



Implementasi Perbaikan Proses Produksi Air Bersih di Instalasi Pengolahan Air Minum

Desrina Yusi Irawati^{1*}, Agrienta Bellanov², Ravaelino Dimas Eka Narendra³

Program Studi Teknik industri – Universitas Katolik Darma Cendika

Jalan Dr. Ir. H. Soekarno 201, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

desrina.yusi@gmail.com

* corresponding author

INFO ARTIKEL

doi: 10.350587/Matrik
v24i1.4152

Jejak Artikel :

Upload artikel

30 Juni 2022

Revisi

26 September 2023

Publish

30 September 2023

Kata Kunci :

LCA, QFD, instalasi
pengolahan air minum,

ABSTRAK

Keterbatasan sumber daya air, meningkatnya permintaan air, dan polusi sumber daya air menjadi tugas besar yang perlu di pikirkan oleh Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM). Metode sistematis untuk mengidentifikasi, mengukur, dan menilai aspek dan dampak potensial lingkungan melalui seluruh siklus hidup suatu produk, proses atau aktivitas dapat menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA). Analisis dampak lingkungan yang dihasilkan dari metode LCA dapat menjadi masukan dalam melakukan perbaikan kualitas pengolahan air bersih dari segi lingkungan. Salah satu metode perbaikan kualitas adalah Quality Function Deployment (QFD). Penelitian ini bermaksud mengimplementasikan perbaikan yang perlu dilakukan oleh pihak IPAM Babat dalam mengurangi potensi pencemaran lingkungan serta memanfaatkan kembali limbah dari pengolahan IPAM. Perbaikan yang telah diterapkan selanjutnya dianalisis menggunakan LCA untuk mengetahui dampak lingkungan yang ditimbulkan dan membandingkan besar dampak lingkungan sebelum dan setelah perbaikan diimplementasikan. Keseluruhan dampak mengalami penurunan nilai setelah dilakukan pencampuran air lumpur buangan pada proses produksi air bersih selama 30 menit. Hal ini menunjukkan bahwa dalam menghasilkan 1 kg air bersih dengan pengolahan kembali air lumpur buangan dapat mengurangi dampak fossil fuels, carcinogens, respiratory organics, respiratory inorganics, climate change, radiation, ozone layer, excotoxicity, acidification/eutropication, land use, dan minerals.



1. Pendahuluan

Keterbatasan sumber daya air, meningkatnya permintaan air, dan polusi sumber daya air menjadi tugas besar yang perlu di pikirkan oleh Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM). Hal tersebut menghasilkan masalah sosial, ekonomi, dan lingkungan di tingkat lokal maupun regional. IPAM merupakan bangunan atau konstruksi pokok dari sistem yang berfungsi untuk mengolah air dari kualitas air baku menjadi kualitas air olahan sesuai standar yang ditentukan. Aktivitas IPAM berlangsung secara terus-menerus karena air bersih merupakan kebutuhan pokok manusia. Untuk melakukan aktivitasnya, sistem pengolahan air bersih mengkonsumsi bahan kimia dan energi untuk operasi, konstruksi, perawatan, stasiun pompa, dan lain sebagainya. IPAM Babat merupakan instalasi yang mengelola air bersih dari air Sungai Bengawan Solo. Proses pengolahan air bersih membutuhkan bahan kimia dan energi [1][2][3][4]. Penggunaan zat kimia dalam proses pengolahan air menimbulkan racun karsinogenik, mutagenik, dan berbahaya bagi kesehatan [5]. Penggunaan energi berkontribusi terhadap perubahan iklim [6]. Disamping itu pengolahan air bersih menghasilkan limbah berupa lumpur [7]. Pembuangan lumpur berdampak pada masalah lingkungan [8]. Pertumbuhan penduduk, kondisi air baku, dan ketatnya kualitas air akan meningkatkan penggunaan energi dan bahan kimia dalam pengolahan air bersih [9]. Tentunya hal ini berpotensi meningkatkan pencemaran lingkungan sekitar.

