

DAMPAK PROSES PENGOLAHAN AIR BERSIH TERHADAP LINGKUNGAN

David Andrian., Desrina Yusi Irawati

Program Studi Teknik Industri, Universitas Katolik Darma Cendika

Jl. Dr. Ir. Soekarno 201, Surabaya 60117

davidand1784@yahoo.com, desrina.yusi@gmail.com

ABSTRAK

Penggunaan polimer, koagulan, alum, dan gas klorin pada proses penjernihan air akan mengakibatkan dampak lingkungan. Pendekatan yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisa dampak lingkungan adalah dengan metode Life Cycle Assessment (LCA). LCA terdiri dari empat tahapan utama, yaitu goal and scope, Life Cycle Inventory (LCI), Life Cycle Impact Assessment (LCIA), dan Interpretation. Berdasarkan proses software SimaPro 7 metode Impact 2002+, bagian dalam proses pengolahan air yang menimbulkan dampak lingkungan paling besar adalah penggunaan natural gas. Penggunaan natural gas atau listrik per 1 kg air menyebabkan dampak lingkungan non-renewable energy sebesar $5,55E-9$ Pt dan pemanasan global sebesar $4,66E-9$ Pt. Penggunaan natural gas yang menyebabkan dampak non-renewable energy adalah ketersediaan gas ($6E-9$ Pt), minyak ($7,66E-10$ Pt), dan uranium ($3,52E-10$ Pt) pada tanah semakin berkurang. Penggunaan natural gas yang menyebabkan dampak pemanasan global adalah carbon dioxide hasil pembakaran bahan bakar fosil ($5,46E-9$ Pt). Besarnya penggunaan listrik pada proses pengolahan air bersih di IPAM disebabkan jarak pengambilan air cukup jauh dan peralatan yang sudah tua.

Kata kunci: air, Instalasi Pengolahan Air Minum, Life Cycle Assessment

ABSTRACT

The use of polymers, coagulants, alum, and chlorine gas in the water purification process will result in environmental impacts. The research method is Life Cycle Assessment (LCA) for identify and analyze on environmental impact. LCA run by SimaPro 7 software that is Impact 2002+ method. It consists of four stages that is goal and scope, Life Cycle Inventory (LCI), Life Cycle Impact Assessment (LCIA), and Interpretation. The result showed that using the electricity on the water treatment process is the most variable of environment harm. The process of water treatment per 1 kg produces non-renewable energy as much as $5.55E-9$ Pt and global warming of $4.66E-9$ Pt. Both outputs affect to the environment. Non-renewable energy output of the process will decrease substance of the soil such as natural gas deposit ($6E-9$ Pt), petroleum ($7,66E-10$ Pt), and uranium ($3,52E-10$ Pt). The process of generating electricity produces carbon dioxide which affects global warming by $5.46E-9$ Pt. High electricity usage in the water treatment process of WTP due to distance water resource and equipment advanced in years.

Keywords: water, water treatment plant, life cycle assessment

PENDAHULUAN

Air adalah zat yang paling dibutuhkan dalam kehidupan setelah udara. Tiga per empat bagian tubuh manusia terdiri dari air. Air juga digunakan untuk menunjang kegiatan manusia, seperti memasak, mandi, mencuci, pertanian, transportasi, dan lain-lain. Menurut Permenkes RI nomor 416/Menkes/IX/1990 tentang persyaratan dan pengawasan kualitas air mengatakan “air bersih adalah air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari yang kualitasnya memenuhi syarat kesehatan dan dapat diminum apabila telah dimasak. Sedangkan air minum adalah air yang kualitasnya memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum”.

Menurut Gabriel (2000) berdasarkan kegunaannya, air digolongkan menjadi 4 golongan yaitu (1) air untuk keperluan pertanian sekaligus usaha perkotaan, industri, pembangkit listrik, (2) air untuk keperluan perikanan dan peternakan, (3) air baku untuk diolah sebagai air minum dan kebutuhan rumah tangga, dan (4) air yang diminum secara langsung. Dari keempat jenis air, air bersih yang digunakan untuk mencukupi kebutuhan manusia adalah jenis air baku yang diolah sebagai air minum dan kebutuhan rumah tangga.

