

**ANALISIS DAMPAK PENCEMARAN LINGKUNGAN DENGAN
METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA) PADA INSTALASI
PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) PT. SURABAYA INDUSTRIAL
ESTATE RUNGKUT (SIER) SURABAYA**

Hanugrah Sinedyo Yekti dan Mohammad Mirwan

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

Email: mmirwan.tl@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Unit pengolahan limbah berpotensi menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan. PT Surabaya Industrial Estate Rungkut (SIER) merupakan perusahaan pengelola kawasan industri di Kota Surabaya. PT SIER memiliki pusat pengolahan air limbah yang dapat mengolah dan menetralkan limbah industri yang dihasilkan oleh pabrik di kawasan industri yang disalurkan ke Sungai Tambak Oso. Proses pengolahan air limbah industri dengan kontribusi terbesar dalam menimbulkan dampak dengan analisis *Life Cycle Assessment* yaitu pada unit proses *Distribution Box*, *Clarifier* Utara, *Clarifier* Selatan, *Oxidation Ditch* I, II, III, IV. Data yang dianalisis dalam penelitian ini menggunakan data beban pencemar air limbah per hari. Diperoleh *impact category* terbesar dari hasil analisis ini yaitu *respiratory inorganics* 0,334 DALY, *global warming* sebesar 252000 kg CO₂ eq, *non-renewable energy* sebesar 3730000 MJ. Alternatif program perbaikan yang dapat dilakukan untuk menurunkan dampak lingkungan yang dihasilkan oleh proses pengolahan air limbah yaitu pengolahan gas metan dengan digestasi anaerobik, pembuatan lahan terbuka hijau, dan pemantauan berkala dan pembaruan pada perangkat unit instalasi.

Kata kunci: Analisa dampak lingkungan, Instalasi Pengolahan Air Limbah, *Life Cycle Assessment* (LCA)

ABSTRACT

The treatment of waste that causes environmental pollution. PT Surabaya Industrial Estate Rungkut (SIER) is the industrial estate management company in Surabaya, East Java. PT SIER has a wastewater treatment center that processes factory waste in industrial areas to be neutralized before being channeled into the Tambak Oso River. The industrial wastewater treatment process with the largest contribution in causing an impact on the Distribution Box process unit, North Clarifier, South Clarifier, Oxidation Ditch I, II, III, IV. The data analyzed in this study used the pollutant load data of wastewater per day. The biggest impact category obtained from the results of this analysis is inorganic respiration of 0.334 DALY, global warming of 252000 kg CO₂ eq, non-renewable energy of 3730000 MJ. Improvement programs that can be carried out to reduce the environmental impact generated by the methane gas processing wastewater treatment process with anaerobic digestion, making green open land, and updating the installation unit.

Keywords: Environmental impact analysis, Wastewater Treatment Plant, *Life Cycle Assessment* (LCA)

PENDAHULUAN

Setiap jenis pengolahan air limbah berpotensi dapat mengemisikan gas rumah kaca, baik yang berasal dari proses pengolahan ataupun dari alat-alat penunjang pengoperasian. Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) mengemisikan gas rumah kaca dalam jumlah yang cukup signifikan dalam bentuk karbondioksida (CO₂), metana (CH₄), dan nitrogen oksida (N₂O) (Gupta dan Singh, 2012). Perkiraan peningkatan emisi metana dari sektor air limbah mencapai sekitar 20% dari tahun 2005 hingga 2020. Pada tahun 2000, sektor air limbah menghasilkan 3% dari total emisi nitrogen oksida. Nitrogen oksida yang berasal dari sektor air limbah di India, Cina, Amerika, dan Indonesia menyumbangkan sekitar 50% nitrogen oksida global yang diemisikan dari air limbah. Emisi nitrogen oksida dari sektor air limbah diperkirakan akan meningkat sekitar 13% dari tahun 2005 hingga 2020 (US EPA, 2006). Selain itu sektor pengolahan air limbah juga berpotensi menimbulkan eutrofikasi, yaitu kondisi perairan mengalami kadar peningkatan kadar bahan organik dan nutrien. Konsentrasi nutrien salah satunya nitrat dan ortofosfat yang tinggi dapat memicu eutrofikasi dan ledakan populasi fitoplankton (Tungka, et al., 2016).

