

IDENTIFIKASI EFEKTIVITAS REAERASI MENGGUNAKAN *MICROBUBBLE GENERATOR* (MBG) PADA AIR EMBUNG

Tri Yulianti

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jalan Babarsari No. 44
Yogyakarta, Indonesia
E-mail: tri.yulianti@uajy.ac.id

Abstrak: Embung di Fakultas Teknik UGM dibangun untuk membendung limpasan air hujan sebagai pengendali banjir pada Sungai Code dan sekaligus memperbaiki kualitas airnya. Air yang masuk ke embung berkarakter air limbah domestik kategori greywater karena padatnya permukiman penduduk di sekitar kampus UGM. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas reaerasi dengan menggunakan *Microbubble Generator* (MBG) dalam meningkatkan DO sebagai salah satu upaya memperbaiki kualitas air. Aerator MBG di letakkan ditengah embung secara terapung dengan penggunaan pompa celup dan pemasangan MBG secara mendatar pada kedalaman 40 cm dari permukaan air. Aerator dinyalakan terus-menerus selama 24 jam. Peningkatan DO yang terukur berkorelasi dengan perubahan cuaca sekitar yang berimbas pada perubahan suhu air dan udara sekitar. Pada saat pengambilan data rentang suhu air berkisar antara 24,5°C – 27°C dan perubahan peningkatan DO yang terukur pada inlet dan outlet embung antara 0,3 – 1,1 mg/l. Peningkatan DO disekitar aerator dapat mencapai 2,4 mg/l dari inletnya. Dengan meningkatnya konsentrasi DO dalam air embung, konsentrasi pencemar beban organik dapat berkurang dan untuk proses nitritasi maupun nitrifikasi dapat berlangsung dengan cukup baik sehingga dapat mengurangi beban pencemar sebelum air masuk ke sungai Code.

Kata kunci: Reaerasi, *Microbubble Generator*, Air limbah domestik, Konsentrasi DO

Abstract: The retention basin at the Faculty of Engineering Gadjah Mada University was built as a flooding control into the Code river and improving the water quality. The water entering the basin, especially in the dry season, is characterized as greywater due to the dense settlements around the university. The purpose of this study was to determine the effectiveness of reaeration process using a Microbubble Generator (MBG) to increase DO, with the aim of this leading to an improved water quality. The MBG aerator with submersible pumps was installed at a depth of 40 cm from the water surface and placed in the middle of the pond. The aerator was permanently turned on. In situ monitoring of DO was carried out using a seri Lutron WA-2017SD DO meter. The increasing DO correlated with the changes of the surrounding weather which impact on water and air temperature. At the time of DO data collection, the water temperature ranged from 24.5°C - 27°C and the change in DO measured at the inlet and outlet of the reservoir was in the range 0.3 - 1.1 mg/l, with the DO directly surrounding the aerator reaching up to 2.4 mg/l from the inlet. With the DO increased, the concentration of pollutant organic loads can be reduced and the nitritation and nitrification processes has taken place properly so that it has reduced the pollutant load before the water enters the Code river.

Keywords: Reaeration, Microbubble Generator (MBG), Domestic Wastewater, DO Concentration

I. PENDAHULUAN

Embung Techno Park berada di kawasan fakultas Teknik UGM dibangun secara inline ke sungai Code sebagai fungsi kontrol banjir saat curah hujan tinggi dan air limpasannya dialirkan bertahap ke sungai Code. Seiring perkembangannya, embung ini beralih fungsi sebagai penampung air limbah domestik kategori *greywater* terutama saat musim kemarau sehingga keberadaan embung ini difungsikan sekaligus sebagai sistem perbaikan kualitas air. Sumber air sangat kecil pada saluran-saluran drainase yang menuju embung terutama saat kemarau dan hanya berupa air limbah domestik karena tingginya aktivitas masyarakat/ padatnya pemukiman di sekitar saluran drainase yang membuang air limbahnya langsung ke saluran drainase (Gambar 1a). Hal ini menyebabkan air yang masuk ke embung menjadi keruh dan berbau. Dari hasil laporan Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta tahun 2018 menyatakan bahwa status mutu air sungai Code adalah kelas II dengan parameter pembatas yaitu fosfat & BOD, dan melebihi baku mutu kelas II pada bagian hilir (berdasarkan PP no. 82 tahun 2001) pada perhitungan parameter-parameter kualitas air menggunakan metode Storet dengan 98% beban pencemaran berasal dari sektor domestik.

Pembuangan limbah organik memiliki efek merugikan yang besar pada menurunnya kadar oksigen terlarut (DO). DO merupakan salah satu indikator terpenting kesehatan dan daya pemulihan suatu badan perairan. Salah satu penyebab menurunnya konsentrasi DO dikarenakan kebutuhan konsumsi oksigen oleh mikroorganisme aerobik dalam mengurai beban organik dan ketika DO menurun tajam serta tidak adanya penambahan aerasi, maka akan menciptakan kondisi *anoxic* hingga *anaerobic* dan terbentuklah gas metan penyebab bau. Pada beberapa kondisi dengan beban pencemaran sangat berlebihan, proses penguraian limbah organik oleh bakteri aerobik dapat menurun drastis atau tidak berjalan lagi serta

memerlukan waktu yang lama dengan jangkauan aliran yang jauh untuk kembali terpurifikasi sehingga perlu adanya upaya dari luar (Huhnke, 2018).

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menambah ketersediaan DO dalam air adalah proses reaerasi sebagai usaha menambahkan DO dalam air agar proses oksidasi biologi oleh mikroorganisme dapat berjalan dengan baik. Berdasarkan metode dasar aerasinya, aerator dibedakan kedalam *diffused-air system* dan *mechanical aerator*. Efisiensi dari setiap aerator ini berbeda-beda tergantung pada desain peralatan yang digunakan seperti: (impeller, rotor, atau baling-baling), geometri sistem, efek dinding yang berdekatan, daya input ke volume sistem, dan berbagai faktor lainnya. Efisiensi aerator *diffuser* berkisar antara 0,6 – 2,5 kgO₂/kWh (jenis *fine bubble* berkisar 1,2 – 2 kgO₂/kWh) (Water environment Federation/WEF, 2017). Sedangkan efisiensi mechanical aerator berkisar antara 0,5 – 1,5 kgO₂/kWh dengan kebutuhan daya listrik besar 0,75 – 100 kW (system vertikal) dan/atau 0,1 – 0,75 kW (system horisontal) (Metcalf & Eddy, 2003).

