

Analisa Dampak Lingkungan Pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Dengan Metode *Life Cycle Assessment (LCA)*

Desrina Yusi Irawati*, David Andrian

Teknik Industri, Teknik, Universitas Katolik Darma Cendika
Jl. Ir. H. Soekarno No.201, (031) 5946482/ (031) 5939625
*Korespondensi Penulis, E-mail: desrina.yusi@gmail.com

Abstract

Babat Drinking Water Treatment Plant (IPAM Babat) is one of the clean water facilities for Lamongan community. The process of clean water requires an appropriate processing. This process requires chemicals and energy that it will adverse effects to the environment. Life Cycle Assessment (LCA) is one of the environmental effects analyze methods for clean water process. The four phases of LCA are Goal And Scope Definition, Life Cycle Inventory, Life Cycle Impact Assessment, and Interpretation. The environmental impacts of the LCA method of processing are divided into three broad categories of impacts, namely the categories of human health, ecosystem quality, and resources. The result of LCA analyzed shows that electrical energy utilization product an environment impact significantly. This impact has consequences on the resource category (fossil fuels) and human health (climate change) due to CO₂ combustion. The largest electric consumption is used for tools of pumping water due to the distant length intake and IPAM. The solution for reduced the electric consumption is using the equipment efficiency and water flow system by the power of gravity.

Keywords: water production process, Life Cycle Assessment (LCA), and IPAM

Abstrak

Instalasi Pengolahan Air Minum Babat (IPAM Babat) merupakan salah satu fasilitas penyedia air bersih untuk memenuhi kebutuhan masyarakat Lamongan. Dalam pengolahan air bersih dibutuhkan pengolahan yang profesional dan tepat guna. Proses produksi air membutuhkan bahan kimia dan energi yang dapat berdampak pada lingkungan. Salah satu metode untuk menganalisis dampak proses produksi terhadap lingkungan adalah Life Cycle Assessment (LCA). Empat fase utama LCA adalah Goal And Scope Definition, Life Cycle Inventory, Life Cycle Impact Assessment, dan Interpretation. Dampak lingkungan hasil pengolahan metode LCA terbagi menjadi tiga kategori besar dampak, yaitu kategori kesehatan manusia, kualitas ekosistem, dan sumber daya. Dari pengolahan LCA, penggunaan energi listrik pada proses produksi air berkontribusi terbesar terhadap dampak lingkungan. Dampak tersebut memengaruhi kategori pengurangan sumber daya (bahan bakar fosil) dan kesehatan manusia (perubahan iklim) akibat pembakaran CO₂. Penggunaan energi listrik terbesar disebabkan penggunaan lima pompa di intake dengan jarak tempuh cukup jauh dari intake ke IPAM. Solusi untuk mengurangi dampak lingkungan akibat penggunaan energi listrik adalah peningkatan efisiensi peralatan dan sistem aliran air memanfaatkan gaya gravitasi.

Kata kunci: proses produksi air, Life Cycle Assessment (LCA), dan IPAM

1. Pendahuluan

Air merupakan kebutuhan terpenting makhluk hidup. Namun saat ini air di alam sangat terbatas untuk digunakan langsung, baik untuk keperluan sehari-hari maupun untuk aktifitas industri. Hal ini disebabkan karena air permukaan sangat rentan pencemaran apabila kesadaran masyarakat masih kurang dan sarana prasarana

pembuangan limbah rumah tangga dan industri tidak memenuhi standar. Air permukaan di Kabupaten Lamongan sebagian tertampung di waduk, embung, dan mengalir melalui sungai. Salah satu sungai yang dimanfaatkan airnya adalah sungai Bengawan Solo. Sumber air dari Sungai Bengawan Solo sampai saat ini belum memenuhi syarat air minum (Permenkes nomor 492 tahun 2010) sehingga perlu dilakukan pengolahan air bersih. Usaha agar masyarakat sekitar sungai Bengawan Solo dapat menikmati air bersih, maka dibangun instalasi pengolahan air minum. Instalasi pengolahan air minum tersebut dikelola oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Lamongan. PDAM Lamongan memiliki tiga Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM), yaitu IPAM Babat, IPAM Ploso Wahyu, dan IPAM Waduk Gondang. IPAM Babat merupakan IPAM terbesar yang memenuhi kebutuhan mayoritas masyarakat wilayah Lamongan. Sumber air IPAM berasal dari sungai Bengawan Solo sehingga IPAM Babat menjadi IPAM vital PDAM Lamongan. IPAM Babat berkontribusi sebanyak 62% dari kapasitas total air yang dipasok PDAM Lamongan [1]. Pada setiap proses pengolahan air menjadi air bersih akan menimbulkan dampak negatif pada lingkungan. Secara umum yang mengakibatkan dampak lingkungan adalah proses menghilangkan kotoran dalam sumber air yang digunakan dan menipisnya sumber daya alam.

