

Kajian Dampak Proses Pengolahan Air di IPA Siwalanpanji Terhadap Lingkungan dengan Menggunakan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA)

Fara Pratiwi Eka Riyanty dan Hariwiko Indarjanto

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: hwi_corp@yahoo.com

Abstrak - Dalam tugas akhir ini mengkaji dampak dampak terhadap lingkungan dari proses pengolahan air di IPA Siwalanpanji dengan menggunakan *Life Cycle Assessment*. Proses pengolahan air minum secara konvensional dapat menyebabkan dampak lingkungan akibat konsumsi energi dan pemakaian bahan kimia. *Life Cycle Assessment* (LCA) merupakan metode untuk menganalisis dampak suatu produk terhadap lingkungan sepanjang siklus hidupnya. Siklus hidup dari suatu produk terdiri dari ekstraksi bahan baku, proses produksi hingga proses pembuangan akhir. Dari hasil analisis LCA, menggunakan software Simapro 7.33 dampak pencemaran yang terjadi berupa pencemaran udara yang disebabkan oleh penggunaan klorin, *polyaluminium chloride* (PAC) dan konsumsi listrik. Dampak pencemaran terbesar terjadi pada penggunaan listrik dalam pemakaian satu hari yaitu menyebabkan *respiratory inorganics* sebesar 0,748 kg PM_{2.5}, *ozone layer depletion* sebesar 0,000295 kg CFC-11 dan *global warming* sebesar 1000 kg CO₂. Solusi untuk mengurangi dampak lingkungan yang dapat dilakukan instalasi pengolahan air adalah dengan cara peningkatan efisiensi peralatan.

Kata Kunci — Instalasi Pengolahan Air Minum, *Life Cycle Assessment*, Pencemaran Udara

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan bertambahnya penduduk dan industri, permasalahan lingkungan juga semakin besar. Permasalahan lingkungan ini terjadi akibat pencemaran lingkungan yang mengakibatkan dampak yang serius karena lingkungan tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Secara khusus, fasilitas umum seperti pembangkit listrik tenaga batubara, fasilitas insenerator dan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) telah dilaporkan untuk memancarkan sejumlah besar gas rumah kaca. Baru-baru ini, instalasi pengolahan air juga telah dikategorikan sebagai salah satu fasilitas publik yang signifikan memancarkan sejumlah besar CO₂ dengan mengkonsumsi listrik dan bahan kimia dalam jumlah besar [1]. Secara tidak langsung, industri

pengolahan air seperti PDAM bertanggung jawab atas dampak lingkungan yang terjadi secara global seperti, menipisnya sumber daya alam dan pelepasan langsung polutan kedalam air, tanah maupun udara [2].

Pengolahan air bertujuan untuk memberikan kualitas air bersih yang baik bagi konsumen. Pengolahan yang dilakukan seperti perlindungan terhadap mikroorganisme, penghilangan zat organik, kualitas estetika dan perlindungan jaringan distribusi dari gangguan korosi dan kontaminasi [2]. Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Delta Tirta Sidoarjo merupakan perusahaan yang melayani kebutuhan air bersih untuk Kabupaten Sidoarjo. Untuk memenuhi kebutuhan air bersih, PDAM Delta Tirta Sidoarjo memiliki enam instalasi pengolahan air yaitu, Kedunguling, Krian, Tawang Sari, Porong, Umbulan I dan Siwalanpanji. Semua instalasi pengolahan air di Kabupaten Sidoarjo merupakan sistem yang konvensional dengan menggunakan bahan kimia seperti *polyaluminium chloride* (PAC), khlorin dan koagulan aid yang menghasilkan residu atau produk hasil samping pada air pengolahannya.

Penggunaan bahan kimia terutama dalam proses koagulasi dan remineralisasi berkontribusi kedua terbesar dalam dampak terhadap lingkungan setelah konsumsi energi [3]. Pada proses pengolahan air menggunakan teknologi alternatif seperti desalinasi dan *reverse osmosis* berdampak lebih besar dibandingkan pengolahan air secara konvensional. Hasil penelitian [4] menunjukkan untuk mengolah 200.000 m³ air baku, membutuhkan listrik sebesar 3638±503 kWh/hari dan emisi CO₂ yang dihasilkan dari proses pengolahan air secara konvensional adalah 2031±281 kg CO₂/hari.