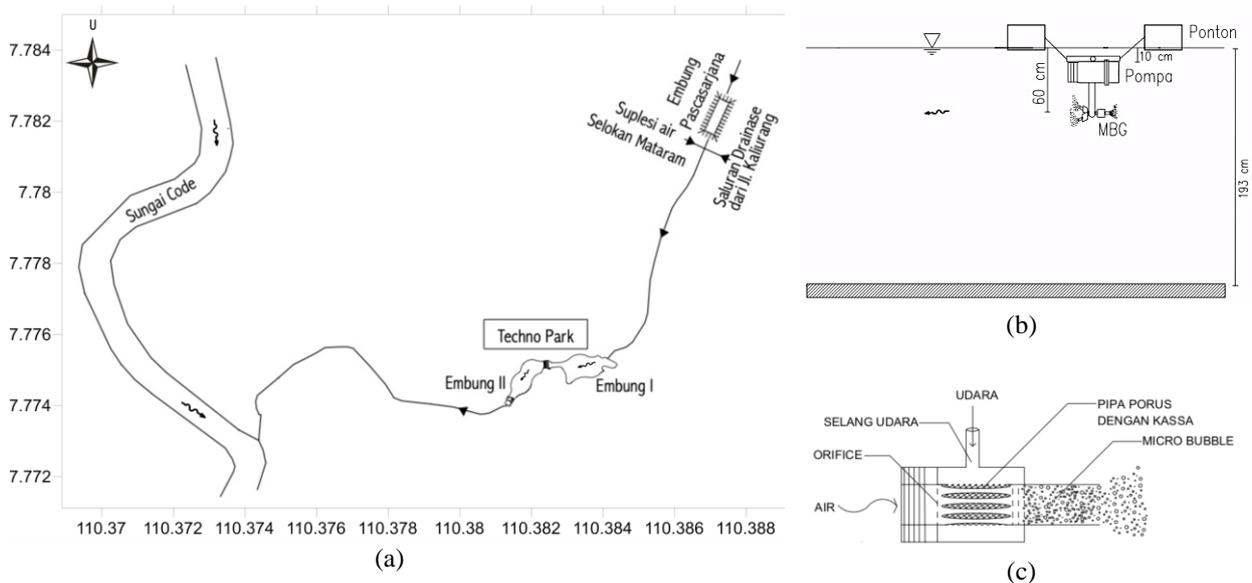
Oleh sebab itu, proses reaerasi dalam penelitian ini digunakan aerator *diffuser* jenis *fine bubble* berupa *Microbubble Generator* (MBG). Aerator MBG ini memiliki kelebihan dibanding jenis aerator lain dari segi ukuran gelembung yang dihasilkan yaitu berukuran mikro. Gelembung ukuran mikro akan membuat oksigen/udara bertahan lebih lama waktu tinggalnya dalam air karena kecilnya gesekan permukaan yang mendorong gelembung ke atas sehingga memungkinkan gelembung akan pecah terlebih dahulu sebelum sampai permukaan air (Tamura, dkk., 2014; Parmar & Majumder, 2013). Dengan kata lain, waktu tinggal lebih lama/banyaknya DO dalam air berarti dapat menyediakan kebutuhan oksigen yang cukup oleh mikroorganisme dalam mengurai beban organik sehingga diharapkan dapat mengurangi kandungan beban organik dan terjadi perbaikan

kualitas air sebelum masuk ke badan perairan sungai Code. Hal ini menjadikan pengukuran konsentrasi DO menjadi parameter penting dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui efektivitas MBG dalam melakukan perbaikan kualitas air terhadap beban polutan yang masuk ke embung.

II. METODE PENELITIAN

Aerator dalam penelitian ini adalah MBG tipe

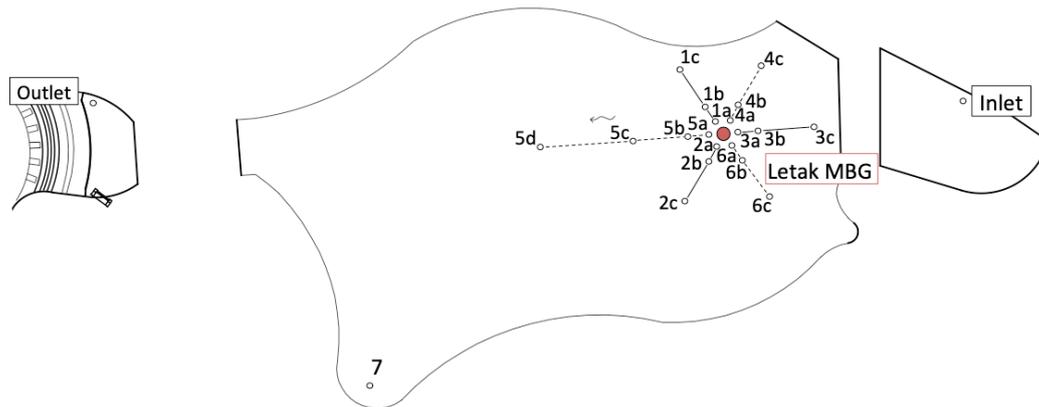
orifice dengan gelembung yang dihasilkan berukuran antara 0–200 μm (Gambar 1c). Model MBG ini merupakan pengembangan model MBG dari Deendarlianto, dkk., 2015 dengan 3 dispersi nozzle secara horisontal dengan jarak antar nozzle-nya 60° dan diletakkan pada kedalaman 40 cm dari permukaan air embung. MBG diletakkan ditengah ponton pertama dari posisi inlet (Gambar 1b) dengan koordinat 7°45'59.56"S 110°22'28.13"E.