Analisa siklus pengolahan dan dampak lingkungan dari proses produk dapat menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA). LCA adalah suatu metode analisis yang digunakan untuk mengevaluasi dampak yang dihasilkan dari suatu proyek, produk, atau jasa terhadap lingkungan [2]. LCA dapat dipakai untuk mengetahui potensi limbah yang akan muncul, konsumsi energi yang digunakan serta bahan baku yang diperlukan selama proses pengolahan suatu produk [3]. Terdapat penelitian sebelumnya membahas tentang pengolahan air bersih perkotaan dengan metode LCA menggunakan pendekatan *Environmental Sustainability Indicator* (ESI). Dari penelitian tersebut menghasilkan indikator lingkungan pada sistem pengolahan air bersih sehingga mampu mengontrol dampak negatif dari pengolahan air bersih [4]. Bahkan ada penelitian yang sudah melakukan analisis lingkungan pada setiap tahap siklus air perkotaan di Tarragona dengan menggunakan metode LCA dan menghasilkan tiga skenario perbaikan untuk meningkatkan permintaan air bersih dan memperbaiki profil lingkungan dari sistem air perkotaan [5]. Namun beberapa penelitian tersebut memiliki kekurangan yaitu indikator pencemaran terhadap lingkungan tidak berupa data kuantitatif sehingga tidak dapat diketahui faktor yang berkontribusi buruk terbesar terhadap lingkungan serta bagian dampak lingkungan yang mana yang akan terpengaruh terhadap faktor tersebut. Penelitian LCA pada pengolahan air bersih pernah dilakukan juga di Colombia. Dalam penelitian tersebut, metode pengukuran indikator lingkungan menggunakan CML 2001. Metode tersebut hanya menghasilkan 6 indikator pengukuran [6]. Penelitian terkait siklus hidup pengolahan air khususnya air limbah juga pernah dilakukan di Cina. Dalam penelitiannya, model yang diusulkan adalah LCA berbasis proses dan LCA berbasis input-output dengan metode *Eco-indicator 99* namun hanya menggunakan konsumsi energi sebagai satu-satunya parameter untuk evaluasi proyek. Sehingga dampak yang ditimbulkan hanya terbatas pada dampak penggunaan energi [7]. Penelitian serupa juga pernah dilakukan di Spanyol, LCA digunakan untuk membandingkan skenario pemanfaatan air limbah. Penelitian tersebut khusus berfokus pada kategori dampak terkait toksisitas [8].

Banyaknya penelitian tentang siklus pengolahan air dikarenakan fasilitas publik yang menghasilkan CO₂ cukup besar dari konsumsi listrik adalah instalasi pengolahan air [9]. Proses ini menggunakan zat kimia seperti alum, garam besi atau koagulan dari bahan polimer, zat alkali dan juga senyawa untuk membunuh bakteri patogen. Penggunaan zat kimia akan meninggalkan zat sisa residu atau produk hasil samping di

dalam air olahan. Penggunaan bahan kimia tersebut berkontribusi kedua terbesar terhadap lingkungan setelah konsumsi energi [10]. Selain itu, dengan semakin buruknya sumber air, teknologi, dan teknik pengolahan maka akan membutuhkan energi dan biaya yang semakin besar. Semakin besar kapasitas pengolahan air bersih, maka semakin sering siklus berjalan dan besar limbah serta dampak lingkungan yang dihasilkan.

Berdasarkan penelitian terdahulu, belum ada penelitian di IPAM dengan menggunakan beberapa data kuantitatif input air, bahan kimia dan natural gas (listrik) serta menggunakan *Eco-indicator* 99 untuk mengetahui 11 kategori dampak lingkungan. Pada penelitian ini akan melakukan identifikasi faktor yang berkontribusi buruk terhadap lingkungan dan dampak yang ditimbulkan terhadap proses produksi air di IPAM Babat dengan metode LCA. Output yang dihasilkan berupa data kuantitatif untuk masing-masing dampak sesuai kategori dampak *Eco-indicator* 99. Pemilihan IPAM Babat sebagai obyek amatan dikarenakan proses pengolahan air tersebut masih mempertahankan pengolahan sistem tradisional. Dari hasil identifikasi tersebut dapat menjadi bahan evaluasi performansi produk terhadap lingkungan dan membantu menentukan dasar dalam melakukan perbaikan lingkungan.

2. Metode Penelitian

2.1. Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini pengumpulan data yang dibutuhkan adalah data sekunder dari pihak IPAM Babat. Data sekunder yang dikumpulkan dalam penelitian ini yaitu proses pengolahan air bersih di IPAM Babat, kandungan dalam proses pengolahan air, kadar dan jenis bahan kimia yang digunakan dalam proses pengolahan air, mesin yang digunakan untuk pengolahan, limbah hasil produksi, dan data pendukung penelitian. Data yang digunakan adalah data 1 tahun pada tahun 2017.

2.2. Pengolahan Data Dengan *Life Cycle Assessment* (LCA)

Data sekunder yang telah dikumpulkan selanjutnya dianalisis menggunakan metode LCA dengan bantuan program komputer SimaPro 7.1. Berdasarkan ISO 14040, metodologi LCA terdiri dari 4 fase utama.

Goal and Scope Definition

Sebelum dilakukan *Life Cycle Assessment* (LCA), terlebih dahulu mendefinisikan tujuan dan ruang lingkup untuk menunjukkan hubungan sistem produk dengan unit fungsi dan sistem pembatas. *Goal* yang dicapai yaitu mengidentifikasi dampak lingkungan dari pengolahan air bersih di IPAM Babat. Sedangkan *scope* LCA meliputi produksi air bersih dan limbah produksi.