Di Indonesia, pengolahan air baku dilakukan oleh Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) dibawah Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). PDAM Lamongan merupakan perusahaan daerah yang menyediakan fasilitas air bersih untuk memenuhi kebutuhan air bersih penduduk Kabupaten Lamongan. Terdapat tiga fasilitas IPAM di wilayah Lamongan, yaitu IPAM Waduk Gondang, IPAM Ploso Wahyu, dan IPAM Babat. Tiga IPAM yang dimiliki PDAM Lamongan belum mampu mencukupi kebutuhan air bersih penduduk Lamongan, cakupan wilayah pelayanan PDAM hanya 19% dari keseluruhan wilayah Lamongan. IPAM Babat merupakan IPAM terbesar yang dimiliki PDAM Lamongan. Air baku pada proses pengolahan air bersih di IPAM Babat berasal dari sungai Bengawan Solo. IPAM Babat memasok 80% kebutuhan air bersih penduduk Kabupaten Lamongan. PDAM Lamongan masih berupaya untuk memenuhi kebutuhan air bersih seluruh penduduk Lamongan.

Dalam rangka memenuhi persyaratan kualitas air bersih pada IPAM, maka perlu dilaksanakan pengelolaan secara terus menerus dan berkesinambungan agar terjamin kuantitas maupun kualitas air yang dihasilkan. Secara kualitas harus memenuhi syarat biologis, fisika, radioaktivitas dan kimia. Proses menghilangkan kotoran pada air baku akan mengakibatkan dampak lingkungan karena pada proses tersebut menggunakan zat kimia seperti bahan polimer, koagulan, alum, dan gas klorine. Zat kimia yang digunakan akan meninggalkan zat residu di dalam air olahan dan limbah yang dihasilkan, hal ini berdampak pada lingkungan. Selain itu semakin banyak jumlah air baku, keruh, dan semakin jauh jarak pengambilan air maka akan membutuhkan energi listrik dan zat kimia yang lebih besar, sehingga dampak yang dihasilkan juga semakin besar.

Pendekatan yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisa dampak lingkungan adalah dengan metode Life Cycle Assessment (LCA). LCA dapat mengestimasi dampak lingkungan kumulatif yang dihasilkan dari tahapan siklus hidup produk, sehingga akan diketahui bagian mana yang menimbulkan dampak terhadap lingkungan paling besar (Bacon, 2006). LCA terdiri dari empat tahapan utama, yaitu penentuan definisi dan ruang lingkup, analisis persediaan, penilaian dampak, serta interpretasi (ISO 14040:1997).

Selama ini IPAM Babat kurang memperhatikan dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi air bersih. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan identifikasi dampak yang ditimbulkan dari proses produksi air bersih dengan menggunakan metode LCA. Fokus penelitian ini adalah penggunaan metode Impact 2002+, membandingkan dengan metode Eco-Indicator 99 dan perolehan informasi dampak global warming. Global warming telah menjadi masalah pelik yang dihadapi masyarakat dunia. Tidak hanya menyebabkan perubahan iklim, global warming juga menimbulkan dampak yang lain yaitu berkurangnya sumber air tawar, gangguan produksi pangan, gangguan kesehatan, bencana alam, udara semakin tidak sehat, dan lain sebagainya.

MATERI DAN METODA

Tahap penelitian terdiri dari identifikasi masalah, studi literatur, studi lapangan, dan penentuan tujuan penelitian. Penelitian ini membutuhkan data primer dan data sekunder dalam pengolahannya.

Data primer diperoleh dari pengamatan langsung proses pengolahan air bersih di IPAM Babat dan diskusi dengan pihak operator dan penanggungjawab produksi. Data sekunder yang dikumpulkan adalah deskripsi IPAM Babat, jumlah air baku, proses pengolahan air bersih di IPAM Babat, kadar dan jenis bahan kimia yang digunakan dalam proses pengolahan air, mesin yang digunakan untuk pengolahan beserta daya setiap mesin, jumlah air bersih yang dihasilkan, limbah hasil produksi, dan data pendukung penelitian lainnya. Data pengolahan air bersih dibatasi hanya dalam 1 tahun.

