 9.5.0.0. Untuk mengetahui aliran proses dalam pengolahan air limbah di IPAL Rumah Sakit, maka digunakan diagram alir *mass and energy balance* (neraca massa dan energi), sehingga alur transfer energi, material dan emisi menjadi lebih jelas. Selain itu, neraca massa dan energi ini digunakan sebagai kesetimbangan massa dan energi dari setiap unit proses yang akan dianalisis. Untuk visualisasi neraca massa dan energi IPAL Rumah Sakit Pupuk Kaltim dapat diamati pada Gambar 1.



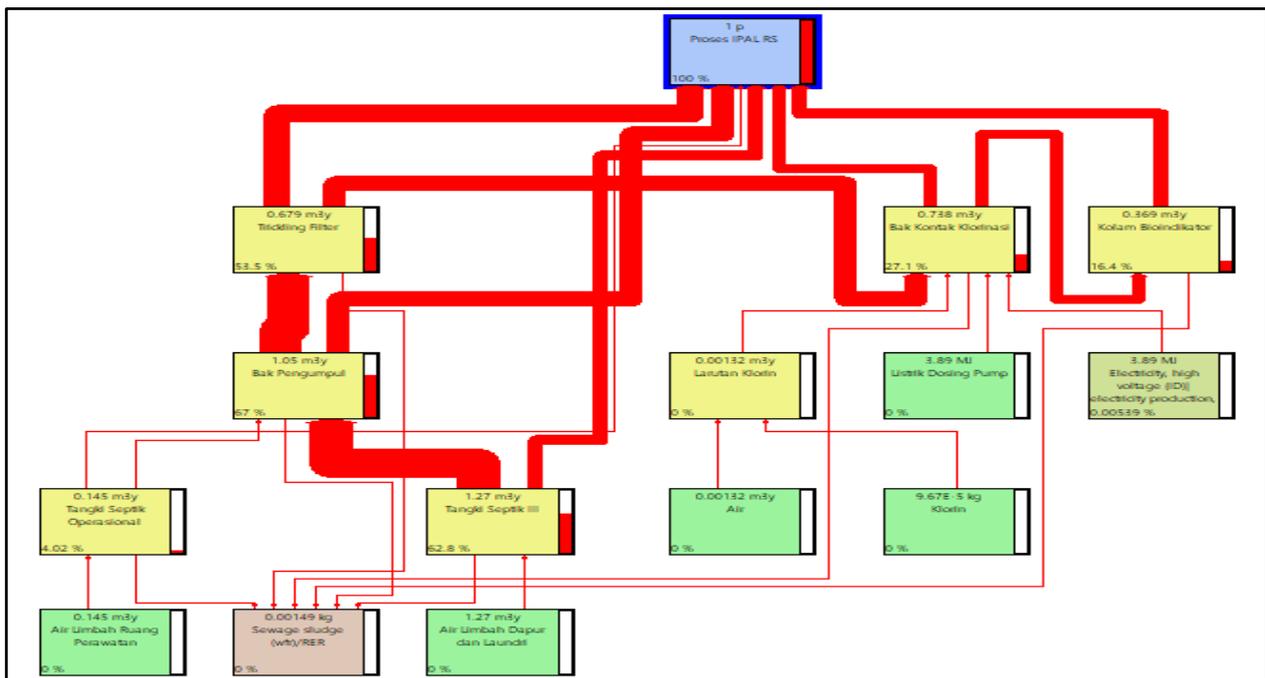
Gambar 1. Konsentrasi Emisi dan Energi IPAL Rumah Sakit