Life Cycle Inventory

Pada tahap *life cycle inventory*, dilakukan pengumpulan semua data mengenai emisi yang berpotensi timbul, konsumsi bahan baku, energi, dan limbah pada proses produksi IPAM Babat.

Life Cycle Impact Assessment

Penilaian *life cycle impact assessment* dilakukan untuk mengevaluasi dampak selama proses produksi air bersih. Pada tahap penentuan dampak dilakukan beberapa langkah yaitu *characterization*, *damage assessment*, *normalization*, *weighting* dan *single score*.

Metode yang digunakan pada langkah *characteristization* pada penelitian ini adalah *Eco-indicator 99*. *Eco-indicator 99* menghasilkan 11 kategori dampak. Sebelas kategori dampak dievaluasi menggunakan dasar pembobotan sesuai perspektif hirarki struktural. Sebelas kategori dampak dikelompokkan menjadi tiga kategori kerusakan, yaitu kesehatan manusia, kualitas ekosistem dan sumber daya [11]. Dampak lingkungan dengan metode *Eco-indicator 99* akan mengukur 11 kategori dampak lingkungan seperti Tabel 1.

Tabel 1 Deskripsi dampak lingkungan berdasarkan *Eco-indicator 99*

No.	Kelompok kerusakan	Dampak	Keterangan
1	Kesehatan manusia	<i>Carcinogens</i>	Kerusakan pada kesehatan manusia dari zat karsinogenik
		<i>Respiratory organics</i>	Efek pernapasan dari polutan organik dipancarkan ke udara
		<i>Respiratory inorganics</i>	Efek pernapasan dari polutan anorganik dipancarkan ke udara
		<i>Climate change</i>	Dampak tidak langsung dari perubahan iklim terhadap kesehatan manusia
		<i>Radiation</i>	Kerusakan pada kesehatan manusia terkait dengan pancaran bahan radioaktif ke lingkungan
2	Kualitas ekosistem	<i>Ozone layer</i>	Kerusakan pada kesehatan manusia karena penipisan lapisan ozon
		<i>Ecotoxicity</i>	Kerusakan kualitas ekosistem (udara, air dan tanah) yang disebabkan oleh zat-zat ekotoksik
		<i>Acidification</i>	Kerusakan kualitas ekosistem yang disebabkan oleh pengasaman dan eutrofikasi karena pengendapan zat anorganik.
3	Sumber daya	<i>Land use</i>	Penggunaan lahan merubah kualitas ekosistem
		<i>Minerals</i>	Kerusakan sumber daya yang disebabkan oleh penipisan mineral
		<i>Fossil fuels</i>	Kerusakan sumber daya yang disebabkan oleh menipisnya bahan bakar fosil.

Tahap *normalization* bertujuan menyeragamkan satuan dari segala *impact category* dan menunjukkan kontribusi *impact category* terhadap masalah lingkungan dikawasan IPAM Babat. Tahapan *weighting* adalah penilaian yang dihasilkan dengan membandingkan berbagai potensi dampak lingkungan, dilakukan dengan cara mengalikan hasil normalisasi nilai potensial oleh faktor bobot. Pembobotan yang

dilakukan dengan semua potensi dampak lingkungan akan dikonversi ke *single score* dengan menampilkan tiap-tiap proses yang mempunyai dampak lingkungan.

Interpretation

Kombinasi hasil dari *life cycle inventory* dan *life cycle impact assessment* digunakan untuk menginterpretasikan, menarik kesimpulan dari *goal and scope* yang telah diidentifikasi sebelumnya.

2.3. Input Data

Data yang diinput pada program SimaPro 7.1 adalah data bahan baku (air sungai) yang masuk proses pengolahan, bahan kimia yang digunakan dalam proses pengolahan air, penggunaan listrik, limbah yang dihasilkan selama proses produksi, dan air bersih yang dihasilkan dari proses produksi. Dari input tersebut akan diperoleh nilai *characterization*, *damage assessment*, *normalization*, *weighting* dan *single score*.

Gas Chlorine

Peran gas klorin pada pengolahan air adalah sebagai disinfektan. Air yang terklorinasi ditemukan juga senyawa organik lainnya yaitu trihalomethanes (kloroform, dichlorobromo-methane, dibromochloromethane dan bromoform). Klorin berdampak pada kesehatan dan lingkungan baik itu udara, air, dan makhluk hidup. Besarnya dampak yang ditimbulkan tergantung dari jenis senyawa klorin, kadar, dan tingkat toksisitas senyawa tersebut [12].

Aluminium Sulfat

Aluminium sulfat merupakan bahan koagulan yang umum digunakan pada pengolahan air bersih. Koagulasi adalah proses yang bersifat kimia yang bertujuan menurunkan kekeruhan dan material pada air yang kebanyakan merupakan partikel – partikel koloidal (berukuran 1-200 mikrometernya) seperti bakteri, alga, lempung dan zat organik anorganik [13]. Koagulasi bekerja dengan memberikan ion berlawanan muatan sehingga menurunkan gaya tolak menolak dan terjadi tarik menarik antara partikel koloid. Gaya tarik menarik antara partikel koloid membuat partikel menjadi lebih besar dan mengendap di dasar air [14].