Data sekunder yang telah diperoleh akan diolah dengan metode Life Cycle Assessment (LCA). Terdapat 4 fase pengolahan data dengan metode LCA yaitu fase goal dan scope, Life Cycle Inventory (LCI), Life Cycle Impact Assessment (LCIA), dan Interpretation.

Pada fase goal dan scope, goal yang dicapai adalah mengidentifikasi dampak lingkungan dari pengolahan air bersih. Sedangkan scope dalam penelitian ini adalah produksi air bersih. Data yang masuk pada fase Life Cycle Inventory (LCI) yaitu konsumsi bahan baku, listrik, hasil air bersih, dan limbah. Fase Life Cycle Impact Assessment (LCIA) diperoleh setelah data di proses dengan menggunakan SimaPro 7 yang digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan yang dihasilkan. Informasi dampak lingkungan yang dihasilkan bergantung terhadap pemilihan metode pada software SimaPro 7. Penelitian ini memilih metode Impact 2002+ saat data diproses pada software. Metode ini merupakan metode baru yang berasal dari gabungan dari metode Impact 2002, CML, IPCC, dan Eco-Indicator 99. Menurut Jolliet, O., et al (2003), Impact 2002+ menghasilkan 14 kategori dampak. Empat belas kategori dampak tersebut adalah carcinogens, non-carcinogens, resp. inorganic, ionizing radiation, ozone layer depletion, resp. organic, aquatic ecotoxicity, terrestrial ecotoxicity, terrestrial acid/nutri, land occupation, aquatic acidification, aquatic eutrophication, global warming, non-renewable energy, dan minerals. Metode Impact 2002+ merupakan metode untuk mendapatkan nilai komparatif antara toksisitas manusia dan eksotoksitas. Pada tahap interpretation berisi menginterpretasikan hasil dan menarik kesimpulan sesuai tujuan yang telah ditetapkan diawal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi air bersih IPAM Babat membutuhkan bahan baku berupa air baku atau air sungai. Selain air baku, bahan pendukung yang wajib digunakan dalam pengolahan air bersih dan yang mempengaruhi kualitas hasil air bersih adalah bahan kimia. Bahan kimia yang digunakan adalah aluminium sulfat, polimer, dan gas chlorine. Pengolahan air bersih IPAM Babat juga didukung oleh peralatan teknik, seperti pompa dan blower. Data seluruh penggunaan air baku, bahan kimia, dan listrik dari penggunaan peralatan dimasukkan pada software, dapat dilihat pada Gambar 1.