Berdasarkan Gambar 1 di atas, dapat terlihat bahwa dalam proses pengolahan limbah Rumah Sakit Pupuk Kaltim melalui IPAL, terdapat sebanyak  $13,824 \text{ m}^3/\text{hari}$  limbah yang masuk ke Tangki Septik Operasional serta sebanyak  $120,96 \text{ m}^3/\text{hari}$  limbah yang masuk ke Tangki Septik III. Kemudian, limbah yang berasal dari kedua tangki tersebut dikumpulkan pada Bak Pengumpul, yang selanjutnya diolah dalam unit *Trickling Filter*. Unit ini digunakan untuk menurunkan parameter BOD, COD, dan Total Nitrogen serta menaikkan nilai pH untuk mendekati kondisi yang netral (pH 7) yang terdapat pada air limbah. Selanjutnya, air limbah yang terolah diteruskan ke Bak Kontak Klorinasi untuk dilakukan proses disinfeksi dengan tujuan untuk membunuh atau mematikan bakteri patogen serta vektor penyakit yang masih ada di dalam air. Setelah itu, hasil olahan dialirkan menuju Kolam Bioindikator untuk dicek apakah air olahan telah memenuhi buku mutu yang dipersyaratkan atau tidak sebelum dibuang ke badan air. Adapun debit limbah yang dibuang ialah sebesar  $134,773 \text{ m}^3/\text{hari}$ . Selain itu, dihitung pula besarnya emisi yang di-*release* ke udara serta *sludge* yang dihasilkan dari masing-masing unit yang dianalisis dalam penelitian ini.



Penelitian ini menggunakan metode yang telah tersedia di *software* SimaPro 9.5.0.0 yakni metode EDIP 2003. Metode EDIP 2003 merupakan metodologi penilaian dampak yang mengimplementasikan pendekatan gabungan *endpoint/damage* yang sesuai, menghubungkan semua jenis inventaris siklus hidup. Pada *software* SimaPro 9.5.0.0, ketika telah melakukan penilaian dampak lingkungan, *software* akan menghasilkan representasi dampak berupa *network result*, *damage assessment* (*characterization*, *weighting*, *normalization*, dan *single score*).

*Network result* terlihat dari adanya garis merah pada setiap proses yang menunjukkan dampak lingkungan dari seluruh proses pengolahan air limbah rumah sakit. Semakin tebal garis merah, semakin besar dampak yang ditimbulkan oleh suatu proses. Berdasarkan Gambar 2, diketahui bahwa unit proses *Trickling Filter* memberikan kontribusi terbesar terhadap dampak lingkungan, dengan persentase sebesar 55,5%. Garis merah yang menghubungkan setiap unit proses pada *Trickling Filter* terlihat lebih tebal dibandingkan unit lainnya.



Gambar 2. Network Result IPAL Rumah Sakit

*Characterization* merupakan proses identifikasi dampak proses pengolahan air limbah rumah sakit terhadap lingkungan. Pada tahap ini, setiap kategori dampak akan dikalikan dengan *characterization factor* untuk menggambarkan kontribusi dampak dari sistem yang dievaluasi. Input dan output dari setiap unit proses akan mempengaruhi nilai hasil dari masing-masing kategori dampak [1]. Untuk hasil *characterization* yang telah dilakukan dapat diamati pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Characterization

Kategori Dampak	Unit Proses						Total	Unit
	*TS OP	*TS III	*BP	*TF	*BK	*KB		
Global Warming	86	1,35E+3	1,97E+3	2,47E+3	1,17+E3	1,46E+3	8,51E+3	kg CO <sub>2</sub> eq
ozone depletion	-	-	-	-	5,54E-9	5,54E-9	1,11E-6	kg CFC <sub>11</sub> eq