Polimer

Polimer merupakan bahan flokulan alternatif yang berfungsi membantu proses flokulasi. Flokulasi merupakan proses lanjutan dan koagulasi. Pada proses flokulasi terjadi penggabungan partikel yang tidak stabil sehingga membentuk flok yang lebih besar dan lebih cepat untuk dipisahkan [15]. Polimer dalam penelitian ini adalah *ammonium chloride* 45%.

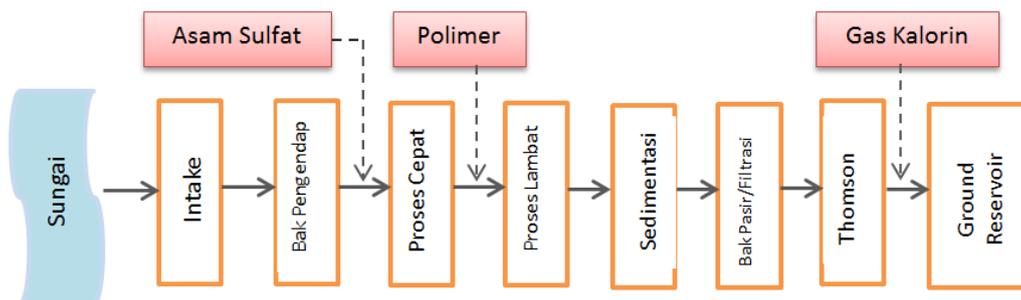
Natural gas (listrik)

Penggunaan alat proses produksi air akan membutuhkan energi listrik. Alat-alat proses produksi air yang membutuhkan energi listrik ditampilkan di Tabel 2. Penggunaan listrik secara tidak langsung akan menghasilkan emisi apabila sumber daya alam tersebut tidak dapat diperbarui dan mengurangi sumber daya alam. Perubahan energi dari satu bentuk ke bentuk yang lainnya dengan berbagai cara sering memengaruhi lingkungan dan udara. Polutan yang dihasilkan pada pembakaran fosil merupakan faktor terbesar terjadinya asap, hujan asam, dan pemanasan global dan perubahan iklim.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Proses Produksi Air di IPAM Babat

Air baku pada pengolahan di IPAM Babat berasal dari sungai Bengawan Solo. IPAM Babat memiliki tiga unit *intake*, dua unit sumur pengumpul, dua unit reservoir, serta dua cara pengolahan yaitu cara tradisional dan cara modern (*Water Treatment Plant*). Perbedaan antara dua cara pengolahan tersebut adalah pengolahan tradisional merupakan pengolahan yang masih memanfaatkan gaya gravitasi untuk mengalirkan air dalam setiap proses produksi. Sedangkan cara moderen (WTP), adanya usaha menaikkan bahan baku (air sungai) ke tangki pengolahan. Masing-masing proses produksi tetap melewati tahap koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan Thomson. Secara umum proses pengolahan air di IPAM Babat disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1 Alur proses produksi air di IPAM Babat

Dalam proses produksi air, dibutuhkan bahan kimia yang berfungsi membunuh kuman (desinfektan) dan proses pengendapan (koagulan). Bahan kimia yang digunakan IPAM Babat adalah sebagai berikut: (1) Aluminium Sulfat ($Al_2(SO_4)_3$). Fungsi aluminium sulfat adalah membantu proses penggumpalan kotoran atau pengendapan partikel sehingga lebih mudah disaring. Kadar yang dibutuhkan antara 40-60 ppm. Dalam sehari dibutuhkan aluminium sulfat sebanyak 700-1500 kg/hari. Besar kecilnya jumlah aluminium sulfat yang dicampurkan bergantung pada kondisi air (kekeruhan, warna, dan Ph) saat proses produksi air berlangsung. Selama 1 tahun, IPAM Babat menggunakan aluminium sulfat sebanyak 305.700 kg. (2) Polimer. Penambahan polimer membantu pembentukan flok. Jenis polimer yang digunakan adalah *amonium chloride poly DADMAC* dengan kadar 45%. Dalam 1 tahun, IPAM Babat menggunakan polimer sebanyak 55.933,2 kg. (3) Gas *chlorine*. Gas *chlorine* berfungsi sebagai desinfektan yaitu membunuh bakteri, virus, dan patogen dalam air. Gas *chlorine* yang di gunakan pada produksi air IPAM Babat sebanyak 5 kg/hari atau 1.800 kg/tahun.

Selain bahan kimia, proses produksi air membutuhkan peralatan, yaitu pompa air baku (*intake* dan sumur), pompa proses alum, blower proses polimer, dan blower WTP. Setiap peralatan tersebut membutuhkan energi. Daya listrik yang digunakan oleh keseluruhan proses produksi air di IPAM Babat sebesar 1.588.809,6 kWh/tahun.

3.2. Pengolahan Data *Life Cycle Assessment* (LCA)

Pengolahan data LCA menggunakan *software* SimaPro 7.1. Input data penelitian dimulai dari pengadaan bahan baku sampai menjadi produk jadi. Semua data penggunaan bahan kimia dan energi listrik pada proses produksi air IPAM Babat dimasukkan pada tahapan *Life Cycle Inventory*. Keseluruhan data yang dimasukkan berasal dari informasi perusahaan. Input data secara lengkap disajikan pada Tabel 2.

Penentuan dampak lingkungan diperoleh pada tahapan *characteristization, damage assessment, normalization, weighting* dan *single score*.