PT Surabaya Industrial Estate Rungkut (SIER) didirikan pada tanggal 28 Februari 1974, merupakan salah satu perusahaan pengelola kawasan industri di Kota Surabaya dan tertua di Indonesia. Luas Kawasan Industri Rungkut sebesar ± 245 Ha yang menyediakan lahan bagi sekitar 267 perusahaan, terdiri dari 21 PMA dan 246 PMDN dengan tenaga kerja yang terlibat sejumlah ± 50.000 pekerja. Sedangkan Kawasan Industri Berbek yang dikembangkan sejak tahun 1985 di wilayah Kabupaten Sidoarjo memiliki luas ± 87 hektar dan memiliki kapasitas lahan bagi 103 perusahaan, diantaranya 14 PMA dan 89 PMDN, serta memiliki staf sebanyak ± 20.000 orang. Berdasarkan Undang-undang Republik Indonesia No. 3 Tahun 2014 yaitu tentang sarana dan prasarana yang diwajibkan dalam memenuhi kebutuhan industri dan lingkungan pada kawasan industri salah satunya pengolahan limbah terpadu. Namun PT SIER telah membangun pusat pengolahan air limbah dan mulai beroperasi pada tahun 1981. Pusat pengolahan air limbah ini, dapat mengolah limbah hasil industri dan rumah tangga dari

pabrik yang berada di kawasan Industri PT SIER untuk dinetralisir sebelum salurkan ke Sungai Tambak Osong.

Melihat kuantitas pada kawasan industri yang menghasilkan debit rata-rata air limbah sebesar ±5000 m³/hari yang berpotensi menimbulkan emisi, Strategi alternatif untuk menghasilkan produk yang ramah lingkungan sangat perlu dilakukan. Konsep produk ramah lingkungan bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan agar meningkatkan kualitas hidup, memahami keberlanjutan produk, dan sepanjang siklus hidup dapat menggunakan sumber daya dengan efisien. Salah satu cara untuk menentukan tingkat keberlanjutan produk adalah *Life Cycle Assessment* (LCA). *Life Cycle Assessment* (LCA) adalah metode untuk mengumpulkan data dengan detail, menilai dan mengevaluasi semua dampak lingkungan yang terkait dengan produk, proses dan aktivitas. Salah satu metode untuk mengembangkan LCA adalah dengan mempelajari dampak lingkungan dari kegiatan dalam proses produksi.

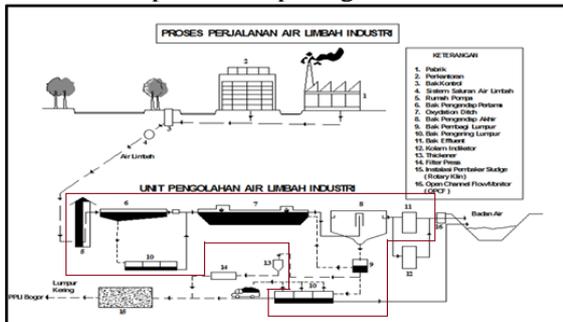
Berdasarkan uraian diatas maka perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengidentifikasi seberapa besar dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan oleh daur hidup dalam instalasi pengolahan air limbah dengan metode *life cycle assessment* untuk mengkaji dan memberikan rekomendasi perbaikan dari dampak lingkungan yang dihasilkan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Kawasan Industri PT. SIER Surabaya yang lebih ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menganalisis dampak lingkungan yang ditimbulkan akibat kegiatan proses pengolahan limbah cair industri IPAL PT. SIER Surabaya menggunakan metode *Life Cycle Assessment*. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah beban pengolahan limbah cair industri dan bahan bakar dalam pengoperasian instalasi bangunan pengolahan air limbah industri yang merupakan data sekunder yang didapatkan dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) PT. SIER Surabaya, berdasarkan ISO 14040: 2006. Pengolahan data dibantu dengan menggunakan *software* Simapro 9.1.0.11.

Penelitian ini bersifat *gate to gate* yaitu pada proses sumur pengumpul (*Collection*

tank), bak pengendap pertama (*Primary Settling Tank*), Bak Zat Terapung (*Floating Tank*), Kolam Oksidasi (*Oxidation Ditch*), Bak Pendistribusi (*Distribution Box*), Bak Pengendap Kedua (*Secondary Clarifier*), Bak *Effluent*. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari serangkaian proses pengolahan air limbah industri sehingga dapat memperoleh alternatif pengelolaan dampak lingkungan sebagai usulan perbaikan yang lebih efektif dan aplikatif. Ruang lingkup yang dianalisis dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar -1. Scope yang dianalisis.

A. Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel Independen : Data yang digunakan dalam analisis ini antara lain:
 - a. Debit dan hasil analisa pengolahan air limbah (IPAL) Kawasan Industri PT. SIER Surabaya.
 - b. Energi yang digunakan setiap tahap proses pengolahan air limbah (IPAL) Kawasan Industri PT. SIER Surabaya.
2. Variabel Dependen :
 - a. Contoh dampak lingkungan yang dihasilkan dari penelitian antara lain : *carcinogenic, respiratory inorganics, ionizing radiation, ozone layer depletion, non-carcinogens, respiratory organic, ecotoxicity, terrestrial ecotoxicity, aquatic acidification, aquatic eutrophication, terrestrial acid/nutria, land occupation, global warming, non-renewable energy* dan *mineral extraction*. Dampak - dampak tersebut dihasilkan berdasarkan metode yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan kondisi lapangan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Kawasan Industri PT. SIER Surabaya.

b. Contoh alternatif program perbaikan dalam mengelola dampak lingkungan sebagai berikut:

- 1) Alternatif 1: Pengolahan gas metan dengan cara digestasi anaerobik.
- 2) Alternatif 2: Pembuatan lahan terbuka hijau.
- 3) Alternatif 3 :Melakukan perawatan (*maintenance*) mesin secara berkala agar proses pengolahan dapat berjalan dengan efektif dan efisien. Harus ada penjadwalan perawatan mesin produksi oleh bagian teknik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

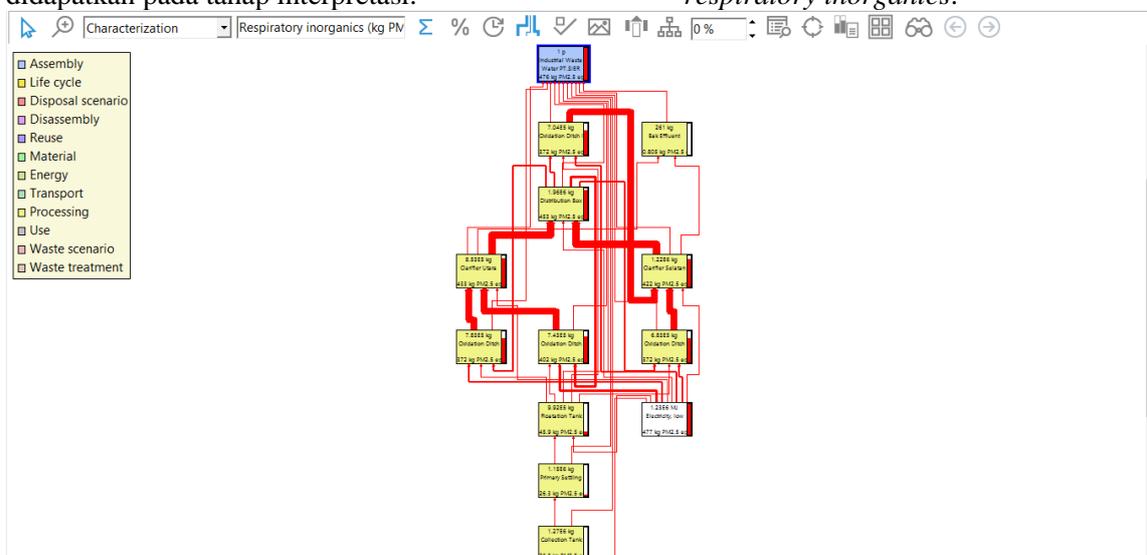
A. Pengolahan Life Cycle Assessment dengan Software SimaPro 9.1.0.11

Data penilaian dampak lingkungan diolah dengan menggunakan *software* SimaPro 9.1.0.11 diperlukan beberapa tahapan yakni penentuan *goal and scope*, *life cycle inventory (LCI)*, *life cycle impact assessment (LCIA)*, dan *interpretation data*. Lingkup penelitian ini terbatas pada unit sumur pengumpul, bak pengendap pertama, bak zat terapung, kolam oksidasi, bak pendistribusi, bak pengendap kedua, bak *effluent* pada proses pengolahan air limbah industri. Pada tahapan *Life Cycle Inventory (LCI)* dilakukan *input* data berupa konsentrasi beban pencemar dari tiap unit pengolahan dan debit tiap unit, serta jumlah energi yang dibutuhkan untuk proses pengoperasian instalasi. Pada tahap *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)* yaitu Tahapan penentuan dampak lingkungan dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu karakterisasi, normalisasi, pembobotan dan skor tunggal. Hasil interpretasi data akan menunjukkan dampak proses pada perbaikan lebih lanjut. Data yang dimasukkan dalam penelitian ini adalah data yang didapatkan dari pusat IPAL PT.SIER Surabaya. Kelemahan penggunaan *software* SimaPro salah satunya *database* tidak tersedia semua, maka harus dibantu dengan metode literatur dan melengkapi data secara individu.

B. Penyebab Dampak Lingkungan Proses Pengolahan Air Limbah Industri

Pada penelitian ini dampak lingkungan yang dianalisis adalah tiga dampak lingkungan terbesar yaitu *respiratory inorganics*, *global warming*, dan *non-renewable energy*. Identifikasi penyebab dampak lingkungan didapatkan pada tahap interpretasi.

a. Dampak *Respiratory Inorganics*
Dampak *respiratory inorganics* disebabkan oleh unit *Distribution Box*, *Clarifier Utara*, *Clarifier Selatan*, *Oxidation Ditch I, II, III, IV*. Berikut adalah *network result* yang menunjukkan unit kontributor terbesar dampak *respiratory inorganics*.