Gambar 1. (a) In line sumber air yang masuk Embung *Techno Park* Fakultas Teknik UGM dan mengalir ke sungai Code; (b) Pemasangan MBG pada Embung I; dan (c) Bentuk MBG yang dipasang

Pengambilan data dilakukan selama 7 hari mulai tanggal 29 Agustus 2019. Pengukuran in situ berupa parameter debit dan DO. Debit diukur menggunakan current meter OTT C2 dan dihitung berdasarkan Metode Area Rata-Rata (SNI 8066: 2015). Pengambilan data DO menggunakan DO meter seri Lutron WA-2017SD. Data DO yang diambil adalah yang bernilai konstan secara *logger* selama 5 menit pada setiap titik sampel. Pengukuran DO

dilakukan sehari sekali pada jam yang sama disiang hari untuk mengetahui efektivitas treatment aerator MBG. Penentuan titik sampling pengukuran DO dilakukan pada jarak 0,5 m; 2 m dan 5 m dari letak nozzle serta di inlet dan outlet embung (gambar 2). Data DO pada air embung akan dianalisis dengan software Surfer untuk memetakan profil penyebaran konsentrasi DO dalam air selama proses reaerasi.



Gambar 2. Peletakkan MBG di embung I & titik sampel pengukuran DO pada jarak $a = 0,5$ m ; $b = 2$ m ; $c = 5$ m ; dan $d = 10$ m dari sekeliling MBG

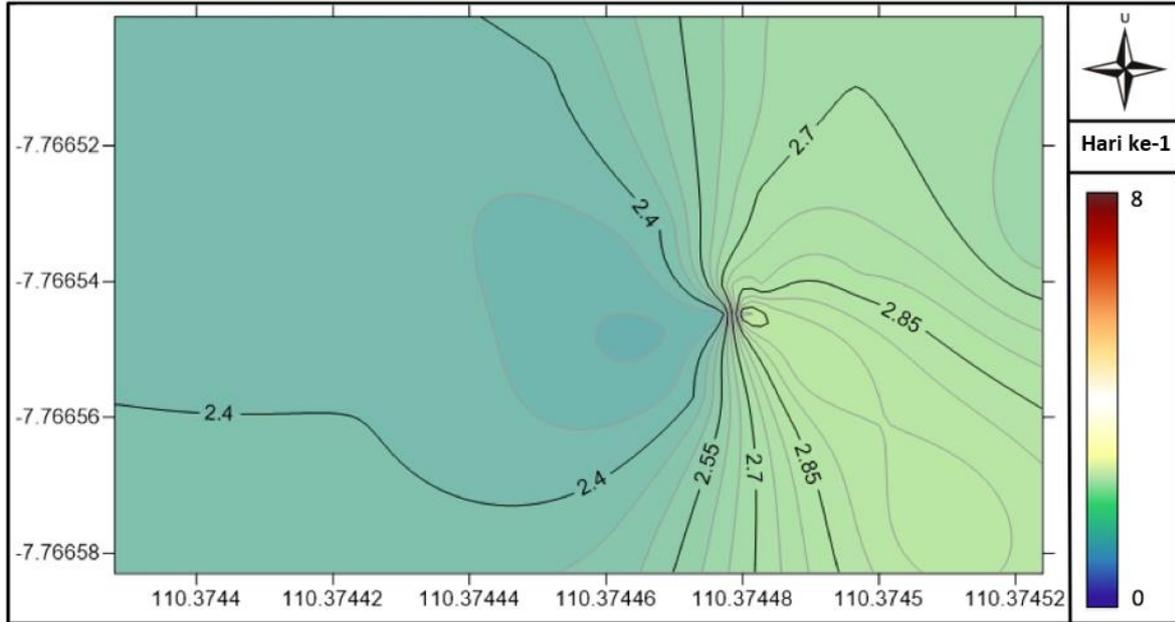
Pengambilan data COD, Nitrit dan Nitrat untuk menentukan seberapa efektif reaerasi dalam mendegradasi beban organik maupun mengkonversi amonia dalam air menjadi senyawa yang lebih stabil dalam proses nitrifikasi maupun nitrifikasi. Sampel air diambil di inlet dan outlet embung. Sampel nitrat dan nitrit dianalisis di Laboratorium Hidrologi dan Klimatologi Lingkungan Fakultas Geografi UGM berdasarkan standar IK.9.5.4.1 (spektrofotometri) untuk nitrat dan SNI 06-6989.9-2004 untuk nitrit.

Karena tes BOD_5 memerlukan waktu lama, dalam penelitian ini tes COD digunakan untuk mempercepat analisis sampel air embung. Untuk menentukan COD, sampel air dianalisis di Laboratorium Teknik Kesehatan DTSL FT UGM berdasarkan SNI 06-6989.22-2004. Sebelum penelitian dimulai, sampel air dari embung diuji untuk menentukan kualitas air awal. BOD_5 dapat diprediksi dengan rasio BOD_5/COD berdasarkan pengujian pra-penelitian adalah $(0,947 \text{ mg/l} / 6,89 \text{ mg/l}) = 0,137$.

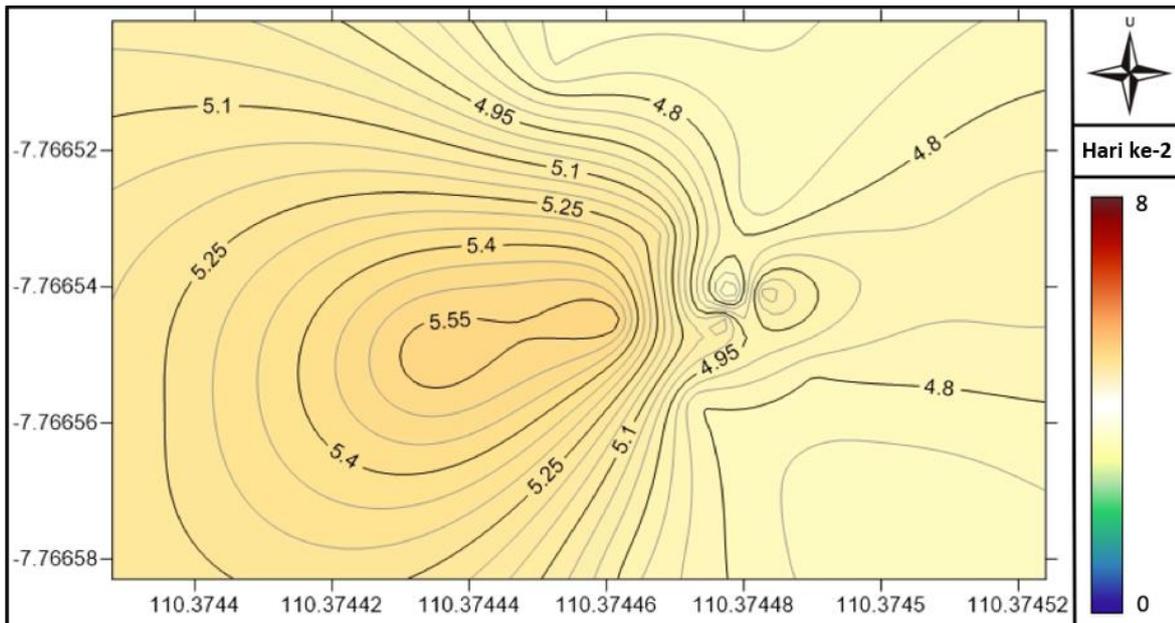
III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