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) di Indonesia masih kurang memperhatikan dampak lingkungan yang ditimbulkan dari hasil kegiatan produksinya. Permasalahan yang sering terjadi pada unit proses pengolahan air seringkali diabaikan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi dampak yang ditimbulkan pada serangkaian proses pengolahan air di IPA Siwalanpanji dengan menggunakan *life cycle assessment*. *Life cycle assessment* (LCA) merupakan metode yang digunakan untuk menghasilkan informasi mengenai dampak lingkungan yang terjadi dengan menggunakan software SimaPro. LCA dapat menganalisis dan membandingkan beberapa proses atau

sistem yang berkontribusi terhadap kerusakan lingkungan. Penggunaan LCA disini diharapkan dapat membantu mengkuantifikasi dan mengevaluasi performansi lingkungan dari produk atau proses dan membantu menentukan dasar dalam melakukan perbaikan lingkungan.

II. METODE PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap yaitu, tahap pengumpulan data sekunder, kemudian dianalisis dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment (LCA)* dengan penginputan data bahan baku, energi dan emisi kedalam *software SimaPro 7.3*. Seluruh proses pengolahan air akan diketahui tipe-tipe dampak lingkungan yang ditimbulkan dan fokus pada hasil akhir analisis berupa senyawa yang dihasilkan oleh proses yang kemungkinan berkontribusi terhadap pencemaran udara, kemudian menganalisis alternatif untuk perbaikan proses pada pengolahan air tersebut.

B. Analisis Data dan Pembahasan

Data sekunder yang sudah dikumpulkan dimasukkan kedalam *SimaPro 7.3* untuk dapat menganalisis *Life Cycle Assessment (LCA)*. Penginputan data berupa bahan baku dan material, emisi dan energi yang digunakan setiap unit instalasi pengolahan air minum. Data yang sudah diinput akan diolah dan menghasilkan dampak lingkungan yang terjadi. Terdapat 14 *impact category*, namun peneliti hanya memfokuskan tiga yaitu, *ozone layer depletion*, *global warming* dan *respiratory inorganics*.

Pada tahapan penentuan dampak terdapat beberapa langkah seperti *characterization*, *normalization* dan *weighting*. Tahapan karakterisasi merupakan cara untuk membandingkan secara langsung hasil *life cycle inventory* dalam tiap kategori. Tahapan normalisasi dihitung dengan membagi hasil karakterisasi dengan nilai normalisasi. Untuk membandingkan berbagai potensi dampak lingkungan, dilakukan dengan *weighting/* pembobotan. Pembobotan dapat dilakukan dengan mengalikan hasil normalisasi nilai potensial oleh faktor bobot. Setelah langkah pembobotan, semua potensi dampak lingkungan dikonversi ke *single score*.

Ketiga *impact assessment* yang difokuskan pada unit instalasi pengolahan air minum menunjukkan hasil senyawa atau zat yang berpengaruh terhadap pencemaran udara. Senyawa tersebut dianalisis kemudian ditelusuri pada unit proses manakah yang paling signifikan memberikan dampak. Untuk menentukan keputusan alternatif yang akan diambil, peneliti harus membandingkan dengan jurnal yang sudah ada.

C. Proses Penginputan Data Pada Simapro 7.3.3

Sebelum melakukan pengolahan data menggunakan *software SimaPro*, maka terlebih dahulu dilakukan proses input data bahan baku, emisi dan listrik yang digunakan pada proses pengolahan air di IPA Siwalanpanji.

Penentuan tujuan dan cakupan didasarkan kepada tujuan dalam penelitian ini yaitu, identifikasi permasalahan pada serangkaian proses pengolahan air di IPA Siwalanpanji dan merumuskan dampak lingkungan akibat permasalahan tersebut. Tujuan ini menjadi landasan dalam penggunaan

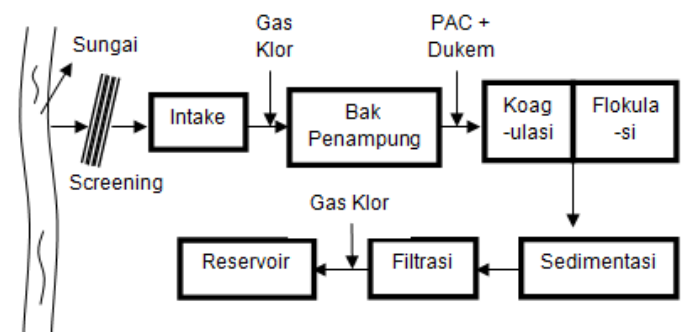
software SimaPro. Penginputan data, seperti bahan baku yang digunakan dan energi yang dibutuhkan pada setiap unit proses pengolahan air. Kemudian memasukan limbah dan emisi yang dikeluarkan dari proses tersebut

