

# Pengaruh Variasi Debit Udara Terhadap Kinerja *Microbubble Generator* Untuk Meningkatkan Kadar Oksigen Pada Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Ayam

Aflachul Risma Faradila<sup>1</sup>, Tuhu Agung Rachmanto<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

Koresponden email: 22034010023@student.upnjatim.ac.id<sup>1</sup>, tuhu.tl@upnjatim.ac.id<sup>2</sup>

Diterima: 17 Juni 2026

Disetujui: 22 Juni 2026

## Abstract

Chicken slaughterhouse wastewater contains high concentrations of organic pollutants, indicated by elevated Chemical Oxygen Demand (COD), which may cause environmental degradation if discharged without adequate treatment. According to East Java Governor Regulation No. 72 of 2013, the maximum allowable COD concentration for slaughterhouse wastewater is 200 mg/L. This study investigated the effect of air flow rate on the performance of a microbubble generator in increasing dissolved oxygen (DO) concentration and supporting organic matter removal during wastewater treatment. Three reactors were operated at air flow rates of 1, 2, and 3 L/min. The parameters analyzed were DO and COD concentrations. The results showed that increasing air flow rate improved oxygen transfer and COD removal efficiency. The reactor operated at 3 L/min achieved the highest DO concentration of 7.3 mg/L and COD removal efficiency of 64.86%, compared with 59.46% and 54.05% at 2 and 1 L/min, respectively. Under the optimum condition, COD concentration decreased from 4,736 mg/L to 1,664 mg/L. These findings indicate that a higher air flow rate enhances oxygen transfer and supports the biological degradation of organic matter in chicken slaughterhouse wastewater treatment.

**Keyword:** *microbubble generator, air flow rate, dissolved oxygen*

## Abstrak

Air limbah rumah potong ayam (RPA) mengandung bahan organik tinggi yang ditunjukkan oleh tingginya nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak diolah dengan baik. Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013, baku mutu COD air limbah rumah potong hewan adalah 200 mg/L. Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh debit udara terhadap kinerja *microbubble generator* dalam meningkatkan konsentrasi *dissolved oxygen* (DO) dan mendukung penyisihan bahan organik pada limbah cair RPA. Penelitian dilakukan menggunakan tiga reaktor dengan debit udara 1, 2, dan 3 L/menit. Parameter yang dianalisis meliputi konsentrasi DO dan COD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan debit udara meningkatkan transfer oksigen dan efisiensi penyisihan COD. Reaktor dengan debit udara 3 L/menit menghasilkan konsentrasi DO tertinggi sebesar 7,3 mg/L dan efisiensi penyisihan COD sebesar 64,86%, lebih tinggi dibandingkan debit udara 2 L/menit (59,46%) dan 1 L/menit (54,05%). Pada kondisi terbaik, konsentrasi COD menurun dari 4736 mg/L menjadi 1664 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit udara 3 L/menit memberikan kinerja terbaik dalam meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut dan mendukung pengolahan biologis limbah cair RPA.

**Kata Kunci:** *microbubble generator, debit udara, oksigen terlarut*

## 1. Pendahuluan

Karakteristik limbah cair rumah potong ayam umumnya ditandai dengan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan amonia (NH<sub>3</sub>-N) yang tinggi. Berdasarkan penelitian terdahulu, konsentrasi COD dapat mencapai sekitar 2240 mg/L, sedangkan kandungan amonia sebesar 149 mg/L [1]. Selain itu, limbah RPA juga memiliki nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Total Suspended Solids* (TSS) yang tinggi, yang menunjukkan tingginya beban pencemar organik. Kandungan bahan organik dan amonia yang tinggi tersebut berpotensi menurunkan kualitas badan air penerima serta menimbulkan dampak negatif terhadap organisme perairan akibat penurunan kadar *dissolved oxygen* [2]. Pengolahan limbah cair RPA umumnya dilakukan secara biologis karena dinilai lebih efektif dan ekonomis dalam menguraikan bahan organik.

Dalam proses ini, sistem aerasi memegang peranan penting karena berfungsi untuk menyuplai oksigen sebagai kebutuhan utama mikroorganisme dalam proses biodegradasi. Namun demikian, sistem

aerasi konvensional umumnya memiliki efisiensi transfer oksigen yang relatif rendah. Hal ini disebabkan oleh ukuran gelembung udara yang terbentuk relatif besar (*microbubble*), sehingga luas permukaan kontak antara udara dan air terbatas serta waktu tinggal gelembung di dalam air relatif singkat [3]. Dalam sistem aerasi, debit udara dan ukuran gelembung merupakan parameter operasional yang sangat berpengaruh terhadap efisiensi transfer oksigen. Debit udara memengaruhi jumlah gelembung yang terbentuk, sedangkan ukuran gelembung menentukan luas permukaan kontak dan waktu tinggal gelembung di dalam air [4]. Debit udara yang terlalu rendah dapat menyebabkan suplai oksigen tidak mencukupi, sedangkan debit udara yang terlalu tinggi dapat meningkatkan turbulensi dan menyebabkan kehilangan oksigen ke atmosfer [5].