a. Profil konsentrasi DO pada air embung

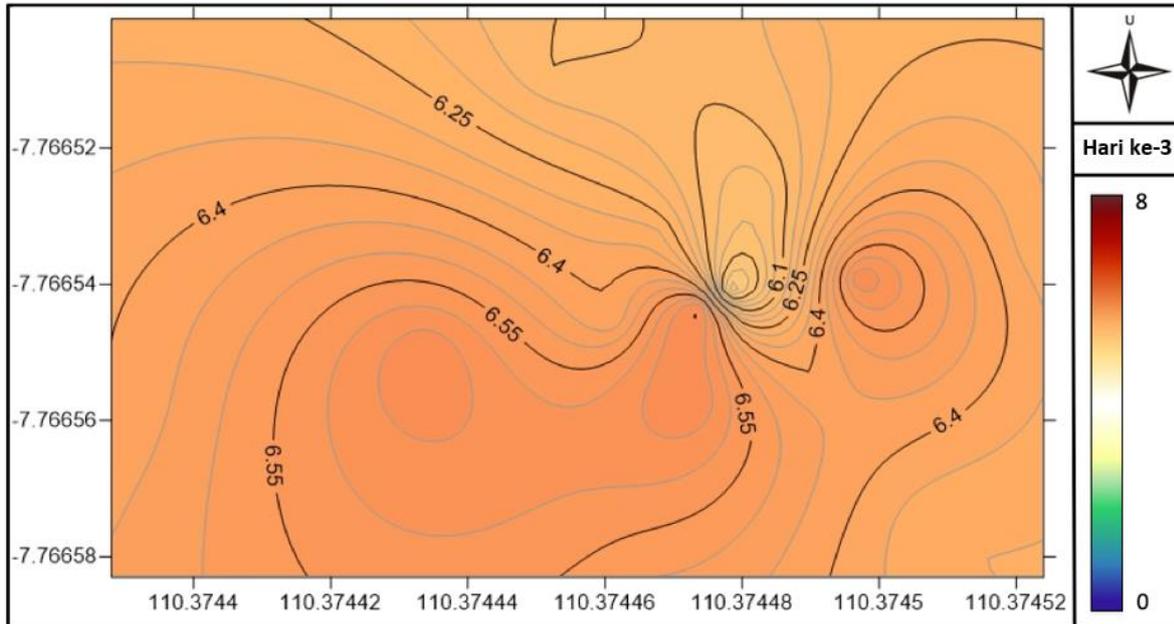
Aerator MBG dinyalakan sehari setelah pengurusan dan pembersihan sedimen pada embung. Pengukuran DO dimulai pertama kali setelah aerator beroperasi selama 24 jam. Pengambilan data selanjutnya dilakukan setiap hari sekali dengan selang waktu 24 jam. Besar debit air yang masuk embung sebesar $0,025 (\pm 0,001) \text{ m}^3/\text{s}$ selama pengukuran. Pada saat pengambilan data rentang suhu air berkisar antara $24,5^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C}$. Selama 24 jam pertama DO terukur diantara $2,3 - 3 \text{ mg/l}$ pada range 5 m di sekeliling aerator. Pada hari kedua pengukuran DO terukur berkisar antara $4,5 - 5,6 \text{ mg/l}$, sedangkan pada hari ketiga pengukuran DO berada diantara $5,8 - 6,7 \text{ mg/l}$ dengan DO pada inlet embung $4,6 \text{ mg/l}$ dan mengalami peningkatan tidak hanya sekitar aerator tetapi juga pada outlet yaitu $5,9 \text{ mg/l}$ (Gambar 3).



(a)



(b)



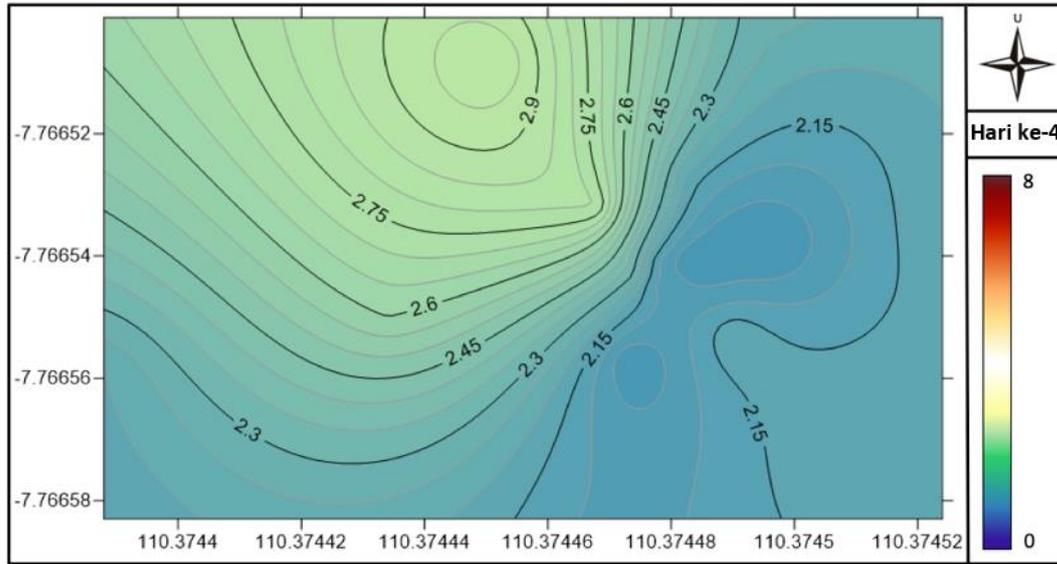
(c)