Tabel 2 Input dan output data IPAM Babat dalam 1 tahun

Output/produk	Air Bersih yang Keluar	4.510.080.000 kg
	Sludges+air	2.643.840.000 kg
Input listrik	<i>Intake</i>	570.240 kWh
	Sumur	380.160 kWh
	Pompa pencucian pasir manual	518.400 kWh
	Pompa proses alum	83.289,6 kWh
	Blower proses polimer (WTP)	15.120 kWh
	Blower WTP	15.120 kWh
	Blower air alum	4.752 kWh
	Blower air polimer (WTP)	1.728 kWh
Input bahan kimia	Aluminium Sulfat	305.700 kg
	Polimer (Ammonium Chloride 45%)	55.933,2 kg
	Gas chlorine	1.800 kg
Input air	Air sungai	7.153.920.000 liter

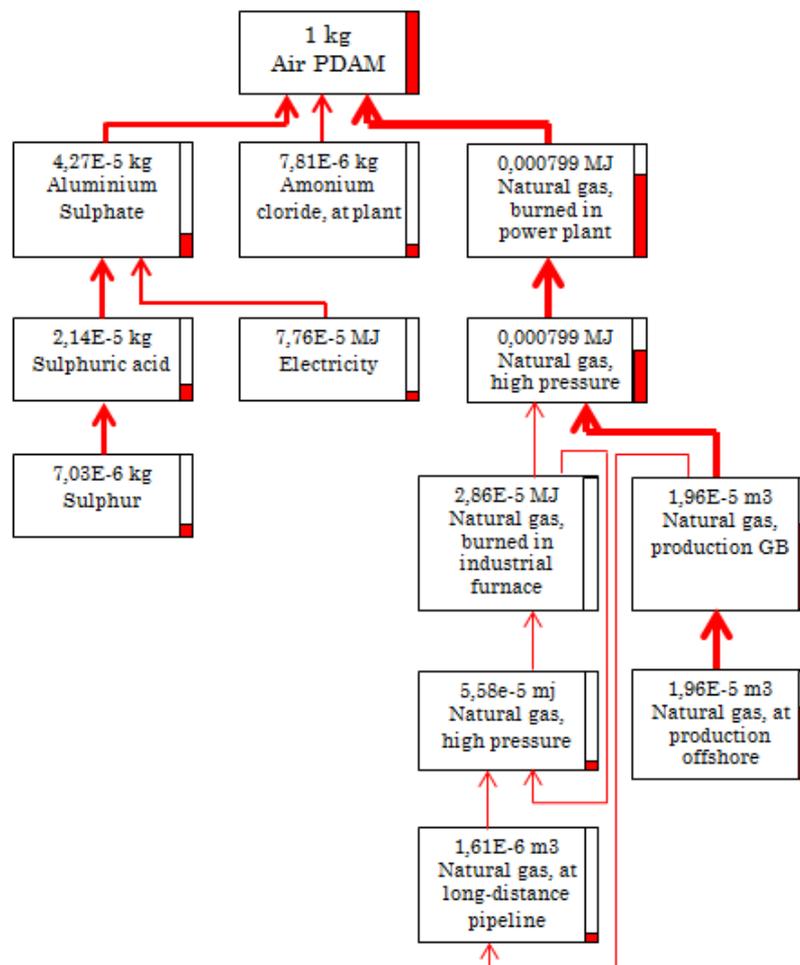
3.3. Hasil Pengolahan

Hasil pengolahan data menggunakan software SimaPro 7.1 dibagi menjadi empat macam *assessment* yaitu *network, characterization impact assessment, normalization impact assessment*, dan *single score*.

Network dampak lingkungan menggambarkan hubungan setiap proses yang dapat mengakibatkan dampak lingkungan. Tanda panah ke atas pada *network* menunjukkan proses produksi air. Garis merah pada *network* menggambarkan pengaruh terhadap dampak lingkungan sedangkan garis hijau menunjukkan emisi terproses sehingga tidak menghasilkan dampak lingkungan berdasarkan pengaruhnya terhadap kesehatan manusia. Garis merah yang lebih tebal menggambarkan proses memiliki pengaruh besar pada dampak lingkungan. Berdasarkan hasil *network* pada Gambar 2, tidak terdapat garis hijau yang artinya seluruh bahan kimia dan energi listrik yang digunakan tidak terproses sempurna sehingga masih berdampak terhadap lingkungan. Garis merah yang paling tebal terdapat pada penggunaan *natural gas* atau energi listrik. Hal ini disebabkan banyaknya pompa yang digunakan untuk mengambil air baku dan menaikkan air baku pada tangki WTP. Selanjutnya kandungan sulfur pada penggunaan *aluminium sulphate* memberikan dampak lingkungan kedua setelah penggunaan energi listrik. *Aluminium sulphate* merupakan senyawa kimia utama dalam penjernihan air dan memiliki fungsi sebagai pengikat partikel-partikel pengotor. Penggunaan gas *chlorine* pada aliran proses produksi air tidak tergambar pada *network*. Hal ini disebabkan kadar penggunaan gas *chlorine* cukup kecil, sehingga dampak lingkungan yang ditimbulkan juga kecil atau bahkan tidak berpengaruh terhadap lingkungan. *Output* SimaPro terkait persentase aliran penggunaan bahan kimia dan energi listrik pada proses produksi air di IPAM Babat disajikan pada [Tabel 3](#).

