

## Research Article

# Evaluasi penggunaan biofilter anaerob-aerob untuk meningkatkan kualitas air limbah rumah sakit

*Evaluating the use of anaerob-aerob biofilter to increase the quality of hospital wastewater*

Nurfitria Hariyani<sup>1</sup> & Sarto Sarto<sup>2</sup>

### Abstract

#### Dikirim:

26 April 2018

#### Diterbitkan:

24 Mei 2018

**Purpose:** This study aimed to evaluate the anaerobe-aerobic biofilter systems effectiveness to treating parameters that are affected by the existing units. **Methods:** This study was conducted with quasi experimental pretest-posttest approach. Sampling was done in peak hour, intermediate, and minimum wastewater discharge. The data analysis used a comparison of quality standards and used the effectiveness level of wastewater treatment through the established formula. **Results:** The results showed that anaerobic-aerobic biofilter was highly effective in treating total coliform at peak discharge (99.9%), intermediate discharge (83.8%), minimum discharge (99.9%) and effective in processing COD parameters 70.1% at intermediate, and 74.6% minimum discharge. The results also showed anaerobic-aerobic biofilter was quite effective in treating BOD (54.59%) and TSS (50%) and less effective phosphate (40.7%). Data analysis showed that the results of wastewater treatment of provincial hospital in West Nusa Tenggara have met the established quality standards. **Conclusion:** An anaerobic-aerobic biofilter is effective to increase hospital wastewater to reduce environmental pollution. The impact of this processing will reduce environmental pollution.

**Keywords:** wastewater; anaerob-aerob biofilter; hospital; chemical oxygen demand (COD); total coliform

<sup>1</sup> Departemen Perilaku Kesehatan, Lingkungan, dan Kedokteran Sosial, Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat, dan Keperawatan, Universitas Gadjah Mada (Email: nurfitria.hariyani@yahoo.com)

<sup>2</sup> Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

## PENDAHULUAN

Limbah cair rumah sakit merupakan salah satu sumber pencemaran lingkungan jika konsentrasinya melebihi baku mutu yang ditetapkan. Air tercemar dinilai dari BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TSS (*Total Suspended Solid*) dan fosfat karena menurunkan oksigen terlarut dan mematikan biota air. Konsentrasi parameter pencemar seperti COD, dan total *coliform* yang tinggi menambah jumlah mikroorganisme dalam air semakin banyak sehingga potensi penyebaran penyakit makin tinggi. Mikro organisme seperti *coliform* menyebabkan penyakit saluran pencernaan karena kontaminasi air limbah (1–3)

Mengatasi permasalahan air limbah dapat dilakukan melalui management pengolahan air limbah untuk meningkatkan kualitas air limbah. Berbagai penelitian pengolahan air limbah menunjukkan bahwa beberapa sistem pengolahan air limbah dapat meningkatkan kualitas air limbah (4–14).

Pengolahan air limbah rumah sakit dapat menggunakan sistem biofilter anaerob-aerob untuk meningkatkan kualitas limbah cair. Pengolahan air limbah menggunakan sistem biofilter anaerob aerob dapat digunakan dengan mudah dengan biaya operasional yang cukup terjangkau. Kombinasi anaerob-aerob efektif menurunkan senyawa fosfat, TSS, BOD dan COD dibandingkan dengan proses anaerob atau aerob saja. Penelitian tentang biofilter anaerob aerob menyebutkan biofilter anaerob aerob cukup efektif dalam menurunkan kadar organik dalam air limbah seperti BOD, COD, TSS, fosfat, amonia, TDS, dan total *coliform* (15–20).

Mengacu pada riset yang masih sedikit dalam sistem biofilter anaerob, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan sistem biofilter anaerob-aerob dalam mengolah parameter air limbah untuk rumah sakit.