Gambar 3. Profil konsentrasi DO (a) hari pertama; (b) hari kedua; dan (c) hari ketiga

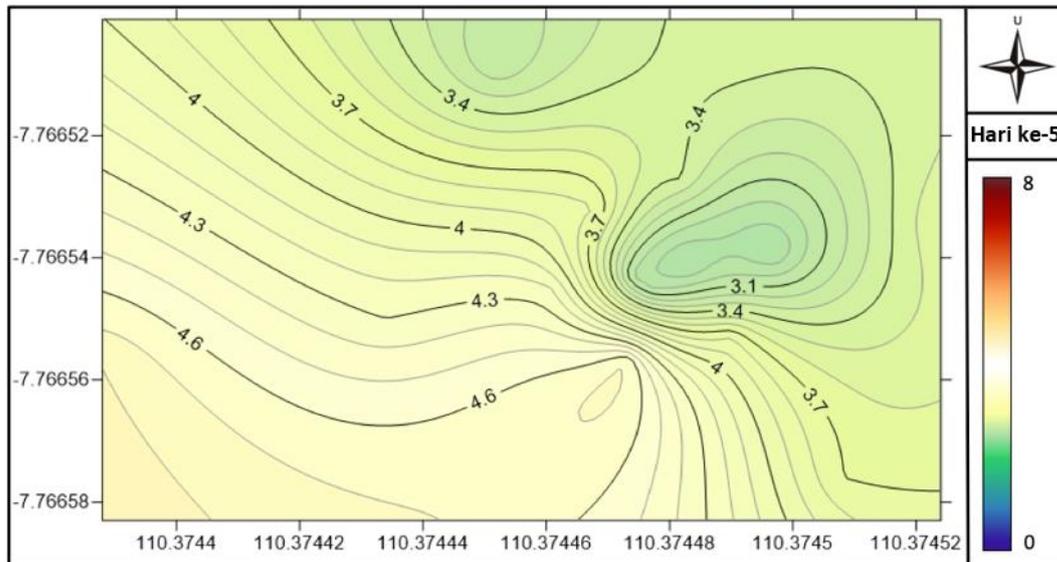
Peningkatan konsentrasi DO pada air embung mencapai kondisi jenuhnya di hari ketiga. Perhitungan volume air embung pada saat pengukuran adalah $695,97 \text{ m}^3$. Untuk melihat efektivitas MBG dalam mengaerasi embung dilihat dari jumlah oksigen rata-rata harian yang mampu terlarut dalam air embung yaitu sebesar $\Delta\text{DO} = 1134,43 \text{ g/jam}$. Pompa yang digunakan untuk 1 unit aerator dengan 3 nozzle MBG pada penelitian ini memiliki daya listrik 100 watt dengan efisiensi pompa 50%. Penggunaan daya listrik 100 watt dapat meningkatkan konsentrasi DO rata-rata antara $0,6 - 2,1 \text{ mg/l}$ terhadap konsentrasi DO di inlet untuk seluas air embung *Techno Park*. Perhitungan efisiensi MBG didapatkan sebesar $0,95 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$. Efisiensi aerasi dengan MBG yang diaplikasikan pada penelitian ini memiliki efisiensi tipikal berbagai *mechanical aerator* berkisar antara $0,7 - 1,2 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$ (Dionisi (2017)). Namun, untuk kategori aerator jenis

diffuser hanya memiliki kisaran nilai untuk tipe *coarse bubble* ($0,6 - 1,2 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$) (*Water Environment Federation/WEF*, 2017). Hal ini besar kemungkinannya perlu penambahan aerator MBG mengingat besarnya volume air di embung.

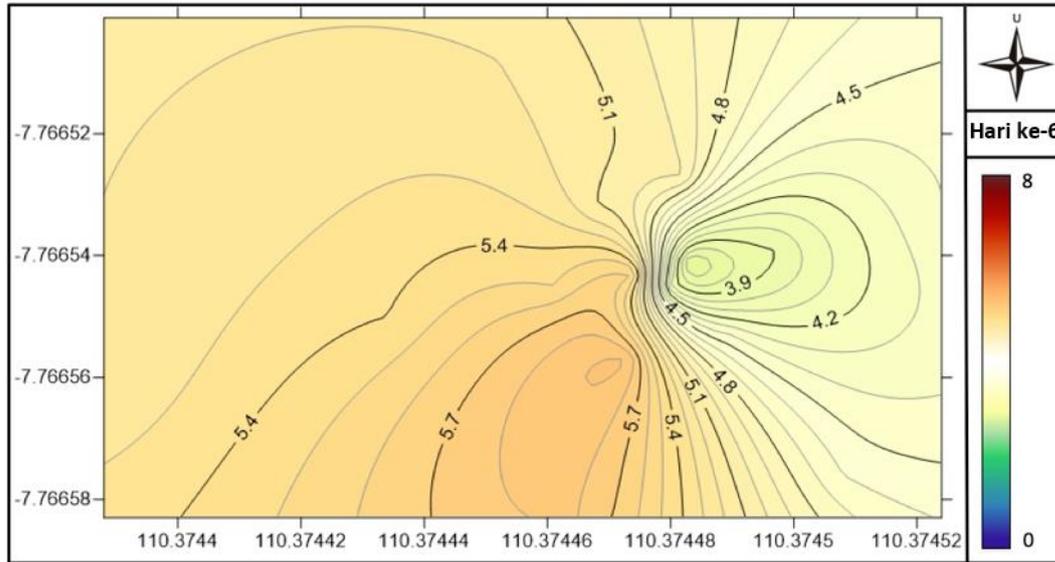
Pada hari keempat terjadi penurunan konsentrasi DO diantara $2 - 2,8 \text{ mg/l}$ dikarenakan cuaca mendung saat itu dengan temperatur udara sebesar $27,5^\circ\text{C}$. Seiring berubahnya cuaca harian, pengukuran DO pada hari kelima berkisar antara $2,6 - 4,8 \text{ mg/l}$, sedangkan pada hari keenam pengukuran DO berada diantara $4 - 5,9 \text{ mg/l}$. Pengukuran hari ketujuh tidak mengalami banyak perubahan seperti pada hari keenam. Dari data pengukuran ini dapat dikatakan dengan pemakaian MBG secara terus-menerus mampu menaikkan konsentrasi DO secara bertahap dengan kondisi cuaca dan lingkungan yang stabil.