Metode sistematis untuk mengidentifikasi, mengukur, dan menilai aspek dan dampak potensial lingkungan melalui seluruh siklus hidup suatu produk, proses atau aktivitas dapat menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Beberapa penelitian telah menggunakan LCA untuk menganalisis dampak lingkungan instalasi pengolahan air minum [10][11][12]. LCA pernah digunakan untuk membandingkan proses pengolahan air minum konvensional, osmosis, air mineral kemasan botol plastik, dan botol kaca [13], perbandingan proses pengolahan air minum konvensional dengan teknologi berbasis alam [14]. Analisis dampak lingkungan yang dihasilkan dari metode LCA dapat menjadi masukan dalam melakukan perbaikan kualitas pengolahan air bersih dari segi lingkungan.

Salah satu metode perbaikan kualitas adalah *Quality Function Deployment* (QFD). QFD menjadikan perusahaan untuk menjadi proaktif terhadap masalah kualitas. Tujuan utama QFD adalah untuk memastikan produk dengan memperhatikan kualitas pada setiap tahap siklus hidup sampai menjamin hasil akhir sesuai dengan kebutuhan dan harapan pelanggan [15]. Beberapa penelitian tentang perbaikan proses pengolahan air pada instalasi pengolahan air dengan metode QFD sudah pernah dilakukan [16][17][18]. Pada penelitian ini bermaksud mengimplementasikan perbaikan yang perlu dilakukan oleh pihak IPAM Babat untuk mengurangi potensi pencemaran lingkungan akibat penggunaan bahan kimia serta memanfaatkan kembali limbah dari pengolahan IPAM. Penerapan kembali limbah pengolahan IPAM merupakan hasil keluaran QFD yang pernah dilakukan oleh penelitian sebelumnya [19]. Penelitian tersebut mencari teknis perbaikan pengolahan air bersih di IPAM Babat dengan menggunakan metode QFD. Dari perhitungan *technical matrix* QFD, prioritas *technical response* yang dijadikan dasar perbaikan pada proses pengolahan air bersih di IPAM Babat adalah pengolahan kembali air lumpur buangan. Penerapan perbaikan yang telah diterapkan selanjutnya dianalisis menggunakan LCA untuk mengetahui dampak lingkungan yang ditimbulkan dan membandingkan besar dampak lingkungan sebelum dan setelah perbaikan diimplementasikan.

2. Metode Penelitian

2.1. Implementasi Perbaikan

Perbaikan proses produksi berdasarkan hasil pengolahan QFD adalah pengolahan kembali air lumpur buangan [19]. Perbaikan dilakukan dengan persetujuan pihak IPAM Babat. Pengolahan kembali air lumpur buangan pada proses produksi air bersih dilakukan selama 30 menit. Hal ini didasari bahwa air lumpur buangan yang layak digunakan hanya ketika air lumpur mampu disedot selama 30 menit. Ketersediaan volume air yang layak. Pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini berlangsung sebelum dan sesudah perbaikan diimplementasikan. Data tersebut berupa data sekunder dan data primer. Data sekunder yang digunakan adalah data dalam setahun terkait jenis dan jumlah zat kimia,

limbah dari proses produksi air bersih, alur proses produksi air bersih, jenis dan jumlah alat yang digunakan selama produksi air bersih berlangsung, jumlah air baku, jumlah air bersih yang dihasilkan, perbaikan teknis yang perlu dilakukan untuk meminimalkan dampak lingkungan yang dihasilkan. Data sekunder ini diperoleh dari data penelitian terdahulu [19]. Data primer yang digunakan pada penelitian ini adalah jumlah lumpur buangan yang diolah kembali, jumlah air baku, jenis dan jumlah zat kimia, jenis dan jumlah alat yang digunakan ketika implementasi dilakukan, jumlah air bersih dan lumpur yang dihasilkan dari implementasi perbaikan selama 30 menit. Data primer diperoleh dari diskusi dengan kepala produksi IPAM Babat.

2.2. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan mengolah data siklus hidup produksi air bersih tanpa penambahan air lumpur buangan dan ketika dilakukan perbaikan dengan menambahkan air lumpur buangan. Data tersebut diolah menggunakan *software* SimaPro versi 7.1. Selanjutnya membandingkan nilai dampak lingkungan dari proses produksi tanpa air lumpur buangan dan dengan air lumpur buangan.