Gambar-2. Network Result Respiratory Inorganics Characterization dengan SimaPro 9.1.0.11

Nc	Substance	Comp	Unit	Total	Collection Tank	Primary Settling	Flotation Tank	Oxidation Ditch I	Oxidation Ditch II	Oxidation Ditch III	Oxidation Ditch IV	Distributio Box	Clarifier Utara	Clarifier Selatan	Bak Effluent
	Total of all compartments		kg PM2.5 eq	477	0.167	0.167	0.292	37.1	37.1	37.1	37.1	164	89.1	74.2	0.806
1	Ammonia	Air	kg PM2.5 eq	3.67	0.00128	0.00128	0.00225	0.285	0.285	0.285	0.285	1.26	0.685	0.57	0.0062
2	Nitrogen monoxide	Air	kg PM2.5 eq	1.08E-6	3.76E-10	3.76E-10	6.59E-10	8.36E-8	8.36E-8	8.36E-8	8.36E-8	3.7E-7	2.01E-7	1.67E-7	1.82E-9
3	Nitrogen oxides	Air	kg PM2.5 eq	73.2	0.0256	0.0256	0.0449	5.69	5.69	5.69	5.69	25.2	13.7	11.4	0.124
4	Particulates, < 2.5 um	Air	kg PM2.5 eq	344	0.12	0.12	0.211	26.8	26.8	26.8	26.8	118	64.4	53.5	0.582
5	Sulfur dioxide	Air	kg PM2.5 eq	55.7	0.0194	0.0194	0.0341	4.33	4.33	4.33	4.33	19.2	10.4	8.66	0.0941
6	Sulfur trioxide	Air	kg PM2.5 eq	1.67E-7	5.84E-11	5.84E-11	1.03E-10	1.3E-8	1.3E-8	1.3E-8	1.3E-8	5.76E-8	3.13E-8	2.6E-8	2.83E-10

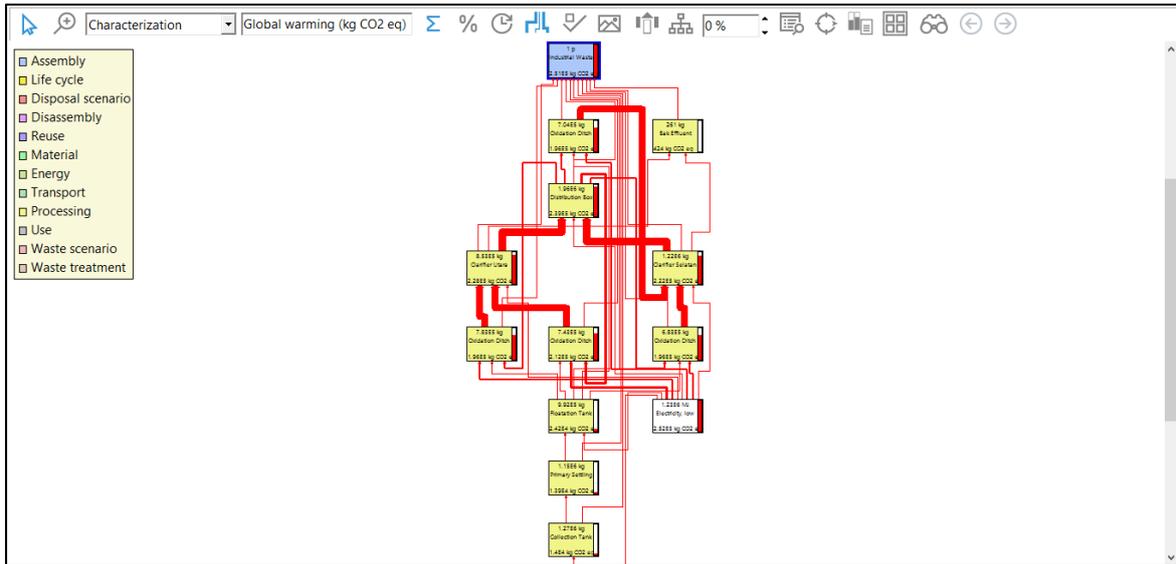
Gambar-3. Zat Pencemar Kategori Respiratory Inorganics dengan SimaPro 9.1.0.11

Berdasarkan gambar-3 hasil *running software* SimaPro 9.1.0.11 menunjukkan bahwa dampak *respiratory inorganics* ini dapat terjadi karena adanya emisi zat pencemaran yang berkontribusi terhadap *respiratory inorganics* yaitu berupa ammonia sebesar 3,67 kgPM2.5eq, nitrogen monoxide 0,00000108 kgPM2.5eq, nitrogen oxide 73,2 kgPM2.5eq, particulate <2,5 μm 344 kgPM2.5eq, sulfur dioxide 55,7 kgPM2.5eq, dan sulfur trioxide 0,000000167 kgPM2.5eq. Penyebab utama zat anorganik dapat terhirup adalah penggunaan listrik secara berlebih, karena proses produksi listrik di Indonesia masih

mengandalkan bahan bakar batu bara, sehingga pembakaran menghasilkan polusi berupa emisi debu yang banyak. Terhirupnya zat anorganik pada pernafasan diklasifikasikan sebagai dampak lingkungan terhadap kesehatan manusia dan saluran pernafasan.

b. Dampak Global Warming

Dampak *global warming* disebabkan oleh unit *Distribution Box*, *Clarifier Utara*, *Clarifier Selatan*, *Oxidation Ditch I, II, III, IV*. Berikut adalah *network result* yang menunjukkan unit kontributor terbesar dampak *global warming*.