Penilaian dampak dilakukan dengan menggunakan metode *Impact 2002+*. Dari penginputan data di *life cycle inventory*, pada tahap ini akan didapatkan grafik dari setiap prosesnya dimana memiliki *impact assessment* yang menjadi prioritas dalam penelitian yaitu *ozone layer depletion*, *global warming* dan *respiratory inorganics*. Pemilihan prioritas ini dikarenakan ketiga hal tersebut sangat berkaitan dengan topik penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proses Pengolahan di IPA Siwalanpanji

Instalasi Pengolahan Air (IPA) Siwalanpanji mengambil air baku yang berasal dari *Afvoer* Buduran. IPA Siwalanpanji memiliki satu unit Intake, satu unit sumur pengumpul, dan dua unit reservoir, sedangkan untuk masing-masing IPA 1 dan IPA 2 terdiri dari unit koagulasi, flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi. Alur proses produksi IPA Siwalanpanji dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Alur Proses Produksi IPA Siwalanpanji

Konsumsi energi pada tiap unit proses IPA berbeda karena peralatan yang digunakan seperti pompa air baku, blower dan pompa distribusi tidak dimiliki setiap unit.

Bahan kimia yang digunakan pada IPA Siwalanpanji berfungsi untuk membantu pengendapan (koagulan) dan menghilangkan organism pathogen (desinfektan). Bahan kimia yang digunakan di IPA Siwalanpanji antara lain:

1. Polyaluminium Chloride ($Al_2(OH)_3Cl_3$)
Polyaluminium Chloride (PAC) berfungsi untuk mengendapkan partikel-partikel koloid yang terdapat dalam air. Dosis penambahan PAC pada kondisi normal sebesar 30mg/L. Pemakaian PAC dalam satu hari sebesar 762,45 kg/hari.
2. Dukem
Dukem merupakan campuran dari beberapa polimer yang digunakan sebagai koagulan aid. Penambahan koagulan air dilakukan agar memperkuat ikatan antar partikel agar cepat mengendap. Pemakaian dukem dalam satu hari sebesar 0,06 kg/hari.
3. Gas Klor (Cl_2)
Gas klor berfungsi sebagai desinfektan yang melindungi air dari dari baktri, virus dan organisme patogen lainnya. Gas klor pada IPA Siwalanpanji dibagi menjadi dua yaitu preklorinasi dan postklor. Preklorinasi dilakukan sebelum

air baku masuk unit koagulasi, sedangkan postklor dilakukan sebelum air disimpan di unit reservoir. Pemakaian gas klor dalam satu hari untuk preklorinasi sebanyak 26,67 kg/hari dan untuk postklor sebanyak 13,33 kg/hari.

B. Pengolahan Data Life Cycle Assessment (LCA)

Untuk melakukan pengolahan data penilaian dampak lingkungan digunakan *software* Simapro 7.3.3. Untuk mengolah data menggunakan *software* ini maka diperlukan beberapa tahapan yakni definisi *boundary*, *life cycle inventory*, dan penentuan dampak lingkungan. *Boundary* pada penelitian ini terbatas pada *cradle to gate* dimulai dari pengadaan bahan baku hingga menjadi produk jadi atau *finish product*. Pada tahapan *Life Cycle Inventory* maka dilakukan ekstraksi *material* yang digunakan pada proses pengolahan air di IPA Siwalanpanji. Sedangkan pada tahapan penentuan dampak lingkungan dilakukan beberapa tahapan yakni *characterization* dan *normalisation*. Data yang menjadi inputan pada penelitian ini merupakan data yang diperoleh dari perusahaan. Salah satu kelemahan pada *software* Simapro adalah tidak semua *database* tersedia sehingga harus menggunakan pendekatan *material* yang menjadi *resource* pada IPA Siwalanpanji.