Tabel 3 Persentase penggunaan bahan kimia dan listrik pada proses produksi air

<i>Inflows</i>	<i>Flow (%)</i>
<i>Natural gas</i>	67,3
<i>Aluminium sulphate</i>	20,8
<i>Ammonium chloride</i>	11,7
<i>Chlorine (gas)</i>	0,2
Total	100



Gambar 2 *Network* proses produksi air di IPAM Babat

Setelah diperoleh *network* (Gambar 2), langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan data untuk mengetahui dampak lingkungan yang diakibatkan oleh penggunaan *raw material*, bahan kimia, dan energi. Penelitian ini menggunakan metode *Eco-indicator 99* yang akan menghasilkan 11 kategori dampak. Berdasarkan metode *Eco-indicator 99*, kerugian dampak lingkungan dibagi menjadi tiga kelompok yaitu: (1) Kerugian terhadap kesehatan manusia: *carcinogens*, *respiratory organics*, *respiratory inorganics*, *climate change*, *radiation*, dan *ozone layer*. (2) Kualitas

ekosistem: *ecotoxicity*, *acidification*, dan *land use*. (3) Sumber daya: *minerals* dan *fossil fuels*.

Berdasarkan **Tabel 4** tentang *characterization* dampak, kerugian dampak lingkungan yang paling tinggi adalah kerugian sumber daya (*fossil fuels*) karena pemakaian listrik/energi yang cukup tinggi pada proses produksi air. Kerugian dampak lingkungan yang paling rendah adalah *ozone layer*, karena tidak ada bahan kimia dalam proses produksi air yang merusak lapisan ozon.

Tabel 4 *Characterization* dampak lingkungan masing-masing kategori

<i>Impact category</i>	Unit	Total	Air PDAM	<i>Aluminium sulphate</i>	<i>Chlorine, gas seous</i>	<i>Ammonium Chloride</i>	<i>Natural gas</i>
<i>Carcinogens</i>	DALY	1,79E-12	0	1,08E-12	2,48E-14	6,15E-13	6,55E-14
<i>Resp. orgtanics</i>	DALY	7,85E-14	0	1,41E-14	7,57E-17	5,96E-14	4,64E-15
<i>Resp. inorganics</i>	DALY	4,72E-11	0	3,79E-11	1,45E-13	4,42E-12	4,74E-12
<i>Climate change</i>	DALY	1,42E-11	0	2,47E-12	5,11E-14	1,92E-12	9,8E-12
<i>Radiation</i>	DALY	5,44E-14	0	0	3,61E-15	4,95E-14	1,28E-15
<i>Ozone layer</i>	DALY	6,98E-15	0	3,79E-15	7,31E-16	8,73E-16	1,59E-15
<i>Ecotoxicity</i>	PAF*m 2yr	7,39E-6	0	3,74E-6	6,83E-8	3,34E-6	2,38E-7
<i>Acidification/ Eutrophication</i>	PDF*m 2yr	1,28E-6	0	8,86E-7	3,54E-9	1,33E-7	2,6E-7
<i>Land use</i>	PDF*m 2yr	1,54E-7	0	0	2,64E-9	1,04E-7	4,74E-8
<i>Minerals</i>	MJ surplus	7,75E-7	0	0	1,72E-8	7,21E-7	3,73E-8
<i>Fossil fuels</i>	MJ surplus	0,000134	0	1,07E-5	1,79E-7	1,46E-5	0,000108

Analisa dampak terhadap gangguan kesehatan manusia untuk satuan DALY dipengaruhi oleh jumlah kecacatan (*Years Lived Disabled*) dan kematian (*Years of Life Lost*). Skala DALY digunakan untuk WHO dan *World Bank*. Dalam metode ini diijinkan untuk penambahan DALY mempunyai efek kerdinogenik yang disebabkan perubahan alam. PDF*m2yr atau *potentially disappeared fraction of species (square metre of land per year)* memiliki arti potensial kehilangan spesies per m² tiap tahun. Ini merupakan satuan kontribusi proses dampak lingkungan terhadap kualitas ekosistem. Nilai PDF diperoleh dari rasio perbedaan relatif antara jumlah spesies pada kondisi referensi dan kondisi yang diciptakan oleh konversi [9].

Pada tahap *normalization* diperoleh dengan membagi *characterization* dengan nilai normal. Hasil nilai normalisasi untuk tiga kategori kerugian dampak lingkungan dari mulai terbesar sampai terkecil adalah dampak lingkungan terhadap sumber daya, kesehatan manusia, dan ekosistem. Nilai dampak lingkungan dari tahap *normalization* dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Pembobotan yang dilakukan dengan semua potensi dampak lingkungan akan di konversi ke *single score* dengan memperlihatkan tiap-tiap proses yang mempunyai dampak lingkungan. Hasil *single score* disajikan pada **Tabel 6**. Pada dampak lingkungan kategori kesehatan manusia, kategori dampak *carcinogens* (senyawa yang terdapat pada polutan lingkungan dan berpengaruh pada kesehatan manusia) terbesar ada pada

penggunaan *aluminium sulphate*. Kategori dampak *respiratory organics* (efek saluran pernapasan) dan *radiation* terbesar dipengaruhi oleh penggunaan *ammonium chloride* (polimer). Kategori dampak *respiratory inorganics* (efek saluran pernapasan) terbesar dipengaruhi oleh penggunaan *aluminium sulphate*. Kategori dampak *climate change* (perubahan iklim pada periode tertentu) terbesar dipengaruhi oleh penggunaan *natural gas* (energi listrik). Kategori dampak *ozone layer* terbesar dipengaruhi oleh penggunaan *aluminium sulphate*.