2.3. Life Cycle Assessment

Tahapan LCA yang dilakukan berdasarkan tahapan ISO 14040 dan ISO 14044, yaitu *goal and scope definition*, *life cycle inventory*, *life cycle impact assessment*, dan *interpretation* [20][21]. Tujuan penelitian ini adalah analisis dampak lingkungan yang ditimbulkan selama proses produksi air bersih. Lingkupnya meliputi produksi air bersih tanpa penggunaan air lumpur buangan dan dengan penggunaan air lumpur buangan. Perhitungan *life cycle inventory* berisi kebutuhan bahan dalam satuan berat, jumlah dan jenis konsumsi energi, dan limbah yang dihasilkan. Fase *life cycle impact assessment* berisikan analisa jenis dan nilai dampak dari proses produksi air bersih dengan dan tanpa air lumpur buangan. Identifikasi dampak mengikuti pengelompokan Eco-Indikator 99 menggunakan *software*. Terdapat 11 kategori dampak yaitu *carcinogens*, *respiratory inorganics*, *radiation*, *ozone layer*, *respiratory organics*, *ecotoxicity*, *climate change*, *acidification/eutrophication*, *land use*,

fossil fuels, dan *minerals* [21]. Hasil pengolahan *life cycle inventory* dan *life cycle impact assessment* selanjutnya diinterpretasikan dan ditarik kesimpulan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Proses Produksi

IPAM Babat menggunakan dua paket unit pengolahan yaitu 1 unit bertipe konvensional dan 1 unit *water treatment plant*. Proses pengolahan air di IPAM Babat terdiri dari delapan tahap. Delapan tahapan tersebut adalah proses di *intake*, pengendapan di bak pengendap, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, thomson, pemberian gas klorin. Air baku yang diolah di IPAM Babat adalah air yang berasal dari sungai Bengawan Solo. Jarak sumur air baku dan *intake* dengan tempat pengolahan air bersih kurang lebih 1 km. Air baku dari saluran *intake* akan dipompakan ke bak pengendap yang kemudian dialirkan ke unit pengolahan konvensional dan *water treatment plant*. Pengambilan air baku dan penyaluran air sampai ke bak pengendap di IPAM Babat menggunakan pompa. Sampai di bak pengendap air baku selanjutnya dialirkan ke proses flokulasi sampai ke *ground reservoir* dengan memanfaatkan gaya gravitasi. Namun pada tahap flokulasi dan koagulasi membutuhkan *blower* untuk membantu pengadukan air setelah dicampur dengan polimer dan aluminium sulfat. Penambahan lumpur buangan dilakukan dengan memompakan lumpur buangan ke bak pengendap menggunakan pompa. Seluruh pompa yang digunakan di IPAM Babat membutuhkan energi listrik dalam pengoperasiannya.

3.2. Life Cycle Inventory

Data yang terkumpul berupa seluruh data dari proses pengambilan air baku sampai proses pengolahan air bersih dengan lumpur buangan dan tanpa lumpur buangan selama 30 menit. Data-data dikelompokkan menjadi data *input* dan *output*. Data yang telah dikelompokkan tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. *Input* dan *output* data proses pengolahan air bersih dengan penambahan air lumpur buangan dan tanpa penambahan air lumpur buangan selama 30 menit

Kategori		Penambahan Air Lumpur Buangan	Tanpa Penambahan Air Lumpur Buangan
<i>Output</i> /produk	Air bersih yang keluar	306391,3 kg	261000 kg
	<i>Sludges</i> +air	179608,7 kg	15300 kg
<i>Input</i> listrik	<i>Intake</i>	33 kWh	33 kWh
	Pompa limbah	11 kWh	-
	Sumur	22 kWh	22 kWh
	Pompa pencucian pasir manual	30 kWh	30 kWh
	Pompa proses alum	4,82 kWh	4,82 kWh
	Blower proses polimer <i>water treatment plant</i>	0,875 kWh	0,875 kWh
	Blower <i>water treatment plant</i>	16,625 kWh	16,625 kWh
	Blower air alum	0,275 kWh	0,275 kWh
	Blower air polimer <i>water treatment plant</i>	0,1 kWh	0,1 kWh
<i>Input</i> bahan kimia	Aluminium Sulfat	17,69097 kg	17,69097 kg
	Polimer (<i>Ammonium Chloride</i> 45%)	7,193056 kg	7,193056 kg
	Gas <i>chlorine</i>	0,104167 kg	0,104167 kg
<i>Input</i> air	Air sungai	414000 liter	414000 liter
	Air limbah	72000 liter	-