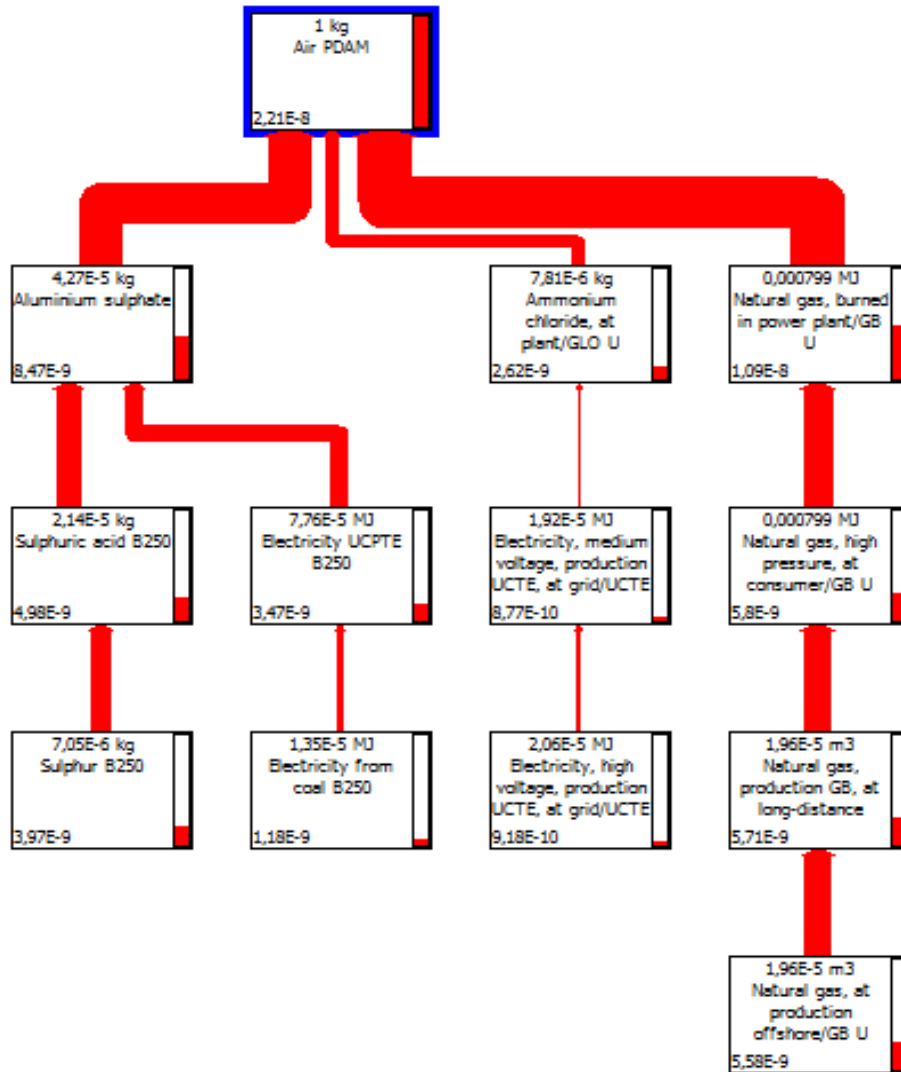
Products							
Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste type	Category	
Air PDAM	450000000	kg	Mass	63 %	not defined	Water/Industry water	
Sludge+air	2643840000	kg	Mass	37 %	not defined	Water/Industry water	
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD ¹ /2 or 2 ¹ SD Min	Max	Comment	
(Insert line here)							
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD ¹ /2 or 2 ¹ SD Min	Max	Comment
Water, river		7153920000		Undefined			
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD ¹ /2 or 2 ¹ SD Min	Max	Comment	
Aluminium sulphate	305700	kg	Undefined				
Chlorine, gaseous, diaphragm cell, at plant/RER S	1800	kg	Undefined				
Ammonium chloride, at plant/GLO U	55933.2	kg	Undefined				
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (electricity/heat)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD ¹ /2 or 2 ¹ SD Min	Max	Comment	
Natural gas, burned in power plant/GB U	1588809.6	kWh	Undefined				
(Insert line here)							
Outputs							

Gambar 1. Data pada software

Data pada Gambar 1 selanjutnya diolah SimaPro 7 dengan metode Impact 2002+. Hasil pengolahan data menghasilkan network dan single score. Dari network diperoleh informasi terkait hubungan setiap bahan baku dan peralatan dalam proses produksi yang berpengaruh terhadap dampak lingkungan. Gambaran network pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2 diperoleh informasi bahwa garis merah paling tebal menggambarkan bagian dalam proses pengolahan air tidak terproses sempurna sehingga menimbulkan dampak lingkungan paling besar. Garis merah paling tebal dimiliki oleh natural gas. Pada penelitian ini natural gas mewakili penggunaan energi listrik. Energi listrik diperoleh dari penggunaan peralatan yaitu pompa dan blower. Jarak pengambilan air yang jauh serta peralatan yang sudah berumur membuat penggunaan listrik cukup besar. Penggunaan aluminium sulfat memberikan dampak lingkungan kedua setelah natural gas, dan ammonium chloride memberikan dampak lingkungan paling kecil.

Penggunaan natural gas, aluminium sulfat, dan polimer yang tidak terproses sempurna akan berdampak pada lingkungan. Untuk mengetahui dampak tersebut, diolah dengan SimaPro 7 metode Impact 2002+. Dari metode Impact 2002+, diperoleh informasi empat belas kategori dampak lingkungan per 1 kg air yang diolah PDAM. Nilai setiap dampak lingkungan hasil kontribusi bahan kimia atau listrik dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1, tiga dampak lingkungan tertinggi akibat pengolahan air bersih adalah non-renewable energy, global warming, dan respiratory inorganics.

Dampak non-renewable energy dan global warming memiliki nilai tertinggi disebabkan penggunaan natural gas atau listrik, dan dampak respiratory inorganics disebabkan penggunaan aluminium sulfat.