Kategori Dampak	Unit Proses						Total	Unit
	*TS OP	*TS III	*BP	*TF	*BK	*KB		
<i>ozone formation (vegetation)</i>	1,33E+3	2,08E+4	2,99E+4	3,67E+4	1,7E+4	2,06E+4	1,26E+5	m <sup>2</sup> .ppm.h
<i>ozone formation (human)</i>	0,107	1,67	2,41	2,96	1,37	1,66	10,2	person.ppm.h
<i>Acidification</i>	-	-	-	-	0,00241	0,00241	0,00482	m <sup>2</sup>
<i>terrestrial eutrophication</i>	-	-	-	-	0,0052	0,0052	0,0104	m <sup>2</sup>
<i>aquatic eutrophication EP(N)</i>	-	-	-	-	2,11E-5	2,11E-5	4,21E-5	kg N
<i>aquatic eutrophication EP(P)</i>	-	-	-	-	8,14E-6	8,14E-6	1,63E-5	kg P
<i>human toxicity air</i>	1,48E+3	2,5E+4	4,87E+4	7,66E+4	4,58E+4	7,36E+4	2,71E+5	Person
<i>human toxicity water</i>	-	-	-	-	1,63	1,63	3,27	m <sup>3</sup>
<i>human toxicity soil</i>	-	-	-	-	0,0202	0,0202	0,0405	m <sup>3</sup>
<i>ecotoxicity water chronic</i>	-	-	-	-	30,5	30,5	61	m <sup>3</sup>
<i>ecotoxicity water acute</i>	-	-	-	-	4,57	4,57	9,15	m <sup>3</sup>
<i>ecotoxicity soil chronic</i>	-	-	-	-	1,25	1,25	2,5	m <sup>3</sup>
<i>hazardous waste</i>	-	-	-	-	2,24E-5	2,24E-5	4,48E-5	kg
<i>Slags</i>	-	-	-	-	6E-6	6E-6	1,2E-5	kg
<i>bulk waste</i>	-	-	-	-	0,0082	0,0082	0,0164	kg
<i>radioactive waste</i>	-	-	-	-	7,09E-8	7,09E-8	1,42E-7	kg
*TS OP : Tangki Septik Operasional      *TF : <i>Trickling Filter</i> *BK : Bak Kontak Klorinasi *TS III : Tangki Septik III                *BP : Bak Pengumpul      *KB : Kolam Bioindikator								

Normalisasi adalah tahap penyetaraan satuan sesuai dengan kategori dampak yang ada. Proses ini menganalisis kontribusi masing-masing dampak terhadap total kerusakan dengan menggunakan faktor normalisasi. Faktor normalisasi dihitung dengan membagi dampak per unit emisi oleh total dampak semua zat dalam kategori tertentu, faktor karakterisasinya dinyatakan per orang per tahun. Hasil tahap ini diperoleh dengan mengalikan hasil karakterisasi dengan faktor normalisasi. Nilai kategori dampak dari karakterisasi dibagi dengan nilai normal, sehingga semua kategori dampak menggunakan satuan yang sama untuk memungkinkan perbandingan antar nilai tersebut [2]. Untuk hasil *normalization* yang telah dilakukan dapat diamati pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Nilai *Normalization* IPAL Rumah Sakit Pupuk Kaltim

Kategori Dampak	Unit Proses						Total
	*TS OP	*TS III	*BP	*TF	*BK	*KB	
<i>Global Warming</i>	0,0111	0,174	0,255	0,319	0,151	0,188	1,1
<i>ozone depletion</i>	-	-	-	-	2,71E-7	2,71E-7	5,41E-7
<i>ozone formation (vegetation)</i>	0,0223	0,349	0,502	0,617	0,286	0,345	2,12
<i>ozone formation (human)</i>	0,0377	0,589	0,847	1,04	0,483	0,583	3,58
<i>Acidification</i>	-	-	-	-	6,12E-6	6,12E-6	1,22E-5
<i>terrestrial eutrophication</i>	-	-	-	-	3,8E-6	3,8E-6	7,59E-6