Dari Tabel 1 diketahui bahwa perbedaan *input* dan *output* pada proses pengolahan air bersih dengan tambahan air lumpur buangan dan tanpa air lumpur buangan adalah pada produk akhir, air baku, dan penggunaan energi listriknya. Penggunaan air baku lebih banyak pada proses pengolahan air dengan tambahan air lumpur buangan, dikarenakan air baku dari sungai mendapatkan tambahan air lumpur buangan. Semakin banyak air baku yang diolah maka semakin banyak hasil produk akhir. Penambahan air lumpur buangan pada air baku akan menambah penggunaan pompa guna menyalurkan air lumpur dari bak limbah ke bak pengendapan.

Penambahan jumlah penggunaan pompa berpengaruh pada bertambahnya jumlah penggunaan energi listrik. Data aliran *input* dan *output* pada proses produksi menjadi masukan pada *software*.

3.3. Life Cycle Impact Assessment

Data pada tahap *life cycle inventory* dikalkulasi dan didapatkan persentase penggunaan energi listrik dan bahan kimia yang berpotensi memberikan dampak lingkungan. Persentase penggunaan energi listrik dan bahan kimia tersaji pada Tabel 2.

Tahap 2. Persentase penggunaan energi listrik dan bahan kimia selama 30 menit

<i>Inflows</i>	Sebelum penambahan lumpur buangan (%)	Setelah penambahan lumpur buangan (%)
<i>Natural gas</i>	62,6	65,9
<i>Chlorine gas</i>	0,159	0,145
<i>Aluminium sulphate</i>	16,5	15,1
<i>Amonium chloride</i>	20,7	18,9

Secara keseluruhan dari Tabel 2 diketahui bahwa presentase jumlah penggunaan energi listrik lebih besar dari bahan kimia karena dalam proses pengolahan air bersih dibutuhkan pompa untuk mengambil air dari sungai Bengawan Solo dan blower untuk proses flokulasi dan koagulasi. Presentase penggunaan energi listrik lebih besar pada proses pengolahan air dengan tambahan air lumpur buangan dibandingkan tanpa tambahan air lumpur buangan. Hal ini dikarenakan pada proses penambahan air lumpur buangan membutuhkan pompa untuk mentransfer air lumpur buangan ke bak pengendap bercampur dengan air baku dari sungai.

Tahap *life cycle inventory* juga menghasilkan nilai *impact assessment* antara proses produksi dengan tambahan lumpur buangan dan yang tanpa tambahan lumpur buangan. Analisa *impact assessment* yang digunakan adalah *normalization*. Hasil perhitungan tersebut tersaji pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Normalization dampak proses produksi 1 kg air ipam sebelum dilakukan penambahan lumpur buangan selama 30 menit

Impact category	Total	Aluminium sulphate	Chlorine, gaseous	Ammonium chloride	Natural gas
Carcinogens	1,66E-10	7,04E-11	1,61E-12	8,88E-11	4,99E-12
Resp.org	9,89E-12	9,17E-13	4,92E-15	8,61E-12	3,53E-13
Resp.inorganics	3,47E-9	2,46E-9	9,44E-12	6,38E-10	3,61E-10
Climate change	1,19E-9	1,6E-10	3,32E-12	2,77E-10	7,46E-10
Radiation	7,48E-12	0	2,35E-13	7,15E-12	9,71E-14
Ozone layer	5,41E-13	2,46E-13	4,75E-14	1,26E-13	1,21E-13
Excotoxicity	2,24E-10	7,28E-11	1,33E-12	1,45E-10	5,42E-12
Acidification/Eutropication	2,9E-10	1,72E-10	6,9E-13	5,77E-11	5,92E-11
Land use	5,65E-11	0	5,14E-13	4,52E-11	1,08E-11
Minerals	1,97E-10	0	2,04E-12	1,9E-10	5,14E-12
Fossil fuels	2,02E-8	1,27E-9	2,13E-11	3,85E-9	1,51E-8