Tabel 5 Hasil nilai normalisasi dampak lingkungan

<i>Damage category</i>	Total	Air PDAM	<i>Aluminium sulphate</i>	<i>Chlorine, g asseous</i>	<i>Ammonium Chloride</i>	<i>Natural gas</i>
<i>Human Health</i>	4,12E-9	0	2,7E-9	1,47E-11	4,6E-10	9,52E-10
<i>Ecosystem Quality</i>	4,24E-10	0	2,46E-10	2,54E-12	1,12E-10	6,45E-11
<i>Resources</i>	1,6E-8	0	1,27E-9	2,34E-11	1,82E-9	1,29E-8

Tabel 6 *Single score* dampak lingkungan proses produksi air di IPAM Babat

<i>Impact category</i>	Unit	Total	Air PDAM	<i>Aluminium sulphate</i>	<i>Chlorine, g asseous</i>	<i>Ammonium Chloride</i>	<i>Natural gas</i>
Total	Pt	6,21E-6	0	1,29E-6	1,24E-8	7,29E-7	4,18E-6
<i>Carcinogens</i>	Pt	3,49E-8	0	2,11E-8	4,84E-10	1,2E-8	1,28E-9
<i>Resp. orgtanics</i>	Pt	1,53E-9	0	2,76E-10	1,48E-12	1,16E-9	9,06E-11
<i>Resp. inorganics</i>	Pt	9,22E-7	0	7,4E-7	2,84E-9	8,63E-8	9,26E-8
<i>Climate change</i>	Pt	2,78E-7	0	4,82E-8	9,97E-10	3,75E-8	1,91E-7
<i>Radiation</i>	Pt	1,06E-9	0	0	7,06E-11	9,67E-10	2,49E-11
<i>Ozone layer</i>	Pt	1,36E-10	0	7,4E-11	1,43E-11	1,7E-11	3,11E-11
<i>Ecotoxicity</i>	Pt	5,76E-8	0	2,92E-8	5,33E-10	2,61E-8	1,86E-9
<i>Acidification/Eutrophication</i>	Pt	1E-7	0	6,91E-8	2,76E-10	1,04E-8	2,0E-8
<i>Land use</i>	Pt	1,2E-8	0	0	2,06E-10	8,15E-9	3,7E-9
<i>Minerals</i>	Pt	2,77E-8	0	0	6,13E-10	2,57E-8	1,32E-9
<i>Fossil fuels</i>	Pt	4,77E-6	0	3,81E-7	6,4E-9	5,2E-7	3,86E-6

Dampak lingkungan kategori kualitas ekosistem, kategori dampak *ecotoxicity* dan *acidification/eutrophication* (menyebabkan hujan asam) terbesar ada pada penggunaan *aluminium sulphate*. Kategori dampak *land use* (dampak terhadap tanah) terbesar dipengaruhi oleh penggunaan *ammonium chloride* (polimer). Dampak lingkungan kategori sumber daya, kategori dampak *minerals* (ketersediaan dan kualitas

bahan mineral) terbesar dipengaruhi oleh penggunaan *ammonium chloride*. Kategori dampak *fossils fuel* (ketersediaan dan kualitas bahan bakar fosil) terbesar dipengaruhi oleh penggunaan *natural gas*.

Secara keseluruhan dari hasil *output* SimaPro, yang paling berkontribusi terhadap dampak lingkungan adalah penggunaan pemakaian energi listrik. Dalam sehari penggunaan listrik di IPAM Babat sebesar 4.413,36 kWh. Penggunaan listrik terbesar terdapat pada proses pengambilan bahan baku air. Hal ini dikarenakan dibutuhkan pompa dengan daya besar untuk mengambil air dari sungai menuju IPAM Babat, jarak tempuh *intake* ke IPAM cukup jauh. Penggunaan listrik berdampak pada kerusakan sumber daya alam. Peranan energi listrik cukup besar dalam pengolahan air, sesuai dengan penelitian sebelumnya [16, 17]. Disamping itu emisi karbon dioksida (CO₂) hasil pembakaran karbon yang terkandung pada energi fosil secara tidak langsung berkontribusi pada dampak *climate change*. Dibutuhkan usaha penghematan listrik, salah satunya dengan cara peningkatan efisiensi peralatan dan penggunaan sistem arah aliran atas ke bawah (memanfaatkan gravitasi) [18]. Penggantian peralatan yang sudah tua dapat menjadi salah satu alternatif meningkatkan efisiensi peralatan. Mengubah posisi pelarutan aluminium sulfat lebih dekat dari kolam pengolahan air juga dapat mengurangi kebutuhan energi listrik.