Kategori Dampak	Unit Proses						Total
	*TS OP	*TS III	*BP	*TF	*BK	*KB	
<i>aquatic eutrophication EP(N)</i>	-	-	-	-	2,53E-6	2,53E-6	5,06E-6
<i>aquatic eutrophication EP(P)</i>	-	-	-	-	2,89E-5	2,89E-5	5,78E-5
<i>human toxicity air</i>	3,13E-6	5,27E-5	0,000103	0,000162	9,66E-5	0,000155	0,000572
<i>human toxicity water</i>	-	-	-	-	3,46E-5	3,46E-5	6,92E-5
<i>human toxicity soil</i>	-	-	-	-	2,51E-6	2,51E-6	5,02E-6
<i>ecotoxicity water chronic</i>	-	-	-	-	8,32E-6	8,32E-6	1,66E-5
<i>ecotoxicity water acute</i>	-	-	-	-	6,86E-6	6,86E-6	1,37E-5
<i>ecotoxicity soil chronic</i>	-	-	-	-	1,71E-5	1,71E-5	3,42E-5
<i>hazardous waste</i>	-	-	-	-	1,08E-6	1,08E-6	2,16E-6
<i>Slags</i>	-	-	-	-	1,72E-8	1,72E-8	3,43E-8
<i>bulk waste</i>	-	-	-	-	6,08E-6	6,08E-6	1,22E-5
<i>radioactive waste</i>	-	-	-	-	4,43E-7	4,43E-7	8,86E-7

\*TS OP : Tangki Septik Operasional    \*TF : *Trickling Filter*    \*BK : Bak Kontak Klorinasi  
 \*TS III : Tangki Septik III    \*BP : Bak Pengumpul    \*KB : Kolam Bioindikator

Pembobotan (*weighting*) adalah pengkalian nilai normalisasi dengan *weighting* faktor bagi setiap kategori kerusakan. Melalui langkah ini, dapat dilakukan perbandingan nilai-nilai dampak yang berkontribusi besar pengaruhnya terhadap lingkungan. Metode EDIP 2003 di *software* SimaPro telah memberikan standar *weighting factor* dengan nilai bobot default bernilai 1 (satu) untuk setiap kategori, maka seluruh kategori dampak akan setara. Dari tahap *weighting* seluruh kategori dampak lingkungan telah dilakukan pembobotan dan memiliki unit yang sama, yaitu Pt yang didefinisikan sebagai satu per seribu beban lingkungan yang dihasilkan rata-rata oleh satu penduduk [2]. Untuk hasil *weighting* yang telah dilakukan dapat diamati pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Nilai *Weighting* IPAL Rumah Sakit Pupuk Kaltim

Kategori Dampak	Unit Proses						Total	Unit
	*TS OP	*TS III	*BP	*TF	*BK	*KB		
<i>Global Warming</i>	0,0122	0,191	0,28	0,351	0,166	0,207	1,21	Pt
<i>ozone depletion</i>	-	-	-	-	1,7E-5	1,7E-5	3,41E-5	Pt
<i>ozone formation (vegetation)</i>	0,0268	0,419	0,602	0,74	0,344	0,415	2,55	Pt
<i>ozone formation (human)</i>	0,0452	0,707	1,02	1,25	0,58	0,7	4,3	Pt
<i>Acidification</i>	-	-	-	-	7,96E-6	7,96E-6	1,59E-5	Pt
<i>terrestrial eutrophication</i>	-	-	-	-	4,55E-6	4,55E-6	9,11E-6	Pt
<i>aquatic eutrophication EP(N)</i>	-	-	-	-	3,54E-6	3,54E-6	7,08E-6	Pt
<i>aquatic eutrophication EP(P)</i>	-	-	-	-	2,89E-5	2,89E-5	5,78E-5	Pt
<i>human toxicity air</i>	3,44E-6	5,8E-5	0,000113	0,000178	0,000106	0,000171	0,000629	Pt
<i>human toxicity water</i>	-	-	-	-	4,5E-5	4,5E-5	9E-5	Pt
<i>human toxicity soil</i>	-	-	-	-	3,01E-6	3,01E-6	6,02E-6	Pt
<i>ecotoxicity water chronic</i>	-	-	-	-	-	-	-	Pt
<i>ecotoxicity water acute</i>	-	-	-	-	-	-	-	Pt