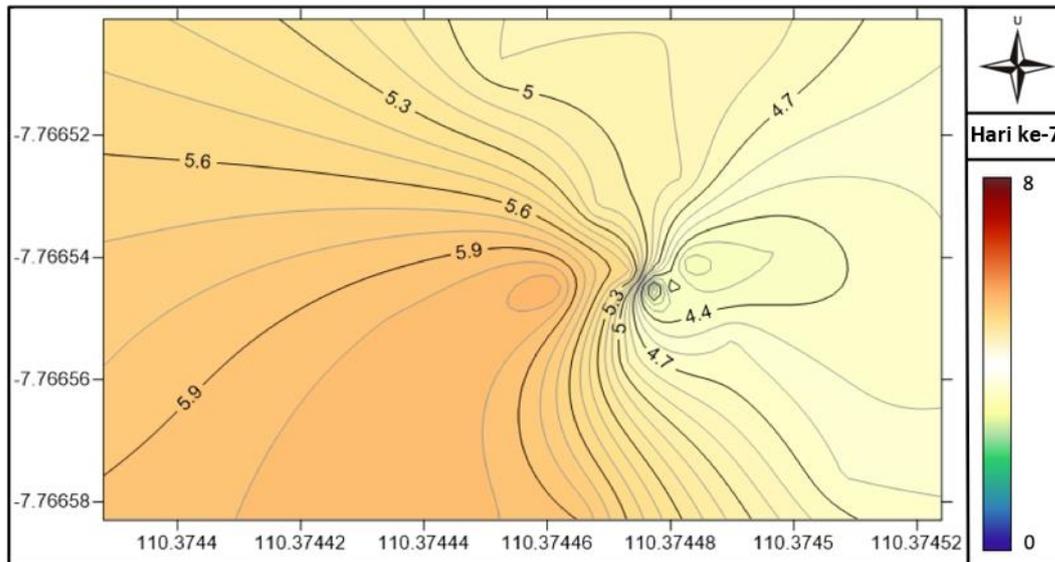
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4. Profil konsentrasi DO: (a) hari ke-4; (b) hari ke-5; (c) hari ke-6; dan (d) hari ke-7

b. Perubahan DO, COD, Nitrit, dan Nitrat di Inlet & Outlet Embung

Hasil pengukuran DO dilapangan selama 7 hari menunjukkan perubahan yang fluktuatif (Gambar 5). Hal ini disebabkan karena embung berada pada udara terbuka dimana sangat tergantung pada perubahan cuaca sekitar. Naik turunnya konsentrasi DO sangat berpengaruh akibat perubahan suhu udara yang berimbas pada perubahan suhu air. Pada hari pertama

perubahan kenaikan DO pada outlet sebesar $\Delta_{DO} = 0,7$ mg/l dari inlet embung, dan peningkatan menjadi 1 mg/l pada hari kedua hingga 1,3 mg/l.

Pada pengukuran hari ketiga terjadi kenaikan DO meski terjadi penurunan suhu. Hal ini dapat disebabkan pada saat dilakukan pengukuran DO cuaca dalam kondisi mendung namun dari pagi hingga siang hari dalam kondisi panas terik,

sehingga meski suhu turun DO yang ada dalam air sebelumnya masih tersimpan dalam air embung dan menyebabkan DO terukur pada outlet tetap naik.

Penurunan konsentrasi DO jauh berkurang pada

hari keempat dikarenakan mendung yang sangat tebal dan malam hari sebelumnya terjadi hujan intensitas sedang sehingga dengan tidak banyaknya intensitas cahaya yang masuk, suhu air menjadi rendah 24,4°C.

Tabel 1. Perubahan konsentrasi DO, COD, Nitrit dan Nitrat

Lokasi	DO (mg/l) Hari ke-						
	1	2	3	4	5	6	7
Inlet	2,0	3,5	4,6	1,9	2,9	3,7	3,8
Outlet	2,7	4,5	5,9	2,6	3,4	4,8	4,6

Lokasi	COD (mg/l) Hari ke-						
	1	2	3	4	5	6	7
Inlet	15,5	43,5	41,0	11,2	16,5	12,0	14,1
Outlet	8,5	23,0	22,0	7,4	9,6	8,2	9,6

Lokasi	Nitrit (mg/l) Hari ke-						
	1	2	3	4	5	6	7
Inlet	0,17	0,20	0,21	0,37	0,48	0,37	0,20
Outlet	0,18	0,22	0,21	0,13	0,51	0,51	0,27

Lokasi	Nitrat (mg/l) Hari ke-						
	1	2	3	4	5	6	7
Inlet	1,25	0,32	8,84	1,97	1,91	0,92	1,2
Outlet	1,14	1,75	6,55	2,77	1,79	1,1	2,81

COD

Dari hasil pengujian parameter COD dapat terlihat pada pengambilan sampel air mempunyai efisiensi *removal* yang melebihi 30%. Pada tiga hari pertama teramati peningkatan *removal* COD mencapai 45% seiring dengan peningkatan konsentrasi DO setiap harinya. Kemampuan mendegradasi beban organik yang masuk ke embung mengalami penurunan pada hari keempat. Hal ini disebabkan karena konsentrasi DO yang juga menurun, seperti terlihat pada hari keempat DO terukur hanya 1,9 mg/L pada inlet dan 2,6 mg/L pada outlet embung. Pada hari kelima terjadi peningkatan konsentrasi DO

yang juga menaikkan *removal* COD-nya. Namun, pada hari keenam dan ketujuh terjadi penurunan efisiensi *removal* COD meski terjadi kenaikan konsentrasi DO dari hari sebelumnya. Hal ini berbeda dengan penjelasan Wiratni, dkk (2015) yang seharusnya meningkatkan kemampuan degradasi bahan organik seiring meningkatnya konsentrasi oksigen pada penggunaan MBG yang diuji pada skala laboratorium untuk limbah domestik. Merujuk pada pengukuran hari kedua, keenam dan ketujuh, ketiga hari tersebut konsentrasi DO diembung antara inlet dan outlet berada pada nilai dengan range yang sama, namun memiliki beda efisiensi *removal* beban organiknya. Pada hari kedua efisiensinya

mencapai 47,13% ketiga pada hari keenam dan ketujuh efisiensinya hanya sebesar 31,9%. Efisiensi menurun hingga $\pm 16\%$ dalam seminggu. Penurunan ini dapat terjadi karena menurunnya kinerja aerator.