Gambar-4. Network Result Global Warming Characterization dengan SimaPro 9.1.0.11

C:\Users\Public\Documents\SimaPro\Database\Professional\IPAL SIER - [Specification per substance of "Industrial Waste Water PT.SIER"]

File Edit Calculate Tools Window Help

Compartment: All compartments, Indicator: Characterization, Cut-off: 0.1 %

Category: Global warming

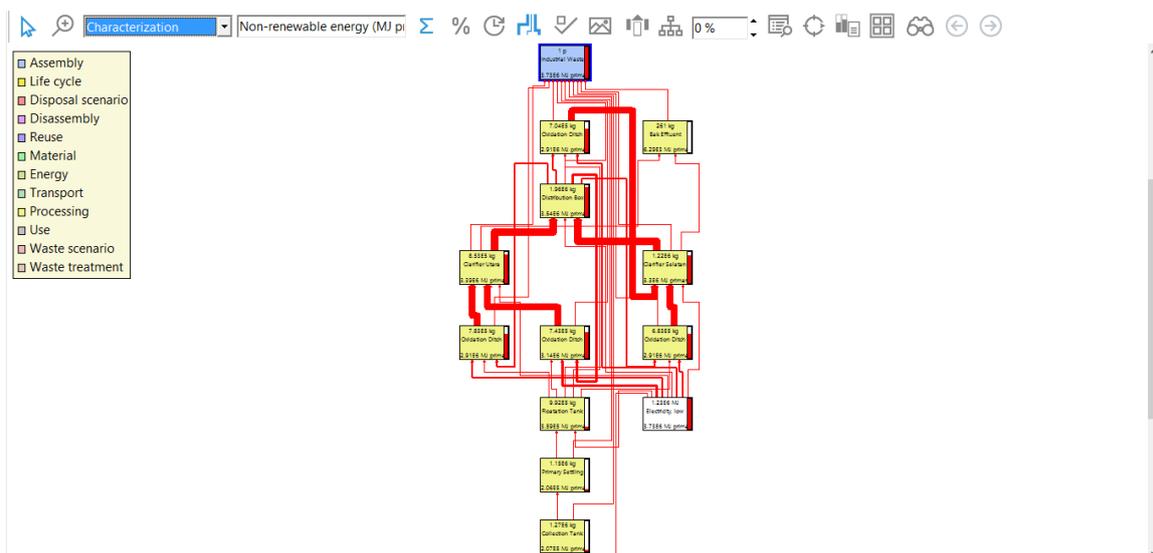
Nc	Substance	Comp	Unit	Total	Collection Tank	Primary Settling	Floatation	Oxidation Ditch I	Oxidation Ditch II	Oxidation Ditch III	Oxidation Ditch IV	Distribution Box	Clarifier Utara	Clarifier Selatan	Bak Effluent
	Total of all compartments		kg CO2 eq	2.52E5	87.8	87.8	154	1.95E4	1.95E4	1.95E4	1.95E4	8.65E4	4.7E4	3.91E4	425
	Remaining substances		kg CO2 eq	356	0.124	0.124	0.218	27.6	27.6	27.6	27.6	122	66.4	55.3	0.601
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	2.4E5	84	84	147	1.87E4	1.87E4	1.87E4	1.87E4	8.27E4	4.49E4	3.74E4	406
2	Carbon dioxide, land transform	Air	kg CO2 eq	470	0.164	0.164	0.288	36.5	36.5	36.5	36.5	162	87.8	73	0.794
3	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	1.42E3	0.495	0.495	0.868	110	110	110	110	487	265	220	2.39
4	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	7.17E3	2.5	2.5	4.39	557	557	557	557	2.46E3	1.34E3	1.11E3	12.1
5	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	1.7E3	0.593	0.593	1.04	132	132	132	132	585	318	264	2.87

Gambar-5. Zat Pencemar Kategori Global Warming dengan SimaPro 9.1.0.11

Dampak global warming ini dapat terjadi karena adanya emisi zat pencemaran yang berkontribusi menurut tabel karakterisasi kategori dampak *global warming* pada SimaPro 9.1.0.11 yaitu berupa carbon dioxide (*fossil*) sebesar 245000 kgCO₂eq, carbon dioxide (*land transformation*) sebesar 470 kgCO₂eq, dinitrogen monoxide 1420 kgCO₂eq, methane (*fossil*) 7170 kgCO₂eq, sulfur hexafluoride 1700 kgCO₂eq. Penyebab utama *global warming* dikarenakan meningkatnya emisi gas rumah kaca yang dihasilkan yaitu CO₂, CH₄, dan N₂O selama proses pengolahan dan CO₂ dari penggunaan energy IPAL

dianggap sebagai sumber emisi GRK yang berpengaruh terhadap perubahan iklim (Harjanto, et al., 2012). Hal tersebut dikarenakan pada proses pengolahan air limbah industri PT.SIER Surabaya, unit pengolahan yang paling besar beban pencemar dan penggunaan energinya ada pada *Distribution Box*, *Clarifier Utara*, *Clarifier Selatan*, *Oxidation Ditch I*, *II*, *III*, *IV*.