## METODE

Studi ini menggunakan quasi eksperimental dengan pendekatan pre-test dan post-test untuk mencari

pengaruh IPAL pada penurunan parameter BOD, COD, TSS, fosfat, dan total *coliform*. Sampel pada penelitian ini berjumlah 60 sampel diambil di rumah sakit Provinsi Nusa Tenggara Barat. Kriteria pengolahan air limbah yang digunakan adalah bak pengumpul yang berfungsi sebagai bak pengendap awal, bak pengolahan anaerob, bak biofilter menggunakan bakteri aerob, dan bak klorin. Pengulangan pengambilan sampel dilakukan 2 kali pengulangan untuk parameter BOD, TSS, fosfat, dan total *coliform* di setiap subunit sistem biofilter anaerob-aerob. Pengambilan sampel untuk parameter COD dilakukan 8 kali pengulangan di bak pengumpul dan bak klorin. Pengujian efektivitas sistem biofilter anaerob aerob dilakukan pada saat debit puncak, menengah, dan minimum debit air limbah. Analisis data membandingkan baku mutu dan menggunakan tingkat efektivitas IPAL melalui rumus yang telah ditetapkan.

## HASIL

Tabel 1 menunjukkan hasil laboratorium pengujian parameter air limbah di masing-masing unit IPAL.

Tabel 2 menunjukkan efek pengolahan air limbah menggunakan biofilter anaerob-aerob serta efektivitas setiap unit IPAL. Hasil penelitian bak anaerob cukup

Tabel 1. Rata-rata hasil pemeriksaan laboratorium berdasarkan inlet, anaerob, biofilter, dan outlet

Jam	Lokasi			
	Inlet	An-aerob	Bio-filter	Out-let
<b>Puncak</b>				
BOD	40,30	23,60	13,1	13,3
COD	102,95*	62,29	34,4	41,24
TK	2,000,000*	-	-	500
TSS	4,7	2,3	1,95	2,35
Fosfat	1,69	-	-	1,00
<b>Menengah</b>				
COD	65,77	34,44	14,47	19,64
TK	1,235,000*	655,100*	6150	200
<b>Minimum</b>				
COD	57,84	27,85	11,1	14,73
TK	2,400,000*	1,007,500*	845	200

Tabel 2. Efektivitas penggunaan biofilter anaerob aerob

Jam sampling	Bak Anaerob			Bak Biofilter		Biofilter Anaerob-Aerob	
	Parameter	Efektivitas (%)	Keterangan	Efektivitas (%)	Keterangan	Efektivitas (%)	Keterangan
Puncak	BOD	41,43	Cukup	44,49	Cukup	54,59	Cukup
	COD	40	Cukup	45,12	Cukup	59,9	Cukup
	TSS	51,06	Cukup	15,21	Tidak	50	Cukup
	TK					99,9	Sangat
	FOSFAT					40,7	Kurang
Menengah	COD	47,63	Cukup	57,20	Cukup	70,13	Efektif
	TK	46,95	Cukup	99,06	Sangat	83,80	Sangat
Minimum	COD	51,85	Cukup	60,14	Efektif	74,60	Efektif
	TK	58,02	Cukup	99,24	Sangat	99,9	Sangat

Tabel 3. Persentase perbedaan penurunan COD di IPAL

Bagian IPAL	Persentase penurunan COD (%)		
	Jam puncak	Jam menengah	Jam minimum
IPAL	59,9	70,13	74,84
Bak anaerob ekualisasi	40	47,63	51,85
Bak biofilter	45,12	57,20	60,14

efektif dalam mengolah COD (40%) di jam puncak. Hasil penelitian pada biofilter menunjukkan bak biofilter efektif dalam mengolah COD (60,14%). Hasil menunjukkan biofilter anaerob-aerob sangat efektif dalam mengolah parameter total coliform pada debit puncak (99,9%), menengah (83,80%), dan minimum (99,9%) air limbah.

Tabel 3 menunjukkan perbedaan penurunan COD di masing-masing unit IPAL. Persentase penurunan terbesar parameter COD terjadi pada debit minimum baik pada IPAL secara keseluruhan (74,84%), di bak anaerob (51,85%) dan di bak biofilter (60,14%). Persentase penurunan parameter terbesar terjadi di bak biofilter.

## BAHASAN

**Evaluasi bak anaerob.** Bak anaerob merupakan unit pengolahan air limbah secara biologi dengan menggunakan bantuan bakteri anaerobik. Hasil penelitian menunjukkan kualitas air limbah yang meliputi parameter BOD, COD, TSS, fosfat telah memenuhi baku mutu. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa bak anaerob cukup efektif dalam mengolah BOD, COD, TSS, total koliform pada debit minimum dan menengah air limbah.