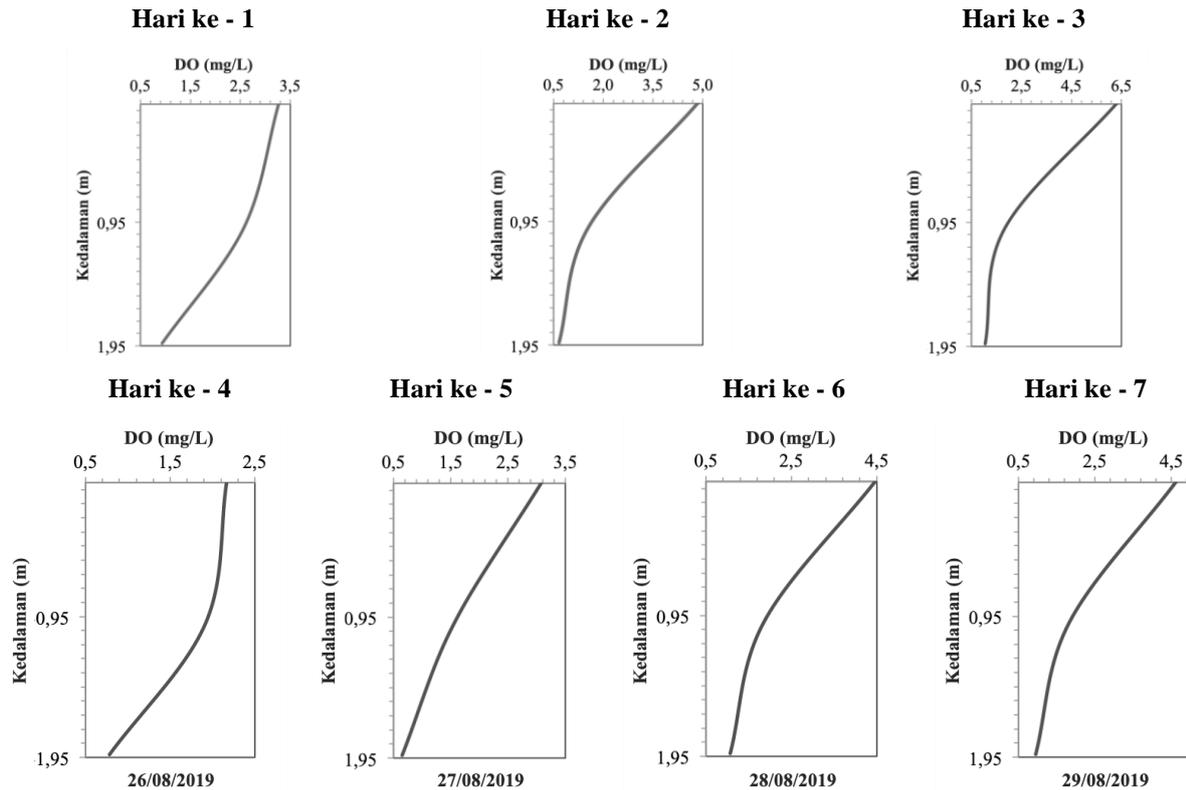
Secara pengamatan dilapangan MBG dapat bekerja dengan normal hingga ± 1 bulan tanpa maintenance dengan penyalaan terus-menerus. Namun berdasarkan pengujian COD ternyata efisiensi *removal* COD-nya mengalami penurunan dalam seminggu, maka dengan menganut standar operasi dan pemeliharaan yang dikemukakan oleh Arif (2019) tentang pemanfaatan MBG pada embung di Wisdom Park, dapat dilakukan pembersihan aerator setiap 3 hari sekali untuk MBG yang dinyalakan secara on/off dan dengan penempatan MBG di inlet embung. Karena penyalaan MBG di embung ini setiap hari tanpa henti dan dalam kondisi terapung ditengah embung sehingga tidak ada banyak sampah maupun partikel tersuspensi dan dapat dilakukan pembersihan setiap seminggu sekali jika diharapkan *percent removal* konsentrasi COD tetap terjaga. Pertimbangan dilakukan seminggu sekali karena dalam waktu seminggu *percent removal* COD sudah menunjukkan mulai menurun meski masih diatas 30% *removal* COD-nya.

Nitrit dan Nitrat

Seiring peningkatan konsentrasi DO dalam proses reaerasi, selama tujuh hari pengukuran (selain hari keempat) konsentrasi nitrit pada air embung relatif menunjukkan peningkatan oleh

adanya pemanfaatan DO untuk proses nitrifikasi karena adanya kandungan amonia dalam air. Selain itu, konsentrasi nitrit juga telah dikonversi sebagian menjadi nitrat yang terlihat pada pengambilan data yang menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi pada air embung di outlet. Pada pembahasan COD sebelumnya disebutkan bahwa pada hari keempat *removal* COD menurun ketika siklus nitrogen yang terjadi mengalami peningkatan. Hal ini, seperti yang dikemukakan oleh Dahruji, dkk (2017), dapat juga disebabkan oleh siklus-siklus nitrogen yang terjadi pada suatu badan air terkadang mengkonsumsi paling banyak oksigen terlarut dibandingkan dengan reaksi-reaksi biokimia lain yang terjadi dalam air.