Gambar 2. Network proses pengolahan air bersih

Tabel 1. Hasil Single Score Dampak Lingkungan Per 1 kg Air

Impact category	Unit	Total	Air PDAM	Aluminium sulphate	Chlorine, gaseous	Ammonium Chloride	Natural gas
Total	Pt	2,21E-8	0	8,47E-9	7,94E-11	2,62E-9	1,09E-8
Carcinogens	Pt	2,13E-10	0	1,56E-10	7,48E-13	4,22E-11	1,4E-11
Non-carcinogens	Pt	9,01E-11	0	4,55E-11	1,35E-12	3,92E-11	4,03E-12
Resp. inorganics	Pt	6,55E-9	0	5,33E-9	1,84E-11	5,38E-10	6,59E-10
Ionizing radiation	Pt	8,03E-12	0	0	5,34E-13	7,31E-12	1,88E-13
Ozone layer depletion	Pt	9,91E-13	0	5,33E-13	6,34E-14	1,36E-13	2,59E-13
Resp. organics	Pt	3,15E-12	0	1,99E-12	9,73E-15	5,37E-13	6,15E-13

Impact category	Unit	Total	Air PDAM	Aluminium sulphate	Chlorine, gaseous	Ammonium Chloride	Natural gas
Aquatic ecotoxicity	Pt	5,59E-11	0	5,4E-11	6,57E-14	1,64E-12	1,49E-13
Terrestrial	Pt	9,76E-11	0	1,26E-11	2,63E-12	7,66E-11	5,79E-12
Terrestrial acid/nutri	Pt	9,34E-11	0	6,45E-11	2,57E-13	9,71E-12	1,89E-11
Land occupation	Pt	4,36E-12	0	0	1,07E-13	3,81E-12	4,4E-13
Aquatic acidification	Pt	-	0	-	-	-	-
Aquatic	Pt	-	0	-	-	-	-
Global warming	Pt	6,68E-9	0	1,15E-9	2,39E-11	8,51E-10	4,66E-9
Non-renewable	Pt	8,29E-9	0	1,65E-9	3,12E-11	1,05E-9	5,55E-9
Minerals	Pt	2,17E-12	0	0	4,79E-14	2,01E-12	1,09E-13

Penggunaan natural gas atau listrik yang menyebabkan dampak non-renewable energy adalah ketersediaan gas, minyak, dan uranium pada tanah semakin berkurang. Pada Tabel 2 menunjukkan besarnya zat yang mempengaruhi dampak non-renewable energy. Gas, minyak bumi, uranium, gas alam, batu bara merupakan sumber energi tidak terbarukan, yang penggunaannya lebih cepat daripada dibuat kembali oleh alam. Menurut Jumina dan Wijaya (2012), minyak bumi merupakan sumber utama energi yang paling kritis. Perkiraan menyebutkan bahwa cadangan minyak bumi dunia akan habis dalam waktu 40 tahun lagi sedangkan batubara dan gas bumi diperkirakan akan habis dalam waktu 250 tahun dan 70 tahun.

Tabel 2. Substane Penggunaan Natural Gas Yang Berdampak Pada Non-Renewable Energy

Substane	Unit	Total
Gas, natural, in ground	Pt	6E-9
Uranium, 451 GJ per kg, in ground	Pt	7,66E-10
Oil, crude, 42.6 MJ per kg, in ground	Pt	3,52E-10

Penggunaan natural gas atau listrik yang menyebabkan dampak global warming adalah carbon dioxide hasil pembakaran bahan bakar fosil, seperti batu bara, minyak bumi, dan gas bumi. Pada Tabel 3 menunjukkan besarnya zat yang mempengaruhi dampak global warming. Menurut Soerjani (2007), karbon dioksida hasil lepasan pembakaran bahan bakar fosil menjadi kontributor utama (55%) pemanasan global. Pada tahun 2013, Kyung dkk melakukan penelitian tentang emisi CO₂ dari proses water treatment plant (WTP) konvensional. Proses WTP konvensional menggunakan listrik dan bahan bakar untuk proses unit operasi, produksi dan transportasi bahan kimia. Berdasarkan penelitian tersebut diketahui total emisi CO₂ yang dihasilkan dari konsumsi listrik WTP konvensional adalah 5,1% dari emisi total keseluruhan.