Penurunan parameter air limbah terjadi karena bakteri anaerob berperan menguraikan bahan organik di dalam air limbah. Bakteri anaerob tumbuh pada suhu yaitu 27°C-37°C dan pH 6,6-7,6. Hal ini didukung oleh penelitian Lemji & Eckstädt (2013) menunjukkan pH air limbah (6-8) dapat meningkatkan efisiensi penurunan COD sebesar 86,67±95% dan berefek kecil terhadap kinerja IPAL untuk rentang suhu yang diberikan, yang sesuai dengan data sekunder rumah sakit Provinsi NTB: pH dan suhu air limbah pada bak anaerob berada pada pH dan suhu optimal bagi pertumbuhan bakteri anaerob yaitu pH (7,5) dan suhu (29,9°C) (8,18).

Efektivitas bak anaerob tidak mencapai 60-90%, yang terjadi karena ketidaksesuaian waktu tinggal air limbah di dalam bak anaerob dengan kriteria desain. Data yang diperoleh menunjukkan waktu tinggal di bak anaerob hanya mencapai 1,42 menit, sedangkan waktu tinggal di bak anaerob seharusnya mencapai 2-3 jam.

**Evaluasi bak biofilter.** Hasil pengujian rata-rata kadar BOD, COD, TSS di bak biofilter telah memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Hasil penelitian juga menunjukkan bak biofilter cukup efektif dalam mengolah BOD, COD, dan total coliform. Penurunan zat organik di bak biofilter terjadi karena bantuan bakteri aerob dalam mengurai

zat organik di dalam air limbah. Bakteri aerob tumbuh memerlukan oksigen, sehingga kebutuhan oksigen di dalam bak biofilter harus terpenuhi agar pengolahan air limbah dapat berjalan optimal (21).

Persentase terbesar penurunan bahan organik dalam air limbah terjadi pada bak biofilter. Penurunan pada bak anaerob 70% lebih besar dibandingkan pada bak anaerob, yang terjadi karena pengaruh aerator yang menghasilkan gelembung udara sehingga terjadi flotasi zat organik yang tersuspensi lebih cepat daripada proses anaerob (21-23).

**Evaluasi IPAL.** Biofilter anaerob-aerob merupakan salah satu pengolahan air limbah dengan bantuan mikroorganisme dalam pengolahannya. Proses ini merupakan proses pengolahan air limbah secara biologi dengan menggabungkan proses anaerob dan aerob. Penelitian menyimpulkan bahwa pengolahan air limbah dengan biofilter anaerob-aerob efektif dalam mengelola kadar COD dan sangat efektif dalam mengolah total coliform. Efektivitas ini terjadi karena ada mikroorganisme di dalam IPAL yang membantu mendegradasi bahan organik dalam air limbah. Penelitian menunjukkan di dalam reaktor biofilter terdapat bakteri *Flavobacterium*, *Pseudomonas* dan *Bosea* (24).

Selain itu efektivitas total coliform disebabkan penambahan klorin pada bak klorin yang membantu dalam membunuh mikroorganisme patogen. Dosis kaporit 1 gr/L dapat menurunkan kadar total coliform dalam air limbah (12,25).

Efektivitas pengolahan IPAL dipengaruhi juga oleh manajemen. Manajemen pengelolaan IPAL meliputi struktur organisasi, SDM, sumber dana, proses operasional, SOP, pengawasan dan prasarana. Pengawasan terhadap sistem perlu dilakukan agar tidak menimbulkan efek negatif bagi lingkungan. Pengawasan dapat digunakan sebagai umpan balik untuk memperbaiki perencanaan IPAL (26,27).

Sumber daya manusia berperan dalam pengelolaan air limbah. Pengetahuan yang tinggi dari SDM dapat menentukan sistem pengolahan air limbah yang tepat mulai dari pengolahan awal hingga air limbah masuk ke sistem pengolahan air limbah. Tabas *et al.* menunjukkan pengetahuan yang diperoleh dari pendidikan berperan dalam pelaksanaan manajemen IPAL rumah sakit (28).