Tabel 4. Normalization dampak proses produksi 1 kg air ipam setelah dilakukan penambahan lumpur buangan selama 30 menit

Impact category	Total	Aluminium sulphate	Chlorine, gaseous	Ammonium chloride	Natural gas
Carcinogens	1,42E-10	5,99E-11	1,37E-12	7,57E-11	4,9E-12
Resp.org	8,47E-12	7,82E-13	4,19E-15	7,33E-12	3,47E-13
Resp.inorganics	3E-9	2,1E-9	8E-12	5,43E-10	3,55E-10
Climate change	1,11E-9	1,37E-10	2,83E-12	2,36E-10	7,33E-10
Radiation	6,38E-12	0	2E-13	6,09E-12	9,54E-14
Ozone layer	4,76E-13	2,1E-13	4,04E-14	1,07E-13	1,19E-13
Excotoxicity	1,92E-10	6,2E-11	1,13E-12	1,23E-10	5,33E-12
Acidification/Eutropication	2,55E-10	1,47E-10	5,88E-13	4,91E-11	5,82E-11
Land use	4,95E-11	0	4,38E-13	3,85E-11	1,06E-11
Minerals	1,69E-10	0	1,74E-12	1,62E-10	5,05E-12
Fossil fuels	1,92E-8	1,08E-9	1,81E-11	3,28E-9	1,48E-8

Berdasarkan hasil perhitungan kategori dampak pada Tabel 3 dan Tabel 4 didapatkan informasi yaitu total setiap dampak mengalami penurunan nilai *impact assessment* setelah dilakukan pencampuran air lumpur buangan

pada proses produksi air bersih. Hal ini menunjukkan bahwa dalam menghasilkan 1 kg air bersih dengan pengolahan kembali lumpur buangan dapat mengurangi dampak *fossil fuels, carcinogens, respiratory organics, respiratory inorganics, climate change, radiation, ozone layer, excotoxicity, acidification/eutropication, land use, dan minerals*. Secara total dampak lingkungan terbesar dari pengolahan air bersih sebelum dan setelah penambahan air lumpur buangan adalah dampak *fossil fuel*. Dampak *fossil fuel* sebelum penambahan air lumpur buangan sebesar 2,02E-8, sedangkan setelah penambahan air lumpur buangan adalah 1,92E-8. Dampak *fossil fuel* adalah pengaruh dari berkurangnya sumber daya alam khususnya bahan bakar fosil. Hal ini dikarenakan penggunaan energi listrik. Dalam penelitian ini energi listrik menjadi penyumbang terbesar dampak *fossil fuel*, nilai *impact assessment* energi listrik sebelum penambahan air lumpur buangan sebesar 1,51E-8, setelah penambahan air lumpur buangan sebesar 1,48E-8. Penggunaan listrik tidak dapat dipisahkan dari proses pengolahan air bersih [22][23][24][25][26]. Dampak lingkungan terbesar kedua dan ketiga adalah *respiratory inorganics* dan *climate change*. Dampak *respiratory inorganics* disebabkan oleh penggunaan aluminium sulphate. Aluminium sulphate merupakan koagulan yang digunakan untuk pengolahan air dan efektif untuk menghilangkan kontaminan, kekeruhan dan warna. Zat kimia ini dapat berdampak negatif untuk kesehatan [27][28]. Dampak *climate change* disebabkan penggunaan energi listrik. Penggunaan energi listrik berarti terjadi pembakaran bahan bakar fosil yang dapat menyebabkan timbulnya efek gas rumah kaca, dan ini merupakan penyumbang terjadinya perubahan iklim global [29][30]. Setiap jenis bahan kimia dan energi listrik pada pengolahan air bersih berpotensi berdampak pada lingkungan. Pada proses pengolahan air bersih tanpa dan dengan penambahan air lumpur buangan, penggunaan ammonium chloride menjadi penyumbang terbesar pada dampak *carcinogens, radiation, excotoxicity, land use, minerals, dan respiratory organics*. Aluminium sulphate menjadi penyumbang terbesar terhadap dampak *respiratory inorganics, ozone*

layer, dan *acidification*. Natural gas menjadi penyumbang terbesar pada dampak *fossil fuels* dan *climate change*.