Sebagai alternatif, teknologi *Microbubble Generator* (MBG) dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi aerasi [6]. Teknologi ini dapat menghasilkan gelembung udara berukuran mikro (umumnya <200  $\mu\text{m}$ ) yang memiliki luas permukaan lebih besar dan kecepatan naik lebih lambat dibandingkan gelembung konvensional [7]. Kondisi ini memungkinkan peningkatan efisiensi transfer oksigen dan kadar oksigen terlarut di dalam air, sehingga aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik dan mengoksidasi amonia menjadi lebih optimal [8]. Selain itu, ukuran gelembung yang lebih kecil juga meningkatkan difusi oksigen serta memperpanjang waktu kontak antara fase gas dan cair [3]. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini memiliki kebaruan dalam menganalisis secara simultan pengaruh variasi debit udara terhadap kinerja *microbubble generator* pada kinerja aerasi dalam pengolahan limbah cair RPA. Penelitian ini tidak hanya mengetahui peningkatan oksigen terlarut, tetapi juga mengkaji keterkaitannya dengan efisiensi penurunan COD.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen laboratorium dengan sampel air limbah rumah potong ayam. Sumber air limbah tersebut dipilih sebagai objek penelitian karena memiliki kandungan bahan organik tinggi yang berasal dari darah, sisa daging, lemak, dan protein. Sampel limbah diambil dari bak penampungan limbah cair rumah potong ayam.

### 2.1 Bahan dan Peralatan

Penelitian ini menggunakan sampel air limbah rumah potong ayam dengan karakteristik awal COD 4736 mg/L. peralatan yang digunakan meliputi DO meter, reaktor biofilter dengan *microbubble generator*, pompa udara, dan flowmeter.

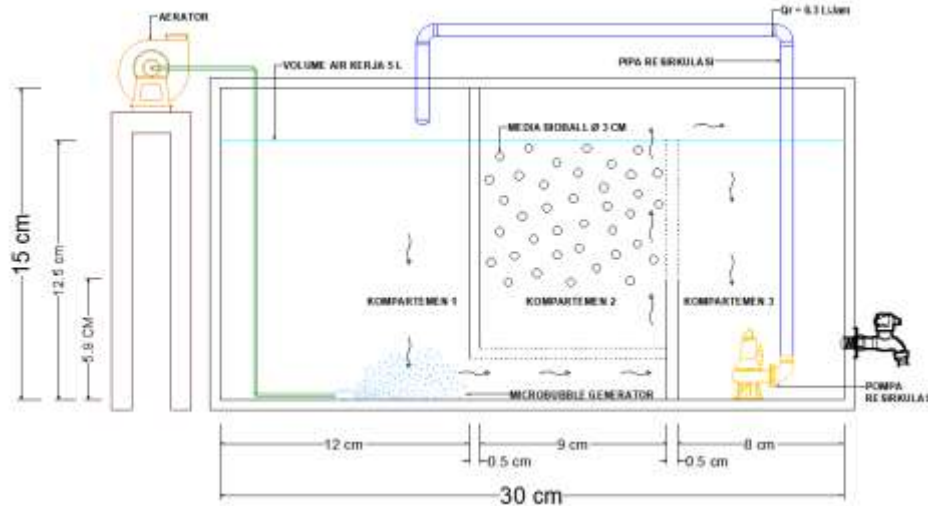
### 2.2 Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan dalam tiga tahap. Pertama, tahap *seeding* mikroorganisme dilakukan selama 14 hari untuk membentuk biofilm pada media *bioball* hingga nilai MLSS mencapai  $\geq 2.000$  mg/L. Kedua, tahap aklimatisasi dilakukan selama 12 hari menggunakan empat tahap pengenceran limbah (30% air limbah:70% aquades, 50% air limbah:50% aquades, 70% air limbah:30% aquades, dan 100% air limbah) untuk menyesuaikan konsorsium mikroorganisme terhadap karakteristik air limbah.