Selain itu, dana yang cukup membantu perencanaan, pengembangan, perbaikan dan pemeliharaan IPAL dan berpengaruh bagi pengembangan pengetahuan pengelola IPAL (6,29)

Studi ini menunjukkan bahwa efektivitas biofilter tidak mencapai 80%. Hal ini karena waktu tinggal di dalam IPAL rumah sakit provinsi NTB hanya 7 jam. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa efektivitas pengolahan COD pada jam minimum (74,60%) lebih besar dibandingkan pada menengah (70,13%) dan jam puncak (59,9%). Penelitian menyebutkan efisiensi penurunan bahan organik tertinggi terjadi pada saat debit air limbah

berada pada debit minimum, hal ini dikarenakan waktu kontak air limbah dengan mikro-organisme terjadi cukup lama (13,14).

Pengolahan air limbah dengan biofilter anaerob-aerob efektif dalam meningkatkan kualitas air limbah rumah sakit. Biaya yang terjangkau dengan penggunaan yang mudah dan lumpur dapat diminimalkan menjadikan biofilter anaerob aerob dapat diaplikasikan sebagai sistem pengolahan air limbah rumah sakit (15).

Penelitian juga menyebutkan manajemen pengolahan air limbah yang efektif dan efisien dapat dilakukan dengan mengidentifikasi kualitas air limbah yang dihasilkan, debit air limbah, kapasitas sistem yang dibutuhkan. Selain itu efektif dan efisien sistem dapat dilakukan melalui pengolahan awal air limbah, manajemen administrasi, perawatan sistem, sistem kontrol, mengontrol berbagai faktor yang berhubungan dengan efektifitas sistem, dan meningkatkan pengetahuan dan keputusan operator sistem melalui berbagai program yang dikembangkan seperti *an operator decision support system (ODSS)* yang memberikan informasi terkait kualitas, kuantitas, baku mutu air limbah, skenario masa depan (30,31). Peningkatan efektifitas menyebabkan kualitas air limbah memenuhi baku mutu sehingga jika dibuang ke badan air tidak mengganggu ekosistem air dan tidak mencemar lingkungan (26). Hasil akhir dari proses pengolahan air limbah ini dapat digunakan kembali untuk mengurangi biaya operasional rumah sakit (30).

## SIMPULAN

Biofilter anaerob-aerob efektif menurunkan kandungan organik dalam air limbah. Air limbah yang diolah dengan sistem biofilter anaerob-aerob menghasilkan BOD, TSS, dan Fosfat di jam puncak berturut-turut sebesar 55%, 50%, 41%. Adapun efektivitas penurunan coliform total dan COD di masing-masing jam pengambilan sampel secara berurutan sebesar 99,9% (jam puncak), 84% (jam menengah), 99,9% (jam minimum) dan 59,9% (jam puncak), 70% (jam menengah), 74,60% (jam minimum). Biofilter anaerob aerob dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas air limbah rumah sakit untuk mengurangi pencemaran lingkungan.

Sebagai saran, perlu dilakukan pencatatan debit air limbah secara rutin di inlet meliputi pencatatan debit harian minimum, debit bulanan minimum, debit jam puncak, dan debit bulanan maksimum untuk menentukan jadwal perbaikan instalasi yang memerlukan *shut down*, untuk perencanaan perbaikan IPAL, biaya perbaikan, menentukan ukuran-ukuran unit pengolahan baru dan perencanaan strategi dalam menghadapi debit air limbah yang tinggi. Monitoring rutin dengan pengukuran (pH, suhu, TSS, DO, dan debit air limbah dengan frekuensi harian) adalah perlu untuk menjaga agar sistem tetap berjalan optimal.