Kelebihan pengolahan kembali air lumpur buangan selain mengurangi dampak lingkungan adalah mengurangi biaya karena mengurangi penyediaan lahan sebagai tempat pembuangan, output air bersih lebih banyak dengan jumlah penggunaan bahan kimia tetap, dan kandungan tanah liat pada lumpur buangan juga berpengaruh pada perbaikan penghilangan warna [31][32]. Air lumpur dapat berfungsi sebagai koagulan atau flokulan [33][34]. Air lumpur mempunyai *specific gravity* (berat jenis) relatif besar, dan bertugas sebagai *weighing agent*. *Weighing agent* bertugas menambah partikel – partikel untuk tumbukan pada pembentukan flok (membantu proses flokulasi) sehingga flok mengendap dengan cepat. Kandungan tanah liat pada lumpur buangan juga mampu memperbesar jangkauan pH yang diinginkan untuk koagulasi. Kekurangan dari pengolahan kembali air lumpur buangan adalah proses ini hanya menggunakan durasi yang pendek dan tidak dapat dilakukan setiap saat karena bergantung pada musim dan ketersediaan air lumpur buangan. Usulan untuk penelitian berikutnya adalah menghitung *life cycle cost* sebelum dan setelah proses perbaikan dilakukan.

4. Kesimpulan dan Saran

Keseluruhan dampak mengalami penurunan nilai setelah dilakukan pencampuran air lumpur buangan pada proses produksi air bersih. Hal ini menunjukkan bahwa dalam menghasilkan 1 kg air bersih dengan pengolahan kembali air lumpur buangan dapat mengurangi dampak *fossil fuels*, *carcinogens*, *respiratory organics*, *respiratory inorganics*, *climate change*, *radiation*, *ozone layer*, *excotoxicity*, *acidification/eutropication*, *land use*, dan *minerals*. Secara total dampak lingkungan terbesar dari pengolahan air bersih sebelum dan setelah penambahan air lumpur buangan adalah dampak *fossil fuel*. Hal ini dikarenakan penggunaan pompa dan *blower* yang membutuhkan energi listrik.

5. Daftar Pustaka

- [1] G. E. Clayton, R. M. S. Thorn, and D. M. Reynolds, "Comparison of trihalomethane formation using chlorine-based disinfectants within a model system; Applications within point-of-use drinking water treatment," *Front. Environ. Sci.*, vol. 7, no. MAR, pp. 1–13, 2019, doi: 10.3389/fenvs.2019.00035.
- [2] D. Ghernaout, "Disinfection By-Products: Presence and Elimination in Drinking Water," *OALib*, vol. 07, no. 02, pp. 1–27, 2020, doi: 10.4236/oalib.1106140.
- [3] M. C. Collivignarelli, A. Abbà, I. Benigna, S. Sorlini, and V. Torretta, "Overview of the main disinfection processes for wastewater and drinking water treatment plants," *Sustain.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–21, 2018, doi: 10.3390/su10010086.
- [4] Y. Zhang, M. Sivakumar, S. Yang, K. Enever, and M. Ramezani-pour, "Application of solar energy in water treatment processes: A review," *Desalination*, vol. 428, no. November 2017, pp. 116–145, 2018, doi: 10.1016/j.desal.2017.11.020.
- [5] M. Molinos-Senante and R. Sala-Garrido, "Energy intensity of treating drinking water: Understanding the influence of factors," *Appl. Energy*, vol. 202, pp. 275–281, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.05.100.
- [6] I. Kristiana, D. Liew, R. K. Henderson, C. A. Joll, and K. L. Linge, "Formation and control of nitrogenous DBPs from Western Australian source waters: Investigating the impacts of high nitrogen and bromide concentrations," *J. Environ. Sci. (China)*, vol. 58, pp. 102–115, 2017, doi: 10.1016/j.jes.2017.06.028.
- [7] A. Facchini, C. Kennedy, I. Stewart, and R. Mele, "The energy metabolism of megacities," *Appl. Energy*, vol. 186, no. 2017, pp. 86–95, 2017, doi:

- 10.1016/j.apenergy.2016.09.025.
- [8] T. Ahmad, K. Ahmad, and M. Alam, “Characterization of Water Treatment Plant’s Sludge and its Safe Disposal Options,” *Procedia Environ. Sci.*, vol. 35, pp. 950–955, 2016, doi: 10.1016/j.proenv.2016.07.088.
- [9] K. Kołecka, M. Gajewska, H. Obarska-Pempkowiak, and D. Rohde, “Integrated dewatering and stabilization system as an environmentally friendly technology in sewage sludge management in Poland,” *Ecol. Eng.*, vol. 98, pp. 346–353, 2017, doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.08.011.
- [10] C. Cherchi, M. Badruzzaman, J. Oppenheimer, C. M. Bros, and J. G. Jacangelo, “Energy and water quality management systems for water utility’s operations: A review,” *J. Environ. Manage.*, vol. 153, pp. 108–120, 2015, doi: 10.1016/j.jenvman.2015.01.051.
- [11] D. Y. Irawati and D. Andrian, “Analisa Dampak Lingkungan Pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA),” *J. Tek. Ind.*, vol. 19, no. 2, pp. 166–177, 2018, doi: 10.22219/jtiumm.vol19.no2.166-177.
- [12] M. M. Maroneze, L. Q. Zepka, J. G. Vieira, M. I. Queiroz, and E. Jacob-Lopes, “A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais,” *Rev. Ambient. e Agua*, vol. 9, no. 3, pp. 445–458, 2014, doi: 10.4136/1980-993X.
- [13] G. Bârjoveanu, C. Teodosiu, A. F. Gîlcă, I. Roman, and S. Fiore, “Environmental performance evaluation of a drinking water treatment plant: A life cycle assessment perspective,” *Environ. Eng. Manag. J.*, vol. 18, no. 2, pp. 513–522, 2019, doi: 10.30638/eemj.2019.048.
- [14] M. Garfí, E. Cadena, D. Sanchez-Ramos, and I. Ferrer, “Life cycle assessment of drinking water: Comparing conventional water treatment, reverse osmosis and mineral water in glass and plastic bottles,” *J. Clean. Prod.*, vol. 137, pp. 997–1003, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.07.218.
- [15] M. Garfí, L. Flores, and I. Ferrer, “Life Cycle Assessment of wastewater treatment systems for small communities: Activated sludge, constructed wetlands and high rate algal ponds,” *J. Clean. Prod.*, vol. 161, pp. 211–219, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.05.116.
- [16] Y. Klochkov, E. Klochkova, A. Volgina, and S. Dementiev, “Human factor in quality function deployment,” *Proc. - 2nd Int. Symp. Stoch. Model. Reliab. Eng. Life Sci. Oper. Manag. SMRLO 2016*, pp. 466–468, 2016, doi: 10.1109/SMRLO.2016.81.
- [17] L. D. Robescu, C. Silivestru, A. Presura, A. Pana, and R. Mihai, “Application of Continuous Improvement Strategy for reducing environmental impact of a wastewater treatment plant Application of Continuous Improvement Strategy environmental impact of a wastewater treatment plant for reducing improving wastewater treatment,” no. January 2016, pp. 29–40, 2019.
- [18] Y. Ramírez, L. A. Cisternas, and A. Kraslawski, “Application of House of Quality in assessment of seawater pretreatment technologies,” *J. Clean. Prod.*, vol. 148, pp. 223–232, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.01.163.
- [19] D. Adrian and D. Y. Irawati, “Rencana perbaikan proses produksi air bersih dengan pendekatan life cycle assesment (lca) dan quality function deployment (qfd) di instalasi pengolahan air minum babat,” *Semin. Nas. VII Manaj. Rekayasa Kualitas*, pp. 1–6, 2018.
- [20] ISO, “ISO 14040: Environmental Management--Life Cycle Assessment--Principles and Famework,” Geneva, 2006.
- [21] ISO, “ISO 14044: Environmental Management--Life Cycle Assessment--