Kategori Dampak	Unit Proses						Total	Unit
	*TS OP	*TS III	*BP	*TF	*BK	*KB		
<i>ecotoxicity soil chronic</i>	-	-	-	-	-	-	-	Pt
<i>hazardous waste</i>	-	-	-	-	1,19E-6	1,19E-6	2,38E-6	Pt
<i>Slags</i>	-	-	-	-	1,89E-8	1,89E-8	3,77E-8	Pt
<i>bulk waste</i>	-	-	-	-	6,68E-6	6,68E-6	1,34E-5	Pt
<i>radioactive waste</i>	-	-	-	-	4,87E-7	4,87E-7	9,75E-7	Pt
*TS OP : Tangki Septik Operasional    *TF : <i>Trickling Filter</i> *BK : Bak Kontak Klorinasi *TS III : Tangki Septik III    *BP : Bak Pengumpul    *KB : Kolam Bioindikator								

*Single score* adalah proses pengklasifikasian semua nilai dari kategori dampak berdasarkan proses atau material pembentuknya, baik dari input maupun output. Dalam *single score*, seluruh potensi dampak yang signifikan akan dikonversi menjadi nilai tunggal untuk setiap unit proses dan material yang memiliki dampak lingkungan. Hasil dari tahap ini memberikan informasi mengenai nilai yang paling berkontribusi terhadap dampak lingkungan di setiap unit proses dalam pengolahan air limbah rumah sakit [2]. Untuk hasil *single score* yang telah dilakukan dapat diamati pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Nilai *Single Score* IPAL Rumah Sakit Pupuk Kaltim

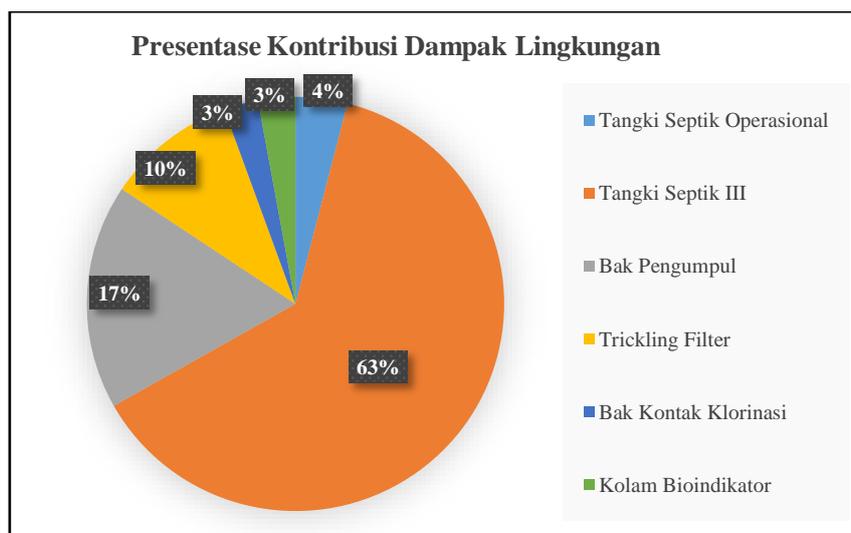
Kategori Dampak	Unit Proses						Total	Unit
	*TS OP	*TS III	*BP	*TF	*BK	*KB		
<i>Global Warming</i>	0,0122	0,191	0,28	0,351	0,166	0,207	1,21	Pt
<i>ozone depletion</i>	-	-	-	-	1,7E-5	1,7E-5	3,41E-5	Pt
<i>ozone formation (vegetation)</i>	0,0268	0,419	0,602	0,74	0,344	0,415	2,55	Pt
<i>ozone formation (human)</i>	0,0452	0,707	1,02	1,25	0,58	0,7	4,3	Pt
<i>Acidification</i>	-	-	-	-	7,96E-6	7,96E-6	1,59E-5	Pt
<i>terrestrial eutrophication</i>	-	-	-	-	4,55E-6	4,55E-6	9,11E-6	Pt
<i>aquatic eutrophication EP(N)</i>	-	-	-	-	3,54E-6	3,54E-6	7,08E-6	Pt
<i>aquatic eutrophication EP(P)</i>	-	-	-	-	2,89E-5	2,89E-5	5,78E-5	Pt
<i>human toxicity air</i>	3,44E-6	5,8E-5	0,000113	0,000178	0,000106	0,000171	0,000629	Pt
<i>human toxicity water</i>	-	-	-	-	4,5E-5	4,5E-5	9E-5	Pt
<i>human toxicity soil</i>	-	-	-	-	3,01E-6	3,01E-6	6,02E-6	Pt
<i>ecotoxicity water chronic</i>	-	-	-	-	-	-	-	Pt
<i>ecotoxicity water acute</i>	-	-	-	-	-	-	-	Pt
<i>ecotoxicity soil chronic</i>	-	-	-	-	-	-	-	Pt
<i>hazardous waste</i>	-	-	-	-	1,19E-6	1,19E-6	2,38E-6	Pt
<i>Slags</i>	-	-	-	-	1,89E-8	1,89E-8	3,77E-8	Pt
<i>bulk waste</i>	-	-	-	-	6,68E-6	6,68E-6	1,34E-5	Pt
<i>radioactive waste</i>	-	-	-	-	4,87E-7	4,87E-7	9,75E-7	Pt
*TS OP : Tangki Septik Operasional    *TF : <i>Trickling Filter</i> *BK : Bak Kontak Klorinasi *TS III : Tangki Septik III    *BP : Bak Pengumpul    *KB : Kolam Bioindikator								