Pada hari ketiga pengukuran tidak ada perubahan konsentrasi nitrit pada air embung, begtupun sebaliknya nitrat mengalami penurunan konsentrasi. Penurunan konsentrasi nitrat ini memungkinkan adanya adanya proses denitrifikasi (konversi nitrat ke nitrogen dalam kondisi anaerobik) mengingat luasan air embung (luas permukaan air 948,5 m²). Luasan embung jauh lebih besar dibanding dengan cakupan luas MBG dalam mengaerasi embung sehingga dapat terbentuk zona aerobik dan zona anaerobik atau zona anoxic (dasar embung) (Gambar 5). Embung ini akan seperti reaktor dengan konsep *partial-mix aerated pond* yaitu proses pengolahan air yang dikembangkan dengan menggabungkan proses oksidasi karbon, nitrifikasi, dan denitrifikasi menjadi satu proses tunggal tanpa saluran perantara (reaktor terpisah) (Burgos, dkk. (2015).



Gambar 5. Stratifikasi konsentrasi DO pada kedalaman air embung

Pada hari keempat, meski konsentrasi DO menurun proses nitrifikasi tetap berlanjut, hal ini terlihat dengan menurunnya konsentrasi nitrit di outlet yang berarti tetap ada pemanfaatan oksigen untuk mengubah nitrit menjadi nitrat melalui proses oksidasi dan ini dapat terlihat pada outlet bahwa nitrat mengalami peningkatan. Konsentrasi nitrat selama 7 hari pengukuran rata-rata dapat dikatakan mengalami peningkatan namun masih relatif aman karena masih dibawah baku mutu kelas 1 untuk pengendalian pencemaran air di badan perairan (PP No 82 Tahun 2001), sehingga tidak banyak menambah beban pencemar nitrat di sungai Code, meskipun kajian pencemaran limbah dibantaran sungai Code yang dilakukan oleh Muryanto, dkk (2019) menyatakan bahwa distribusi nitrat dari aktivitas domestik pada daerah Ngaglik ke hilir melebihi standar baku mutu kelas 4 (konsentrasi nitrat 10-20 mg/L) menurut Peraturan Gubernur DIY No. 20 Tahun 2008 yaitu antara 32 – 43 mg/L.

IV. KESIMPULAN

Pemanfaatan aerator *Microbubble Generator* (MBG) sebagai salah satu upaya perbaikan kualitas air dengan sistem aerasi menunjukkan peningkatan konsentrasi DO pada air di embung. Perubahan konsentrasi DO sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca dilapangan terutama suhu udara yang akan berkorelasi dengan suhu air harian. Pada saat pengambilan data rentang suhu air berkisar antara 24,5°C – 27°C dan perubahan peningkatan DO yang terukur pada inlet dan outlet embung antara 0,3 – 1,1 mg/l. Peningkatan DO dalam air embung mampu menurunkan konsentrasi pencemar beban organik dan juga untuk proses nitrifikasi maupun nitrifikasi sehingga dapat mengurangi beban pencemar sebelum air masuk ke sungai Code. Hasil penelitian ini merupakan penerapan tahap awal pemanfaatan aerator pada perbaikan kualitas air pada saluran terbuka, embung atau danau dan masih diperlukan penelitian lanjutan untuk melihat efektivitas sistem aerasi ini pada berbagai musim/cuaca.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik UGM dalam pengadaan aerator MBG dan perijinan Fakultas Teknik dalam melakukan penelitian di Embung Techno Park.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, K. 2019. *Efek Microbubble Generator sebagai Aerator Terhadap Tingkat Oksigen Terlarut pada Embung Lembah UGM*. Skripsi, Universitas Gadjah Mada.
- Burgos, A.J., Lopez, J.S., Rodriguez, P.U. 2015. *Aerated Ponds, Series: Secondary Treatments*. (FS-BIO-011) Technology Fact Sheets for Effluent Treatment Plants on Textile Industry. Universidade Da Coruna.
- Dahruji, dkk. 2017. Studi Pengolahan Limbah Usaha Mandiri Rumah Tangga dan Dampak Bagi Kesehatan di Wilayah Kenjeran. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 1(1): 36 – 44. ISSN 2528-4967.
- Deendarlianto, Budhijanto, W., Alva, E. T., Indarto, Anggita, G. W. I. 2015. *The Implementation of a Developed Microbubble Generator on The Aerobic Wastewater Treatment*, *International Journal of Technology*, 6, 924-930. DOI:10.14716/ijtech.v6i6.1696
- DLH kota Yogyakarta. 2018. *Kajian Beban Pencemaran Sungai Code*. Laporan Akhir. Pemerintah Kota Yogyakarta, Dinas Lingkungan Hidup. <https://lingkunganhidup.jogjakota.go.id/page/index/kajian-beban-pencemaran-sungai>.
- Dionisi, D. 2017. *Biological Wastewater Treatment Process. Mass and Heat Balances*. CRC Press, Taylor and Francis Group.
- Huhnke, C.R. 2018. *Factors Affecting Minimum Dissolved Oxygen Concentration in Streams*. Doctoral Thesis, Cleveland State University.
- Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (Fourth-Edition)*. McGraw-Hill.
- Muryanto, Suntoro, Totok, G., Prabang, S., Afid, N., & Nurisa, F. W. 2019. *Distribution of Nitrate Household Waste and Groundwater Flow Direction Around Code River, Yogyakarta, Indonesia*. *Indonesian Journal of Geography*, Vol. 51, No. 1, Pp. 54-61. <http://dx.doi.org/10.22146/ijg.43420>
- Parmar, R. & Majumder, S. K. 2013. *Microbubble Generation and Microbubble-Aided Transport Process Intensification – a-State-of-the-Art-Report*. *Chemical Engineering and Processing*, 64:79-97.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2001. *Peraturan Pemerintah No 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengelolaan Pencemaran Air*.
- Tamura, I., Uehara, I., & Adachi, K. 2014. *Developing a Micro-bubble Generator and Practical System for Purifying Contaminated Water*, *Studies in Science and Technology*, 3, 1, 87-90.
- Water Environment Federation. 2017. *Municipal Resource Recovery Design Committee-Liquid Stream Fundamentals: Aeration Design*. WSEC-2017-FS-024
- Wiratni, B., Deendarlianto, Heppy, K., & Dodi, S. 2015. *Enhancement of Aerobic Wastewater Treatment by the Application of Attached Growth Microorganisms and Microbubble Generator*. Volume 7, Pp 1101 – 1109, *International Journal of Technology*. DOI:10.14716/ijtech.v6i7.1240.