- c. Dampak *Non-renewable Energy*
Dampak terbesar ketiga yaitu *Non-Renewable Energy*. Berikut *network result* yang menunjukkan unit kontributor terbesar dampak *Non-Renewable Energy*.



Gambar-6. Network Result Non-renewable Energy Characterization dengan SimaPro 9.1.0.11

Nc	Substance	Comp	Unit	Total	Collection Tank	Primary Settling	Floatation Tank	Oxidation Ditch I	Oxidation Ditch II	Oxidation Ditch III	Oxidation Ditch IV	Distribution Box	Clarifier Utara	Clarifier Selatan	Bak Effluent
	Total of all compartments		MJ primary	3.73E6	1.3E3	1.3E3	2.29E3	2.9E5	2.9E5	2.9E5	2.9E5	1.28E6	6.97E5	5.8E5	6.3E3
1	Coal, brown	Raw	MJ primary	3.62E5	126	126	222	2.81E4	2.81E4	2.81E4	2.81E4	1.25E5	6.77E4	5.63E4	612
2	Coal, hard	Raw	MJ primary	1.61E6	562	562	986	1.25E5	1.25E5	1.25E5	1.25E5	5.53E5	3.01E5	2.5E5	2.72E3
3	Gas, mine, off-gas, process, coa	Raw	MJ primary	2.79E4	9.76	9.76	17.1	2.17E3	2.17E3	2.17E3	2.17E3	9.61E3	5.22E3	4.34E3	47.2
4	Gas, natural/m3	Raw	MJ primary	8.35E5	292	292	512	6.49E4	6.49E4	6.49E4	6.49E4	2.87E5	1.56E5	1.3E5	1.41E3
5	Oil, crude	Raw	MJ primary	2.65E5	92.4	92.4	162	2.06E4	2.06E4	2.06E4	2.06E4	9.1E4	4.94E4	4.11E4	447
6	Peat	Raw	MJ primary	1.58E3	0.552	0.552	0.969	123	123	123	123	544	296	246	2.67
7	Uranium	Raw	MJ primary	6.3E5	220	220	386	4.9E4	4.9E4	4.9E4	4.9E4	2.17E5	1.18E5	9.8E4	1.06E3

Gambar-7. Zat Pencemar Kategori Non-Renewable Energy dengan SimaPro 9.1.0.11

Penggunaan natural gas atau listrik pada tiap-tiap unit pengolahan yang melatar belakangi timbulnya dampak *non-renewable energy* adalah semakin berkurangnya ketersediaan gas, minyak, dan uranium yang terkandung didalam tanah. Pada Gambar-7 menunjukkan besarnya zat yang mempengaruhi dampak *non-renewable energy* antara lain *Coal, brown* sebesar 362000 MJ primary; *coal, hard* 1610000 MJ primary; *gas, mine, off-gas, process, coal* sebesar 27900 MJ primary; *gas, natural/m3* 835000 MJ primary; *oil, crude* 265000 MJ primary; *Peat* 1580 MJ primary; *uranium* 630000 MJ primary. Sumber energi yang tidak terbarukan antara lain batu bara, gas, minyak bumi, uranium, dan gas alam, dimana pemanfaatannya lebih cepat dibandingkan dibentuk kembali secara natural oleh alam (Putri, 2017). Penyebab penggunaan energi listrik terbesar pada instalasi pengolahan air limbah sama dengan yang terjadi pada dua kategori dampak sebelumnya, yaitu *Distribution Box*,

Clarifier Utara, Clarifier Selatan, Oxidation Ditch I, II, III, IV.

C. Rekomendasi Program Perbaikan

Berdasarkan hasil *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)*, diketahui dampak terbesar dari proses pengolahan air limbah IPAL PT.SIER adalah *respiratory inorganics, global warming, dan non-renewable energy*. Sedangkan unit contributor terbesar terletak pada unit *Distribution Box, Clarifier Utara, Clarifier Selatan, Oxidation Ditch I, II, III, IV*. Setelah mengetahui dampak lingkungan dan kontributor penyumbang dampak lingkungan melalui SimaPro 9.1.0.11, selanjutnya memberikan rekomendasi program perbaikan dari dampak lingkungan yang agar menjadi IPAL PT.SIER Surabaya yang lebih ramah lingkungan. Usulan perbaikan yang dapat diberikan antara lain:

1. Pengolahan Gas Metan dengan cara Digestasi Anaerobik Lumpur biologi pada IPAL industri umumnya berupa biomasa mikroba yang

komponenya didominasi dengan bahan organik (50,6-52,1%) lebih banyak mengandung protein (19,7%) dibandingkan komponen selulosa (0,2% dan lemak yang hanya (0,6%) (Nuraeni dan Ashuri, 2018). Selain itu terdapat kandungan kontaminan berupa logam berat seperti nikel, besi, kobalt yang jumlahnya jauh lebih rendah dari konsentrasi batas toksik dan penghambatan sehingga tidak mengganggu berlangsungnya proses digestasi anaerobik. Proses ini mampu meremoval kandungan CH₄= 50,4 – 64,1% dan CO₂= 18 –30%. Hasil sampingan dari proses digestasi anaerobik berupa lumpur yang kandungan unsur hara dapat digunakan sebagai bahan kompos yang memenuhi standar. Dengan cara digestasi anaerobik ini diharapkan mampu membantu mengurangi dampak *global warming* dan *respiratory inorganics* pada instalasi pengolahan air limbah yang disebabkan oleh jumlah gas metan yang terbentuk akibat dari proses pengolahan.

2. Pembuatan Lahan Terbuka Hijau
Pembuatan lahan terbuka hijau atau penanaman tumbuh-tumbuhan disekitar area instalasi pengolahan air limbah dapat mengurangi dampak *global warming* karena mampu menyerap CO₂ dan CO akibat aktivitas proses pengolahan. Reduksi CO terbesar untuk jenis pohon/tanaman Ganitri (*Elaeocarpusphaericus*) sebesar 81.53 % (0.587 ppm); jenis perdu yaitu Iriansis (*Impatien sp*) sebesar 88.61 % (0.638 ppm); Jenis semak yaitu Philoden-dron (*Philodendronsp*) sebesar 92.22 % (0.664 ppm) (Kusminingrum, 2008)
3. Pemantauan Berkala dan Pembaruan Pada Unit Instalasi
Pemantauan perangkat pada unit instalasi pengolahan harus dilakukan secara berkala. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui performa pada perangkat pendukung unit instalasi pengolahan sehingga dapat bekerja dengan maksimal dan menghindari kerusakan yang berakibat terhambatnya proses pengolahan. Selain itu juga harus dilakukan pembaruan perangkat yang sudah lama dengan yang baru yang akan memberikan penghematan penggunaan

energi karena perangkat-perangkat baru biasanya lebih efektif dan efisien dibandingkan perangkat lama hal ini berkaitan dengan penekanan pada kategori dampak *Non-Renewable Energy* yang berkaitan dengan penggunaan listrik, di Indonesia produksi energi listrik masih mengandalkan bahan bakar tidak terbarukan yakni batu bara dimana proses pembentukan oleh alam memerlukan durasi yang sangat panjang.

D. Skenario Program Lingkungan

Setelah didapatkan alternatif program lingkungan, selanjutnya dibuat skenario program untuk dirunning kembali pada aplikasi SimaPro 9.1.0.11.

1. Skenario 1

Pada skenario 1 dilakukan program perbaikan lingkungan dengan cara pengolahan gas metan dengan digestasi anaerobik. Setelah dilakukan running pada aplikasi Simapro 9.1.0.11 dibandingkan perubahan dampak sebelum dan sesudah adanya program lingkungan. Hasil dari running tersaji pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel-1. Perbandingan Dampak Lingkungan Sebelum dan Sesudah Skenario 1

Impact Category	Sebelum (pt)	Sesudah (pt)	Perubahan (%)
<i>Respiratory Inorganics</i>	1,14	0,912	20%
<i>Global Warming</i>	0,613	0,472	23%
<i>Non-Renewable Energy</i>	0,592	0,592	0%

Dari tabel diatas dapat diketahui dampak yang mengalami perubahan setelah dilakukan skenario 1 yaitu pada *respiratory inorganics* sebesar 20% dan *global warming* sebesar 23%.

2. Skenario 2

Pada skenario 2 ini dilakukan pembuatan lahan terbuka hijau disekitar area IPAL yaitu dengan menanam tumbuhan *Eucalyptus grandis*, *Acacia mangium*, *Meranti*. Setelah dilakukan perhitungan dengan nilai penurunan konsentrasi gas CO₂ pada jurnal kemudian dibandingkan perubahan dampak dari sebelum adanya program dengan sesudah adanya program

lingkungan. Hasil dari perhitungan pada efisiensi penurunan gas CO₂ dari beberapa jurnal ditampilkan dalam Tabel-2 dibawah ini.

Tabel-2. Perbandingan Dampak Lingkungan Sebelum dan Sesudah Skenario 2

Global Warming	Sebelum (kg.CO₂.eq)	Sesudah (kg.CO₂.eq)	Perubahan (%)
<i>Eucalyptus grandis</i>	2400470	480094	80%
<i>Acacia mangium</i>	2400470	576112,8	76%
<i>Meranti</i>	2400470	1272249,1	47%

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa dampak *global warming* dengan penanaman tiga jenis tanaman yang berbeda dengan luas sebesar 1000 m² terjadi perubahan terbesar yaitu pada tanaman *Eucalyptus grandis* sebesar 80%., *Acacia mangium* sebesar 76%, dan *Meranti* sebesar 47%.