Pada tahap akhir analisis, dilakukan interpretasi untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi analisis dampak lingkungan dari pengolahan limbah cair di IPAL Rumah Sakit Pupuk Kaltim. Interpretasi ini didasarkan pada hasil analisis yang diperoleh dari *software* SimaPro. Dari enam unit proses pengolahan air limbah, dapat disimpulkan bahwa proses ini menghasilkan 18 dampak lingkungan, termasuk pemanasan global, penipisan lapisan ozon, pembentukan ozon (vegetasi dan manusia), pengasaman, eutrofikasi daratan, eutrofikasi perairan EP(N) dan EP(P), toksisitas manusia di udara, air, dan tanah, ekotoksitas air kronis dan akut, ekotoksitas tanah kronis, limbah berbahaya, lumpur, limbah massal, dan limbah radioaktif.

Berdasarkan dampak lingkungan dari proses pengolahan air limbah rumah sakit, diketahui bahwa dampak terbesar adalah pembentukan ozon dan pemanasan global. Perubahan iklim merupakan masalah besar dan ancaman serius bagi semua makhluk hidup di Bumi. Perubahan iklim adalah perubahan jangka panjang dalam cuaca global atau rata-rata suatu wilayah selama sepuluh tahun terakhir, yang diakibatkan oleh peningkatan suhu permukaan bumi rata-rata per tahun. Aktivitas industri dan manusia dapat mempercepat terjadinya perubahan iklim [3, 4].

Suhu rata-rata dunia diperkirakan akan meningkat antara 1,8°C hingga 5,8°C pada abad berikutnya, dan permukaan air laut akan naik rata-rata 9 hingga 88 cm. Perubahan iklim ini dapat mempengaruhi kehidupan manusia dalam berbagai aspek, seperti kesehatan, ekosistem, dan ekonomi. Perubahan iklim yang ekstrem dan tidak stabil dapat menyebabkan penyebaran penyakit seperti demam berdarah, penyakit kulit, batuk, dan flu. Selain itu, perubahan iklim dapat mengganggu keseimbangan ekosistem, seperti badai akibat curah hujan yang tidak menentu dan kekeringan yang disebabkan oleh kenaikan suhu, yang mengakibatkan kelangkaan air. Dalam sektor pertanian, perubahan iklim dapat menyebabkan gagal panen pada padi, tebu, sayuran, dan tanaman lainnya, yang berdampak negatif pada ekonomi [5].