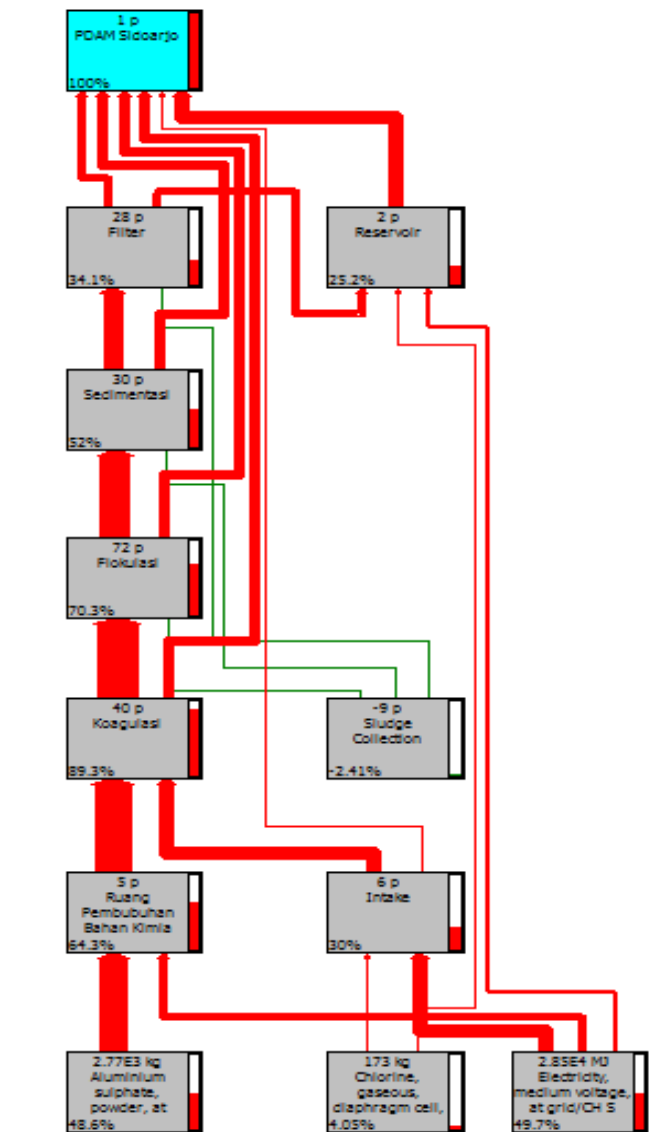
C. Hasil Pengolahan Software Simapro 7.3.3

Hasil dari pengolahan data pada Simapro tersebut akan menghasilkan tiga macam *assessment* yaitu, *network*, *characterization impact assessment* dan juga *normalization impact assessment*. Hasil *network* ini memberikan informasi hubungan dari setiap proses yang memiliki pengaruh dalam menghasilkan dampak. *Network* keseluruhan proses pengolahan air dimulai dari intake sampai reservoir dapat dilihat pada Gambar 2.

Garis merah yang tebal merupakan beban lingkungan yang terjadi semua proses produksi seperti intake, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filter dan reservoir berkontribusi terhadap dampak lingkungan, namun garis merah paling tebal pada proses koagulasi karena mengandung koagulan berupa penggunaan *polyaluminium chloride* (PAC).

Pada tahap penilaian dampak (*impact assessment*) dilakukan penentuan dampak terhadap lingkungan yang telah diperoleh dari tahapan LCI (*Life Cycle Inventory*). Pada tahap ini metode pada *software* SimaPro yang digunakan untuk memperkirakan besarnya dampak yang terjadi adalah Impact2002+. Metode Impact2002+ dipilih karena merupakan metode paling baru dan merupakan kombinasi dari empat metode sebelumnya yaitu IMPACT 2002 (Pennington et al. 2005), Eco-indicator 99 (Goedkoop and Spriensma. 2000, 2nd version, Egalitarian Factors), CML (Guinée et al. 2002) dan IPCC.

Menggunakan metode Impact2002+ akan dihasilkan 14 kategori dampak, namun akan difokuskan pada tiga dampak utama penyebab pencemaran udara yaitu *ozone layer depletion*, *global warming*, dan *respiratory inorganics*. Dilakukan beberapa langkah meliputi *characterization*, dan *normalization*. Hasil dari karakterisasi dampak lingkungan dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2 Network Proses Pengolahan Air Siwalanpanji