Tabel 3. Substane Penggunaan Natural Gas Yang Berdampak Pada Global Warming

Substane	Unit	Total
Carbon dioxide	Pt	1,13E-9
Carbon dioxide, fossil	Pt	5,46E-9

Penggunaan aluminium sulfat yang menyebabkan dampak respiratory inorganics adalah sulfur oxide dan nitrogen oxide. Pada Tabel 4 menunjukkan besarnya

zat yang mempengaruhi dampak respiratory inorganics. Berdasarkan Sentra Informasi BPOM (2011), aluminium sulfat merupakan garam anorganik yang menimbulkan resiko bahaya pada sistem pernapasan.

Tabel 4. Substansi Penggunaan Aluminium Sulfat Yang Berdampak Pada Respiratory Inorganics

Substansi	Unit	Total
Sulfur oxide	Pt	4,55E-9
Nitrogen oxide	Pt	1,31E-9
Particulates, < 2,5 um	Pt	2,91E-10

Empat belas dampak lingkungan dikelompokkan menjadi empat kategori dampak. Hasil empat kategori dampak disajikan pada Tabel 4. Empat kategori dampak terdiri dari:

1. Human health: carcinogens, respiratory inorganics, ionizing radiation, ozone layer depletion, non-carcinogens.
2. Ecosystem quality: aquatic ecotoxicity, terrestrial ecotoxicity, aquatic acidification, aquatic eutrophication, terrestrial acid/nutr, land occupation.
3. Climate change: global warming.
4. Resources: non-renewable energy, mineral extraction.

Dari Tabel 5 dapat diketahui bahwa secara keseluruhan proses pengolahan air bersih yang menimbulkan dampak paling besar disebabkan oleh penggunaan listrik, yaitu sebesar 2,21E-8 Pt. Dari Tabel 6, kategori dampak lingkungan terbesar dari pengolahan air bersih di IPAM Babat adalah resources. Nilai dari kategori dampak climate change dan resources juga disebabkan oleh natural gas atau listrik. Konsumsi listrik dalam satu tahun di IPAM Babat adalah 1.588.809,6 kWh. Konsumsi energi listrik terbesar ada pada proses pengambilan air baku. Hal ini disebabkan jarak pengambilan air cukup jauh dan peralatan yang sudah tua. Sedangkan nilai kategori dampak human health tertinggi disebabkan oleh aluminium sulfat, dan nilai kategori dampak ecosystem quality tertinggi disebabkan penggunaan amonium klorida.

Tabel 5. Nilai Empat Kategori Dampak Lingkungan Metode Impact 2002+

Impact category	Unit	Total	Air PDAM	Aluminium sulphate	Chlorine, gaseous	Ammonium Chloride	Natural gas
Total	Pt	2,21E-8	0	8,47E-9	7,94E-11	2,62E-9	1,09E-8
Resources	Pt	8,29E-9	0	1,65E-9	3,13E-11	1,06E-9	5,55E-9
Climate change	Pt	6,68E-9	0	1,15E-9	2,39E-11	8,51E-10	4,66E-9
Human health quality	Pt	6,87E-9	0	5,54E-9	2,11E-11	6,27E-10	6,78E-10

Tabel 6. Nilai Normalisasi Empat Kategori Dampak Lingkungan Metode Impact 2002+

Impact category	Total	Air PDAM	Aluminium sulphate	Chlorine, gaseous	Ammonium Chloride	Natural gas
Resources	8,29E-9	0	1,65E-9	3,13E-11	1,06E-9	5,55E-9
Climate change	6,68E-9	0	1,15E-9	2,39E-11	8,51E-10	4,66E-9
Human health	6,87E-9	0	5,54E-9	2,11E-11	6,27E-10	6,78E-10
Ecosystem quality	2,51E-10	0	1,31E-10	3,06E-12	9,17E-11	2,53E-11

Sebelumnya, penelitian tentang produksi air bersih dengan LCA pernah dilakukan oleh Irawati dan Andrian (2018). Dengan data yang sama, penelitian terdahulu menganalisis produksi air bersih IPAM Babat dengan LCA menggunakan SimaPro 7, metode Eco-Indicator 99. Hasil perhitungan dengan metode Eco-indicator 99 tertuang pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai Normalisasi Tiga Kategori Dampak Lingkungan Metode Eco-Indicator 99