**Gambar 3.** Diagram kontribusi Dampak Lingkungan Dari Unit Proses

Perbaikan berkelanjutan didefinisikan sebagai pengembangan yang memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri. Berdasarkan titik *hotspot* terbesar terhadap dampak lingkungan yang dihasilkan dari unit proses pada IPAL Rumah Sakit Pupuk Kaltim yakni pada unit proses tangki septik III. Pada unit proses tangki septik III limbah berasal dari ruangan *laundry* dan dapur. Limbah *laundry* atau deterjen yang digunakan menyebabkan terakumulasinya zat organik, sehingga terjadi peningkatan nilai COD dan BOD pada air limbah [6]. Maka dari itu, alternatif perbaikan yang dapat dilakukan, yaitu limbah *laundry* dan dapur dilakukan pengolahan secara aerobik sebelum masuk ke bak



pengumpul. Pengolahan secara aerobik digunakan untuk limbah cair dengan bahan organik yang tinggi. Salah satu pengolahan aerobik adalah dengan menggunakan pengolahan biofilter aerobik.

Biofilter adalah teknologi pengolahan air limbah yang memanfaatkan pertumbuhan mikroorganisme yang menempel pada suatu media, membentuk lapisan biofilm. Proses pengolahan ini terdiri dari paking reaktor, media penyangga, biofilm, dan aliran air limbah. Media berfungsi sebagai tempat tumbuhnya mikroorganisme yang membentuk lapisan biologis, terdiri dari bakteri, jamur, ganggang, dan protozoa. Aliran air limbah melalui media penyangga membawa substrat yang berfungsi sebagai makanan bagi mikroorganisme, sehingga air limbah terdegradasi menjadi biomassa, karbon dioksida, dan air. Jenis media yang sering digunakan adalah material dengan permukaan kasar seperti kerikil atau batu kali [7]. Efisiensi dalam mereduksi beban zat organik pada limbah dengan menggunakan biofilter, yang memanfaatkan media sabut kelapa, pasir, dan karbon aktif, menunjukkan tingkat efisiensi sebesar 51,6% untuk parameter COD dan 72,42% untuk parameter BOD [8]. Untuk rincian hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

**Tabel 6.** Hasil Perbandingan LCIA Efisiensi Pengelolaan Dampak Lingkungan

Kategori Dampak	Unit Proses				Persen Reduksi Emisi
	Sebelum Perbaikan		Setelah Skenario Perbaikan		
	*TS III (Pt)	*BP (Pt)	*BA (Pt)	*BP (Pt)	
<i>Global Warming</i>	0,191	0,28	0,0452	0,134	76,3 %
<i>ozone formation (vegetation)</i>	0,419	0,602	0,0878	0,271	79 %
<i>ozone formation (human)</i>	0,707	1,02	0,148	0,458	79 %
<i>human toxicity air</i>	5,8E-5	0,000113	4,41E-5	9,92E-5	23,9 %
*TS III : Tangki Septik III		*BA : Biofilter Aerobik			
*BP : Bak Pengumpul					

Perubahan unit pengolahan tangki septik III menjadi biofilter aerobik yaitu sebelumnya pengolahan anaerobik menjadi aerobik. Pengolahan aerobik sedikit memproduksi metana karena prosesnya melibatkan dekomposisi bahan organik menggunakan oksigen, tidak seperti pengolahan anaerobik dengan proses fermentasi atau memecah bahan organik tanpa oksigen maka menghasilkan metana sebagai produk sampingan. Dengan sedikitnya metana yang dihasilkan, maka dampak kerusakan terhadap lingkungan akan terjadi penurunan terutama pada *global warming* yang menyebabkan gas rumah kaca (GRK).