Tabel 1 Hasil Karakterisasi Dampak Lingkungan IPA Siwalanpanji

Impact category	Unit	Intake	Koagulasi	Flokulasi	Sedimentasi	Filter	Reservoir
Respiratory inorganics	kg PM _{2.5} eq	0.0849	0.0662	0.662	0.662	0.662	0.789
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	5.78E-05	8.83E-05	8.83E-05	8.83E-05	8.83E-05	0.000133
Global warming	kg CO ₂ eq	113	443	443	443	443	613

Dari hasil karakterisasi dilakukan tahapan normalisasi untuk memudahkan perbandingan antar *impact category*. Hasil normalisasi dampak lingkungan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Normalisasi Dampak Lingkungan IPA Siwalanpanji

Impact category	Unit	Intake	Koagulasi	Flokulasi	Sedimentasi	Filtrasi	Reservoir
Respiratory inorganics	kg PM _{2.5} eq	0.0849	0.662	0.662	0.662	0.662	0.789
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	5.78E-05	8.83E-05	8.83E-05	8.83E-05	8.83E-05	0.00133
Global warming	kg CO ₂ eq	113	443	443	443	443	613

D. Analisis Dampak Pencemaran Udara

Untuk memfokuskan dampak pencemaran yang terjadi dari ketiga *impact assessment* dipilihlah dua dampak yang kemungkinan berkontribusi terhadap pencemaran udara yaitu *respiratory inorganics* dan *global warming*. *Ozone layer depletion* tidak dimasukkan karena dampak pencemaran udara yang dihasilkan sangat kecil.

Zat pencemaran udara yang berkontribusi terhadap *respiratory inorganics* yaitu berupa sulfur dioksida, nitrogen dioksida, partikulat <2,5 µm dan ammonia, sedangkan untuk *global warming* zat pencemaran udara yang berkontribusi adalah karbon dioksida, methane, dinitrogen monoksida, sulfur heksafluorida dan karbon monoksida. Tabel 3 dan 4 dibawah ini menunjukkan besarnya zat pencemaran udara pada katagori *respiratory inorganics* dan *global warming*.

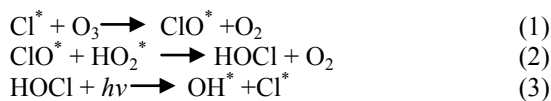
Tabel 3 Zat Pencemaran Udara Katagori Respiratory Inorganics

Zat	Unit	Total
Sulfur dioksida	kg PM _{2.5} eq	0.06035
Nitrogen dioksida	kg PM _{2.5} eq	0.58873
Partikulat, <2.5 µm	kg PM _{2.5} eq	0.03156
Ammonia	kg PM _{2.5} eq	0.00821

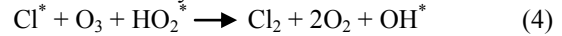
Tabel 4 Zat Pencemaran Udara Katagori Global Warming

Zat	Unit	Total
Karbon dioksida	kg CO ₂ eq	0.244
Methane	kg CO ₂ eq	0.00413
Dinitrogen monoksida	kg CO ₂ eq	0.00164
Sulfur heksafluorida	kg CO ₂ eq	0.00153
Karbon monoksida	kg CO ₂ eq	0.000245

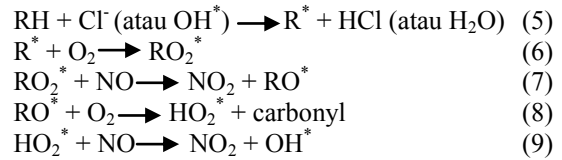
Penggunaan PAC, klorin dan listrik pada proses pengolahan air di IPA Siwalanpanji berkontribusi terhadap pencemaran udara. Berdasarkan [5], untuk penggunaan klorin dan PAC yang berkontribusi terhadap pencemaran udara disebabkan oleh gas klor yang menguap ke atmosfer sebesar 20%. Gas klor yang terlepas ke atmosfer dapat bereaksi dengan ozon atau senyawa organik lainnya seperti persamaan dibawah ini [6].



Reaksi keseluruhannya:



Senyawa ozon di atmosfer diimbangi dengan produksi hidroksil radikal (OH*) dari oksidasi senyawa organik yang mudah menguap. Hal ini menyebabkan peningkatan produksi senyawa NO_x. Siklus transformasi dari ozon dengan klorin dan hidroksil sebagai berikut.