Setelah proses aklimatisasi, penelitian utama dilakukan menggunakan reaktor biologis yang dilengkapi dengan *microbubble generator* dengan tiga variasi debit udara, yaitu 1 L/menit, 2L/menit, 3L/menit. Setiap perlakuan dioperasikan dengan waktu tinggal total selama 8 jam yang terdiri dari kondisi oxic pertama 4 jam, anoxic 2 jam, dan oxic kedua selama 2 jam. Pengambilan sampel dilakukan pada akhir setiap fase (oxic pertama, anoxic, dan oxic kedua).

### 2.3 Desain Reaktor

Reaktor yang digunakan adalah reaktor *batch Intermittent* biofilter dengan volume kerja air 5 liter dengan media *bioball* tipe BB – 30 sebagai tempat melekatnya mikroorganisme (*attached growth*) dengan jumlah media sebanyak 124 buah per reaktor. Sistem aerasi menggunakan *microbubble generator* yang dihubungkan dengan pompa udara dan flowmeter untuk mengatur variasi debit udara sebesar 1 L/menit, 2 L/menit, 3 L/menit.



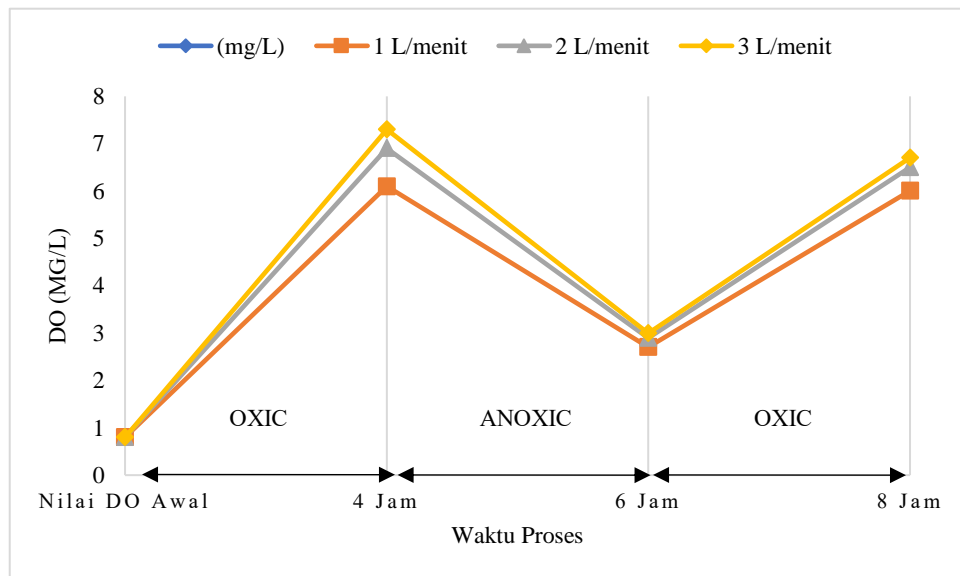
**Gambar 1.** Desain Reaktor Biofilter Intermittent  
Sumber: Hasil Analisis, 2026

## 2.4 Analisis Parameter

Konsentrasi DO diukur secara langsung menggunakan DO meter. Analisis konsentrasi COD dilakukan menggunakan metode refluks tertutup sesuai dengan SNI 06-6989.2-2019 di Laboratorium Air Program Studi Teknik Lingkungan UPN “Veteran” Jawa Timur. Data konsentrasi DO digunakan untuk mengevaluasi ketersediaan oksigen yang dihasilkan oleh microbubble generator, sedangkan efisiensi penyisihan COD dihitung berdasarkan perbedaan konsentrasi COD influen dan efluen pada setiap variasi dengan rumus efisiensi penyisihan COD (%) =  $\frac{COD_{in}-COD_{out}}{COD_{in}} \times 100$

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Hubungan Waktu Proses Terhadap Ketersediaan DO (mg/L)