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sumber dampak lingkungan pada kondisi eksisting pada pengolahan air limbah IPAL Rumah Sakit Pupuk Kaltim berasal dari enam unit kolam. Unit proses *trickling filter* adalah persentase terbesar dalam total hasil dampak lingkungan secara keseluruhan yaitu sebesar 29,1% dengan nilai 2,34 Pt. Persentase terbesar kedua dalam kontribusi terhadap hasil dampak lingkungan yang dihasilkan dari IPAL Rumah Sakit Pupuk Kaltim terdapat pada unit proses bak pengumpul sebesar 23,6% dengan nilai 1,9Pt. Persentase kontribusi terhadap hasil dampak lingkungan pada unit proses kolam bioindikator sebesar 16,4% dengan nilai 1,32 Pt. Persentase kontribusi terhadap hasil dampak lingkungan pada unit proses tangki septik III sebesar 16,4% dengan nilai 1,32 Persentase kontribusi terhadap hasil dampak lingkungan pada unit proses bak kontak klorinasi sebesar 13,5% dengan nilai 1,09 Pt. Persentase kontribusi terkecil terhadap hasil dampak lingkungan adalah pada unit proses tangki septik operasional sebesar 1,05% dengan nilai 0,0842 Pt.

Berdasarkan titik hotspot pada proses tangki septik III merupakan unit proses yang memiliki presentase kontribusi terbesar terhadap terjadinya dampak lingkungan yang dihasilkan dari IPAL Rumah Sakit Pupuk Kaltim yaitu sebesar 63%. Selanjutnya ada bak pengumpul dengan nilai presentase 17%. Pada unit *trickling filter* dengan nilai presentase 10%. Kemudian pada unit tangki septik operasional yaitu dengan nilai presentase



4%. Selanjutnya bak kontak klorinasi dengan nilai presentase 3%. Terakhir unit tangki septik operasional dengan nilai presentase 3%. Tindakan berkelanjutan yang dapat dilakukan adalah dengan penggunaan pengolahan biofilter aerobik sebelum air limbah masuk ke bak pengumpul, dimana tindakan ini layak secara lingkungan dan ekonomi.

### Referensi

- [1] G. Finnveden, dkk., "Recent developments in life cycle assessment," *Journal of Environmental Management*, vol. 227, pp. 721-728, 2019.
- [2] J. B. Guinée, "Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future," *Environmental Science & Technology*, vol. 45, no. 1, 2011.
- [3] S. Ainurrohmah, "Analisis Perubahan Iklim dan Global Warming yang Terjadi sebagai Fase Kritis," *Jurnal Pendidikan Fisika dan Terapan*, vol. 3, no. 3, 2022.
- [4] R. M. Santos dan R. Bakhshoodeh, "Climate change/global warming/climate emergency versus general climate research: comparative bibliometric trends of publications," *Heliyon*, vol. 7, no. 11, 2021.
- [5] IPCC, "Wastewater Treatment and Discharge," dalam *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Vol. 5 Waste*. Hayama, Jepang: IPCC, 2006.
- [6] U. Lusiana, "Efisiensi Pengolahan Air Limbah Deterjen Menggunakan Sistem Upflow Anaerobik Filter Dengan Aklimatisasi Lumpur Aktif," *Jurnal Biopropal Industri*, vol. 2, no. 1, 2011.
- [7] B. Switarto dan Sugito, "Aplikasi Biofilter Aerobik Untuk Menurunkan Kandungan Detergen Pada Air Limbah Laundry," *Waktu: Jurnal Teknik UNIPA*, vol. 10, no. 2, 2012.
- [8] B. K. Wardana, R. Hariwibowo, dan E. Yuliani, "Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Cair Peternakan Sapi Pada Desa Petungsewu Kecamatan Dau Kabupaten Malang Menggunakan Filtrasi dan Biofilter Anaerob," *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air (JTRESDA)*, vol. 1, no. 1, 2021.