---

### Abstrak

**Tujuan:** Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan sistem biofilter anaerob-aerob terkait efektivitas dalam mengolah parameter yang dipengaruhi oleh unit yang ada. **Metode:** Penelitian ini merupakan penelitian *quasi experimental* dengan menggunakan pendekatan *pre-test* dan *post-test*. Pengambilan sampel dilakukan pada saat debit puncak, menengah, dan minimum air limbah. Analisis data menggunakan perbandingan baku mutu dan menggunakan tingkat efektivitas IPAL melalui rumus yang telah ditetapkan. **Hasil:** Hasil penelitian menunjukkan biofilter anaerob-aerob sangat efektif mengolah total koliform pada debit puncak (99,9%), debit menengah (83,80%), debit minimum (99,9%) dan efektif dalam mengolah parameter COD 70,13% pada debit menengah, dan 74,60% debit minimum. Hasil penelitian menunjukkan biofilter anaerob-aerob cukup efektif dalam mengolah BOD (54,59%) dan TSS (50%) dan kurang efektif mengolah fosfat (40,7%). Analisis data menunjukkan bahwa hasil pengolahan air limbah rumah sakit provinsi NTB telah memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. **Simpulan:** Biofilter anaerob-aerob efektif meningkatkan kualitas air limbah rumah sakit. Dampak dari proses pengolahan ini akan mengurangi pencemaran lingkungan.

**Kata kunci:** Instalasi Pengolahan Air Limbah; biofilter anaerob-aerob; rumah sakit; *chemical oxygen demand (COD)*, total coliform

---



## PUSTAKA

1. Dorevitch S. Public Health Approaches to Preventing Outbreaks of Gastrointestinal Infection Linked to Karst Systems. *Karst Groundwater Contamination and Public Health*. Springer, Cham; 2018. p. 177–183.
2. Rodríguez-Tapia L, Morales-Novelo JA. Bacterial Pollution in River Waters and Gastrointestinal Diseases. *International journal of environmental research and public health*. [Online] 2017;14(5). Available from: doi:10.3390/ijerph14050479
3. Delgado-Gardea MCE, Tamez-Guerra P, Gomez-Flores R, Zavala-Díaz de la Serna FJ, Eroza-de la Vega G, Nevárez-Moorillón GV, et al. Multidrug-Resistant Bacteria Isolated from Surface Water in Bassaseachic Falls National Park, Mexico. *International journal of environmental research and public health*. [Online] 2016;13(6). Available from: doi:10.3390/ijerph13060597
4. Karthikeyan S, Kumar MA, Maharaja P, Partheeban T, Sridevi J, Sekaran G. Process optimization for the treatment of pharmaceutical wastewater catalyzed by poly sulphate sponge. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2014;45(4): 1739–1747.
5. Al-Jassim N, Ansari MI, Harb M, Hong P-Y. Removal of bacterial contaminants and antibiotic resistance genes by conventional wastewater treatment processes in Saudi Arabia: Is the treated wastewater safe to reuse for agricultural irrigation? *Water research*. 2015;73: 277–290.
6. Verlicchi P, Al Aukidy M, Zambello E. What have we learned from worldwide experiences on the management and treatment of hospital effluent? — An overview and a discussion on perspectives. *The Science of the total environment*. 2015;514: 467–491.
7. Sudbrock F, Schomäcker K, Drzezga A. The effectiveness of wastewater treatment in nuclear medicine: Performance data and radioecological considerations. *Journal of environmental radioactivity*. 2017;166: 202–207.
8. Habte Lemji H, Lemji HH, Eckstädt H. A pilot scale trickling filter with pebble gravel as media and its performance to remove chemical oxygen demand from synthetic brewery wastewater. *Journal of Zhejiang University. Science. B*. 2013;14(10): 924–933.
9. Yamashita T, Yamamoto-Ikemoto R. Nitrogen and phosphorus removal from wastewater treatment plant effluent via bacterial sulfate reduction in an anoxic bioreactor packed with wood and iron. *International journal of environmental research and public health*. 2014;11(9): 9835–9853.
10. Rattier M, Reungoat J, Keller J, Gernjak W. Removal of micropollutants during tertiary wastewater treatment by biofiltration: Role of nitrifiers and removal mechanisms. *Water research*. 2014;54: 89–99.
11. Busyairi M, Dewi YP, Widodo DI. Efektivitas kaporit pada proses klorinasi terhadap penurunan bakteri coliform dari limbah cair rumah sakit X di Samarinda. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 2016;23(2): 156.
12. Nurjazuli, Mariyana, Joko T. Efektivitas Kaporit dalam Menurunkan Kadar Amoniak dan Bakteri Koliform dari Limbah Cair RSUD Tugurejo Semarang. *Kesehatan Masyarakat*. Januari 2015;3(1): 533–539.
13. Said NS, Ineza. Uji Performance Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit dengan Proses Biofilter Tercelup. *Jaina*. 2005;1(1): 1–11.
14. Said. Paket Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit. *Jaina*. 2006;2(1): 52–65.
15. Said NS, Widayat W. Teknologi pengolahan air limbah Rumah Sakit dengan proses Biofilter Anaerob-aerob. *Jaina*. 2005;1(1): 52–64.
16. Fitriana L, Weliyadi E. Uji Efektifitas Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Pertamedika Menggunakan Sistem Biofilter Aerob-Anaerob. *Harpodon Borneo*. 2016;9(2): 111–122.
17. Abou-Elela SI, Hamdy O, El Monayeri O. Modeling and simulation of hybrid anaerobic/aerobic wastewater treatment system. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2016;13(5): 1289–1298.
18. Hermanus MB, Polii B, Mandey LC. Pengaruh Perlakuan Aerob dan Anaerob Terhadap Variabel BOD, COD, pH, dan Bakteri Dominan Limbah Industri Desiccated Coconut PT. Global Coconut Radey, Minahasa Selatan. *Ilmu dan Teknologi Pangan*. 2015;3(2): 48–59.
19. Melgoza RM, Cruz A, Buitrón G. Anaerobic/aerobic treatment of colorants present in textile effluents. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*. 2004;50(2): 149–155.
20. Del Pozo R, Diez V. Integrated anaerobic-aerobic fixed-film reactor for slaughterhouse wastewater treatment. *Water research*. 2005;39(6): 1114–1122.
21. Asmadi. *Pengelolaan Limbah Medis Rumah Sakit*. Yogyakarta: Publishing; 2013.
22. Mir-Tutusa JA, Caminal G, Sarrà M. Influence of process variables in a continuous treatment of non-sterile hospital wastewater by *Trametes versicolor* and novel method for inoculum production. *Journal of environmental management*. 2018;212: 415–423.
23. Metcalf, eddy. *Wastewater engineering : treatment, disposal, and reuse*. New York: McGraw-Hill; 1991.
24. Yoon H, Song MJ, Yoon S. Design and Feasibility Analysis of a Self-Sustaining Biofiltration System for Removal of Low Concentration NO<sub>x</sub> Emitted from Wastewater Treatment Plants. *Environmental science & technology*. 2017;51(18): 10736–10745.
25. Omri I, Aouidi F, Bouallagui H, Godon J-J, Hamdi M. Performance study of biofilter developed to treat H<sub>2</sub>S from wastewater odour. *Saudi journal of biological sciences*. 2013;20(2): 169–176.