- Requirement and Guidelines,” 2006. doi: 10.3126/kuset.v13i2.21281.
- [22] M. Tabesh, M. Feizee Masooleh, B. Roghani, and S. S. Motevallian, “Life-Cycle Assessment (LCA) of Wastewater Treatment Plants: A Case Study of Tehran, Iran,” *Int. J. Civ. Eng.*, vol. 17, no. 7, pp. 1155–1169, 2019, doi: 10.1007/s40999-018-0375-z.
- [23] S. J. Kenway and K. L. Lam, “Quantifying and managing urban water-related energy use systemically: case study lessons from Australia,” *Int. J. Water Resour. Dev.*, vol. 32, no. 3, pp. 379–397, 2016, doi: 10.1080/07900627.2015.1132195.
- [24] D. Panepinto, S. Fiore, M. Zappone, G. Genon, and L. Meucci, “Evaluation of the energy efficiency of a large wastewater treatment plant in Italy,” *Appl. Energy*, vol. 161, pp. 404–411, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.10.027.
- [25] X. Li, J. Liu, C. Zheng, G. Han, and H. Hoff, “Energy for water utilization in China and policy implications for integrated planning,” *Int. J. Water Resour. Dev.*, vol. 32, no. 3, pp. 477–494, 2016, doi: 10.1080/07900627.2015.1133403.
- [26] M. Wakeel, B. Chen, T. Hayat, A. Alsaedi, and B. Ahmad, “Energy consumption for water use cycles in different countries: A review,” *Appl. Energy*, vol. 178, no. 19, pp. 868–885, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.06.114.
- [27] G. McNamara *et al.*, “Life cycle assessment of wastewater treatment plants in Ireland,” *J. Sustain. Dev. Energy, Water Environ. Syst.*, vol. 4, no. 3, pp. 216–233, 2016, doi: 10.13044/j.sdewes.2016.04.0018.
- [28] K. A. Adeniran and I. D. Dunmoye, “Relative Coagulation Potentials of Aluminum Sulphate and Mangifera indica Seeds in Purifying Domestic Waste Water,” *Kathmandu Univ. J. Sci. Eng. Technol.*, vol. 13, no. 2, pp. 26–38, 2018, doi: 10.3126/kuset.v13i2.21281.
- [29] V. M. Oliveira *et al.*, “Aluminium sulfate exposure: A set of effects on hydrolases from brain, muscle and digestive tract of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*),” *Comp. Biochem. Physiol. Part - C Toxicol. Pharmacol.*, vol. 191, pp. 101–108, 2017, doi: 10.1016/j.cbpc.2016.10.002.
- [30] J. Chang, W. Lee, and S. Yoon, “Energy consumptions and associated greenhouse gas emissions in operation phases of urban water reuse systems in Korea,” *J. Clean. Prod.*, vol. 141, no. 2017, pp. 728–736, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.09.131.
- [31] K. Smith, S. Liu, and T. Chang, “Contribution of Urban Water Supply to Greenhouse Gas Emissions in China,” *J. Ind. Ecol.*, vol. 20, no. 4, pp. 792–802, 2016, doi: 10.1111/jiec.12290.
- [32] E. Fosso-Kankeu, A. Webster, I. O. Ntwampe, and F. B. Waanders, “Coagulation/Flocculation Potential of Polyaluminium Chloride and Bentonite Clay Tested in the Removal of Methyl Red and Crystal Violet,” *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 42, no. 4, pp. 1389–1397, 2017, doi: 10.1007/s13369-016-2244-x.
- [33] S. Pandey, “A comprehensive review on recent developments in bentonite-based materials used as adsorbents for wastewater treatment,” *J. Mol. Liq.*, vol. 241, pp. 1091–1113, 2017, doi: 10.1016/j.molliq.2017.06.115.
- [34] S. Ranga, “Bentonite used as natural coagulant and adsorbent: A review Sweetly Ranga,” ~ 155 ~ *Pharma Innov. J.*, vol. 7, no. 7, pp. 155–157, 2018, [Online]. Available: www.thepharmajournal.com