3. Skenario 3

Pada skenario 3 ini dilakukan pemantauan berkala dan pembaruan pada unit instalasi. Data yang diambil yaitu dari penggunaan energi yang diambil tiga tahun yang lalu pada saat dilakukan pembaruan unit-unit alat pada instalasi kemudian dirunning kembali dengan aplikasi SimaPro 9.1.0.11 dan dibandingkan dengan data sebelum skenario yang dapat dilihat pada Tabel-3.

Tabel 3. Perbandingan Dampak Lingkungan Sebelum dan Sesudah Skenario 3

Impact Category	Sebelum (pt)	Sesudah (pt)	Perubahan (%)
<i>Respiratory Inorganics</i>	1,14	0,820	28%
<i>Global Warming</i>	0,613	0,429	30%
<i>Non-Renewable Energy</i>	0,592	0,3848	35%

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa dampak yang mengalami perubahan yaitu dari *respiratory inorganics* sebesar 28% *global warming* dengan perubahan sebesar 30% dan *Non Renewable Energy* sebesar 35%.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik berdasarkan penelitian yang telah dilakukan adalah berikut ini :

1. Dampak lingkungan terbesar dari proses pengolahan air limbah industri secara *gate to gate* pada unit sumur pengumpul yang terdiri sumur basah untuk menampung air limbah dan sumur kering sebagai rumah pompa dan pembangkit listrik, bak pengendap pertama, bak zat terapan, kolam oksidasi, bak pendistribusi, bak pengendap kedua, bak *effluent*. Dengan metode IMPACT 2002+ di IPAL PT.SIER Surabaya adalah *respiratory inorganics*, *global warming*, dan *non-renewable energy*. Unit proses pengolahan air limbah industri dengan kontribusi terbesar dalam menimbulkan dampak lingkungan yaitu unit *Distribution Box*, *Clarifier Utara*, *Clarifier Selatan*, *Oxidation Ditch I, II, III, IV*.
2. Penyebab adanya dampak *respiratory inorganics* terjadi karena adanya akibat proses ekstraksi batubara atau *fossil fuel* menjadi energi listrik, kemudian mengemisikan gas rumah kaca berupa ammonia, nitrogen monoksida, nitrogen oksida, particulate <2,5 µm, sulfur dioksida dan sulfur trioksida Penyebab adanya *global warming* berasal dari penggunaan energi listrik dan emisi CO₂, CH₄, N₂O yang terjadi selama proses pengolahan terutama pada lumpur aktif yang mengandung bahan organik. Sedangkan dampak *non-renewable energy* terjadi akibat adanya penggunaan energi listrik yang menyebabkan semakin menurunnya ketersediaan gas, minyak, dan uranium yang terkandung dalam tanah.
3. Alternatif program perbaikan yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari adanya proses pengolahan air limbah industri IPAL PT.SIER Surabaya antara lain pengolahan gas metan dengan digestasi anaerobik, pembuatan lahan terbuka hijau, dan pemantauan berkala dan pembaruan pada perangkat unit instalasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Gupta, D., and Singh, S. K. (2012). "Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Treatment Plants: a Case Study of Noida". *Journal of Water Sustainability*, 1(2), 131–139.
- Harjanto, T. R., Fahrurrozi, M., & Bendiyasa, I. M. (2012). Life Cycle Assessment Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap: Komparasi antara Bahan Bakar Batubara dengan Biomassa. *Jurnal Rekayasa Proses*, 6(2), 51–58.
- Kusminingrum, N. (2008). Potensi tanaman dalam menyerap CO₂ dan CO untuk mengurangi dampak pemanasan global. *Jurnal Permukiman*, 3(2), 96-105.
- Nuraeni, R., & Ashuri, A. (2018). Wastewater Specific Emission Factor From Communal Wastewater Treatment Plant (WWTP). *Widyariset*, 4(1), 37-48.
- Putri, H.P. (2017). Life Cycle Assessment (LCA) Emisi Pada Proses Produksi Bahan Bakar Minyak (BBM) Jenis Bensin Dengan Pendekatan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP). *Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*.
- Tungka, W.A.; Haeruddin, dan Churun, A. (2016), Konsentrasi Nitrat dan Ortofosfat di Muara Sungai Banjir Kanal Barat dan Kaitannya dengan Kelimpahan Fitoplanton Harmful Alga Blooms (HABs), *Journal of Fisheries Science and Technology*, vol 12 no 1, 40-46.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2003). Air Pollution Control Technology Fact Sheet - Spray-Chamber & Spray-Tower Wet Scrubber (EPA-452/F-03-016), 6. <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/fsprytwr.pdf>