26. Siswati M, Syafrudin S, Sriyana S. Uji Kriteria Manajemen dalam Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat. *Media Komunikasi Teknik Sipil*. 2017;23(1): 77.
27. Carraro E, Bonetta S, Bertino C, Lorenzi E, Bonetta S, Gilli G. Hospital effluents management: Chemical, physical, microbiological risks and legislation in different countries. *Journal of environmental management*. 2016;168: 185–199.
28. Tabash MI, Hussein RA, Mahmoud AH, El-Borgy MD, Abu-Hamad BA. Impact of an intervention programme on knowledge, attitude and practice of healthcare staff regarding pharmaceutical waste management, Gaza, Palestine. *Public health*. 2016;138: 127–137.
29. Setiani O, Misgiono, Budiyono. Evaluasi Manajemen Limbah Padat Dan Cair Di Rsud Mimika Evaluation Of Solid And Waste Water Management At RSUD Mimika. *Kesehatan Lingkungan Indonesia*. 2014;13(1): 1–13.
30. Ruiz-Rosa I, García-Rodríguez FJ, Mendoza-Jiménez J. Development and application of a cost management model for wastewater treatment and reuse processes. *Journal of cleaner production*. 2016;113: 299–310.
31. Kim M, Kim Y, Kim H, Piao W, Kim C. Operator decision support system for integrated wastewater management including wastewater treatment plants and receiving water bodies. *Environmental science and pollution research international*. 2016;23(11): 10785–10798