4. Simpulan

Hasil pengolahan dengan *Life Cycle Assessment* menghasilkan informasi berupa *network*, *characterization impact assessment*, *normalization impact assessment*, dan *single score*. Dari 4 input tersebut, kegiatan proses produksi air di IPAM Babat yang berkontribusi terbesar pada dampak lingkungan adalah penggunaan natural gas atau energi listrik. Penggunaan listrik secara tidak langsung memengaruhi kategori pengurangan sumber daya alam (*fossil fuels*) dan kesehatan manusia (*climate change*) akibat pembakaran CO₂. Penggunaan listrik/energi terbesar disebabkan penggunaan 5 pompa dengan daya besar pada tahap pengambilan bahan baku air dan jarak tempuh pengiriman yang cukup jauh dari intake ke IPAM. Disamping itu adanya penggunaan pompa untuk menaikkan air pada tangki WTP. Usaha penghematan energi listrik dapat dilakukan dengan cara efisiensi peralatan dan memaksimalkan sistem arah aliran air dari atas ke bawah (memanfaatkan gravitasi bumi). Dari penelitian ini masih memiliki kekurangan yaitu belum memperhitungkan perbaikan secara teknis yang dibutuhkan IPAM Babat dalam mengurangi dampak lingkungan dari proses produksi air. Diharapkan dalam penelitian selanjutnya dapat memperhitungkan prioritas perbaikan teknis yang dibutuhkan untuk mengurangi dampak lingkungan akibat proses produksi air.

Referensi

- [1] D. M. Priyoaji, "Evaluasi Pelayanan Air Minum Pada Daerah Pelayanan IPAM Babat PDAM Lamongan," Postgraduate, ITS, Surabaya, 2017.
- [2] G. Finnveden, M. Z. Hauschild, T. Ekvall, J. Guinée, R. Heijungs, S. Hellweg, *et al.*, "Recent Developments in Life Cycle Assessment," *Journal of Environmental Management*, vol. 91, pp. 1-21, 2009.
- [3] M. J. Thorn, J. L. Kraus, and D. R. Parker, "Life-Cycle Assessment as a Sustainability Management Tool: Strengths, Weaknesses, and Other Considerations," *Environmental Quality Management*, vol. 20, pp. 1-10, 2011.

- [4] M. Lundin and G. M. Morrison, "A Life Cycle Assessment Based Procedure for Development of Environmental Sustainability Indicators for Urban Water Systems," *Urban Water*, vol. 4, pp. 145-152, 2002.
- [5] M. J. Amores, M. Meneses, J. Pasqualino, A. Antón, and F. Castells, "Environmental Assessment of Urban Water Cycle on Mediterranean Conditions by LCA Approach," *Journal of Cleaner Production*, vol. 43, pp. 84-92, 2013.
- [6] O. O. O. Rodriguez, R. A. Villamizar-Gallardo, and R. G. García, "Life Cycle Assessment of Four Potable Water Treatment Plants in Northeastern Colombia," *Revista Ambiente & Água*, vol. 11, pp. 268-278, 2016.
- [7] Q. Zhang, X. Wang, J. Xiong, R. Chen, and B. Cao, "Application of Life Cycle Assessment For an Evaluation of Wastewater Treatment and Reuse Project—Case Study of Xi'an, China," *Bioresource Technology*, vol. 101, pp. 1421-1425, 2010.
- [8] I. Munoz, A. Rodriguez, R. Rosal, and A. R. Fernandez-Alba, "Life Cycle Assessment of Urban Wastewater Reuse with Ozonation as Tertiary Treatment: A Focus on Toxicity-Related Impacts," *Science of The Total Environment*, vol. 407, pp. 1245-1256, 2009.
- [9] K. C. Hallett, "Energy Intensity of Water: Literature Suggests Increasing Interest Despite Limited and Inconsistent Data," in *ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, 2011, pp. 409-419.
- [10] F. Vince, E. Aoustin, P. Bréant, and F. Marechal, "LCA Tool for The Environmental Evaluation of Potable Water Production," *Desalination*, vol. 220, pp. 37-56, 2008.
- [11] M. Goedkoop, "A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment. Pre Consultants, Amersfoort," *The Eco-indicator'99*, 1999.
- [12] A. Hasan, "Dampak Penggunaan Klorin," *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. 7, 2011.
- [13] S. D. Lin and C. C. Lee, *Water and Wastewater Calculations Manual* vol. 6: McGraw-hill New York, 2007.
- [14] H. Sarparastzadeh, M. Saeedi, F. Naeimpoor, and B. Aminzadeh, "Pretreatment of Municipal Wastewater by Enhanced Chemical Coagulation," *International Journal of Environmental Research*, vol. 1, pp. 104-113, 2007.
- [15] S. Teng, "Gambaran Umum Penanganan Limbah," *Jakarta: PT Nusantara Water Centre*, 2000.
- [16] A. Del Borghi, C. Strazza, M. Gallo, S. Messineo, and M. Naso, "Water Supply and Sustainability: Life Cycle Assessment of Water Collection, Treatment and Distribution Service," *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 18, pp. 1158-1168, 2013.
- [17] M. E.-S. M. Mahgoub, N. P. van der Steen, K. Abu-Zeid, and K. Vairavamoorthy, "Towards Sustainability in Urban Water: A Life Cycle Analysis of The Urban Water System of Alexandria City, Egypt," *Journal of Cleaner Production*, vol. 18, pp. 1100-1106, 2010.
- [18] F. Mubin, A. Binilang, and F. Halim, "Perencanaan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik di Kelurahan Istiqlal Kota Manado," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 4, 2016.