Untuk emisi CO₂ disebabkan karena pembakaran karbon yang terkandung pada energi fosil, baik minyak bumi, gas bumi maupun batubara. Karbon dioksida adalah kontributor utama pemanasan global. Penelitian yang dilakukan oleh [4], digunakan pemodelan untuk memperkirakan emisi CO₂ pada pengolahan air (WTP) secara konvensional yaitu menggunakan *on-site* CO₂ dan *off-site* CO₂. *On-site* CO₂ didefinisikan seperti reaksi kimia dalam proses pencampuran mekanik pada koagulasi. *Off-site* CO₂ adalah konsumsi listrik dan bahan bakar untuk proses unit operasi serta untuk produksi dan transportasi bahan kimia untuk konsumsi *on-site*. Berdasarkan penelitian tersebut diketahui total emisi CO₂ yang berhubungan dengan konsumsi listrik oleh WTP konvensional adalah sebesar 5,1% dari emisi total keseluruhan. Tabel 5 menunjukkan kontribusi setiap bahan kimia dan konsumsi listrik pada tiap katagori dampak.

Tabel 5 Karakteristik Dampak Berdasarkan Bahan Kimia dan Konsumsi listrik

Impact category	Unit	Klorin	PAC	Listrik
Respiratory inorganics	kg PM _{2.5} eq	0.124	2.65	0.748
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	0.000295	0.000108	0.000141
Global warming	kg CO ₂ eq	159	330	1000

Dari hasil tersebut dapat dilihat paling besar berkontribusi adalah pemakaian listrik dalam satu hari seluruh unit pengolahan terhadap pencemaran *global warming* sebesar 1000 kg CO₂.

Konsumsi listrik di IPA Siwalanpanji dalam satu hari untuk seluruh unit proses pengolahan air sebesar 2442,03 kWh dan menghasilkan emisi udara sebesar 88.5 kg CO₂ di intake, 63.2 kg CO₂ di koagulasi dan 158 kg CO₂ di reservoir. Proses di reservoir paling besar karena terdapat tiga buah pompa untuk distribusi. Diperlukan penghematan energi seperti peningkatan efisiensi peralatan. Peningkatan efisiensi peralatan dapat dilakukan dengan mengganti peralatan yang sudah tua dengan peralatan yang lebih efisien, selain itu dengan memaksimalkan peralatan pada setiap unit proses seperti pada unit koagulasi untuk proses pencampuran koagulan PAC dan dukem dengan

air pada tangki menggunakan paddle dimaksimalkan kecepatan putaran hingga 150 rpm.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Dampak lingkungan hasil analisis yang terjadi di IPA Siwalanpanji berupa pencemaran udara yang disebabkan oleh penggunaan bahan kimia berupa klorin dan *polyaluminium chloride* (PAC) dan konsumsi listrik. Hasil dampak terbesar terjadi pada penggunaan listrik dalam pemakaian satu hari yaitu menyebabkan *respiratory inorganics* sebesar 0,748 kg PM_{2.5}, *ozone layer depletion* sebesar 0,000295 kg CFC-11 dan *global warming* sebesar 1000 kg CO₂.
2. Solusi untuk mengurangi dampak lingkungan yang dapat dilakukan instalasi pengolahan air adalah dengan cara peningkatan efisiensi peralatan. Peningkatan efisiensi peralatan dapat dilakukan seperti contoh pada unit koagulasi saat pencampuran koagulan dengan air pada bak pengaduk, yaitu memaksimalkan kecepatan paddle hingga 150 rpm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PDAM Delta Tirta Sidoarjo dan semua pihak yang memberikan bantuan untuk terselesaikannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Raucher, R.S., et al. 2008. *Risk and Benefits of Energy Management For Drinking Water Utilities*. Awwa Research Foundation. Denver.
- [2] Bonton, A., Bouchard, C., Barbeau, B., Jedrzejak, S. 2012. *Comparative Life Cycle Assessment of Water Treatment Plants*. *Desalination*, 284. 42-54.
- [3] Vince, F., Aoustin, E., Breant, F., Marechal, F. 2008. *LCA Tool For The Environmental Evaluation of Potable Water Production*. *Desalination*, 220. 37-56.
- [4] 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.
- [5] Chang, S. 2005. *Atmospheric Chlorine Chemistry in Southeast Texas: Impacts on Ozone and Particulate Matter Formation and Control*. Dissertation. The University of Texas at Austin.
- [6] Oldfield, S., Allen, D. 1998. *The Impact of Molecular Chlorine Emissions on Ozone Formation in Southeast Texas*. Final Report. University of Texas.