Impact category	Total	Air PDAM	Aluminium sulphate	Chlorine, gaseous	Ammonium Chloride	Natural gas
Resources	1,6E-8	0	1,27E-9	2,34E-11	1,82E-9	1,29E-8
Human health	4,12E-9	0	2,7E-9	1,47E-11	4,6E-10	9,52E-10
Ecosystem quality	4,24E-10	0	2,46E-10	2,54E-12	1,12E-10	6,45E-11

Perbedaan hasil perhitungan metode Impact 2002+ dengan Eco-indicator 99 adalah sebagai berikut:

1. Dengan metode Impact 2002+ memberikan informasi dampak lingkungan lebih lengkap yaitu sebanyak 14 dampak lingkungan. Dari 14 dampak lingkungan dikelompokkan kembali menjadi 4 kategori dampak, salah satunya adalah memberikan informasi terkait kategori dampak climate change (global warming). Climate change menjadi kategori dampak terbesar setelah resources.
2. Metode Eco-Indicator 99 hanya memberikan informasi 11 dampak lingkungan. Dari 11 dampak lingkungan dikelompokkan hanya 3 kategori dampak, tidak memberikan informasi terkait climate change (global warming). Padahal informasi climate change diperlukan karena dalam proses pengolahan air bersih membutuhkan listrik cukup besar. Pembangkit listrik merupakan penyumbang CO₂ terbesar, penyebab global warming.

Persamaan hasil perhitungan metode Impact 2002+ dengan Eco-indicator 99 adalah pada proses pengolahan air bersih di IPAM Babat menimbulkan dampak lingkungan terbesar pada kategori resources yang disebabkan oleh natural gas atau penggunaan listrik. Dampak lingkungan terkecil dari kegiatan pengolahan air ada pada kategori ecosystem quality yang disebabkan oleh aluminium sulfat

KESIMPULAN

Berdasarkan gambar network, bagian proses pengolahan air bersih di IPAM Babat yang belum terproses sempurna sehingga menghasilkan dampak lingkungan adalah penggunaan natural gas atau listrik. Penggunaan natural gas menjadi penyumbang terbesar pada dampak lingkungan non-renewable energy dan global warming. Penggunaan natural gas atau listrik secara berlebihan dan terus-menerus akan mempercepat berkurangnya bahan bakar fosil. Disamping itu pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan CO₂ yang menjadi kontribusi terbesar dalam global warming. Penggunaan listrik terbesar disebabkan peralatan yang sudah tua dan penggunaan pompa pengambilan air baku dengan daya besar dan jarak tempuh yang jauh.

DAFTAR PUSTAKA

- Bacon, R., 2006, *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*. Scientific Application International Corporation (SAIC). Ohio: National Risk Management Research Laboratory. Ohio.
- Departemen Kesehatan, 1990, Peraturan Menteri Kesehatan No. 416/MENKES/PER/IX/1990 tentang Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Gabriel, J.F., 2000, *Fisika Lingkungan*, Jakarta: Hipokrates.
- International Organization for Standardization (ISO), 1997, *Environmental Management Life Cycle Assessment-Principles and Framework-ISO 14040*. Switzerland.
- Irawati, D. Y., dan D. Adrian, 2018, Analisa Dampak Lingkungan Pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA). *Jurnal Teknik Industri*, 19(2): 166-177.
- Joliet, O., et all. 2003, *IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 8(6): 324-330.
- Jumina & K. Wijaya, 2012, *Prospek Dan Potensi Renewable Energy (RES) Di Indonesia*. Pusat Studi Energi. Yogyakarta: UGM.
- Kyung, D., Kim, D., Park, N., Lee, W., 2013, Estimation of CO2 Emission from Water Treatment Plant—Model Development and Application. *Journal of Environmental Management*, 131: 74-81.
- Sentra Informasi Keracunan Nasional, 2011, *Bidang Informasi Keracunan*, Pusat Informasi Obat dan Makanan. Jakarta: Badan POM RI.
- Soerjani, dkk., 2007, *Lingkungan Hidup, Pendidikan Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Kelangsungan Pembangunan*. Jakarta: Yayasan Institut Pendidikan dan Pengembangan Lingkungan.