**Gambar 2.** Hubungan Waktu Proses Terhadap Ketersediaan DO (mg/L)  
Sumber: Diolah oleh penyusun, 2026

**Tabel 1.** Data Ketersediaan DO (mg/L)

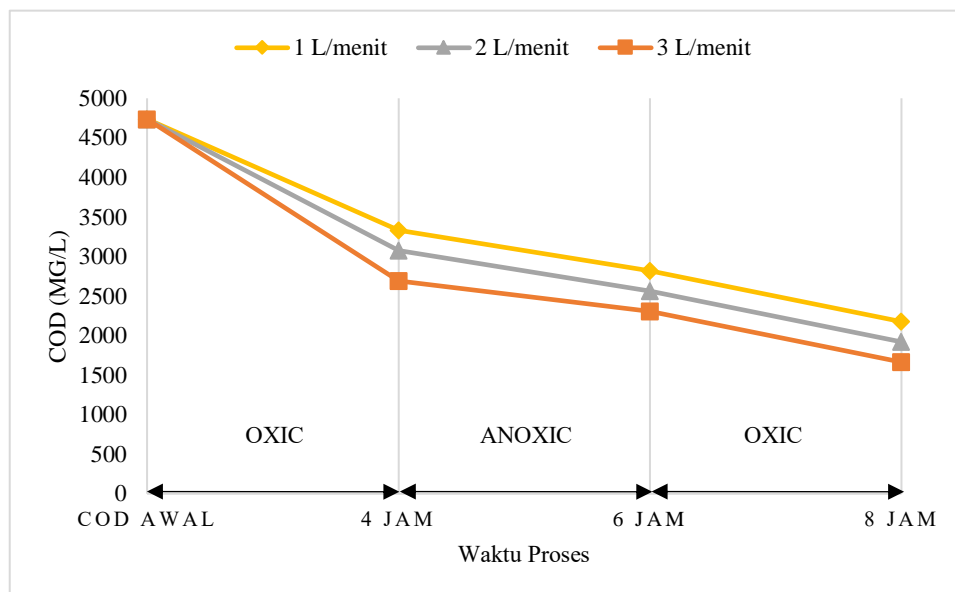
Debit Udara	Nilai DO Awal	4 Jam Oxic	2 Jam Anoxic	2 Jam Oxic
	(mg/L)			
1 L/menit	0.8	6.1	2.7	6.0
2 L/menit	0.8	6.9	2.9	6.5
3 L/menit	0.8	7.3	3.0	6.7

Sumber: Diolah oleh penyusun, 2026

Berdasarkan **Tabel 1**, nilai DO yang diperoleh berbeda pada setiap variasi debit udara. Reaktor dengan debit udara 3 L/menit menghasilkan nilai DO tertinggi sebesar 7,3 mg/L pada fase oxic pertama, sedangkan debit udara 2 L/menit dan 1 L/menit masing – masing menghasilkan DO sebesar 6,9 mg/L dan 6,1 mg/L. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa variasi debit udara memengaruhi jumlah oksigen terlarut yang tersedia di dalam reaktor. Perbedaan nilai DO berkaitan dengan jumlah gelembung yang terbentuk selama proses aerasi. Variasi debit udara yang lebih besar menghasilkan jumlah gelembung yang lebih banyak sehingga kontak udara dan air menjadi lebih luas [9]. Kondisi tersebut menyebabkan jumlah oksigen yang berpindah dari fase cair menjadi lebih tinggi [10]. Microbubble memiliki luas permukaan spesifik yang besar sehingga perpindahan massa oksigen berlangsung pada area kontak yang lebih luas dibandingkan gelembung konvensional [11]. Ukuran gelembung yang kecil menyebabkan kecepatan naik gelembung lebih rendah sehingga waktu tinggal gelembung didalam cairan menjadi lebih panjang [3]. Jumlah gelembung dan gas holdup yang lebih tinggi di dalam reaktor berhubungan dengan meningkatnya konsentrasi oksigen terlarut pada sistem aerasi [10].

### 3.2 Hubungan Debit Udara Terhadap Penyisihan COD

Penyisihan COD dihitung untuk mengetahui debit udara yang efektif pada *microbubble generator* dalam menyisihkan COD. Berdasarkan data penelitian efisiensi penyisihan pada seluruh variasi debit udara konsentrasi COD mengalami penurunan pada seluruh variasi debit udara.



**Gambar 3.** Grafik Hubungan Waktu Proses Terhadap Efisiensi Penyisihan COD  
Sumber: Diolah oleh penyusun, 2026

**Tabel 2.** Data Penyisihan COD (mg/L)

Debit Udara	Nilai COD Awal	4 Jam Oxic	2 Jam Anoxic	2 Jam Oxic	Removal
	(mg/L)				
1 L/menit	4736	3328	2816	2176	54,05%
2 L/menit	4736	3072	2560	1920	59,46%
3 L/menit	4736	2688	2304	1664	64,86%

Sumber: Diolah oleh penyusun, 2026

Berdasarkan **Tabel 2** seluruh variasi debit udara menunjukkan penurunan konsentrasi COD selama proses pengolahan berlangsung. Dari konsentrasi awal COD sebesar 4736 mg/L, konsentrasi akhir yang diperoleh pada debit udara 1 L/menit, 2 L/menit, dan 3 L/menit berturut-turut sebesar 2176 mg/L, 1920 mg/L, dan 1664 mg/L, dengan penyisihan COD masing-masing sebesar 54,05%, 59,46%, dan 64,86%. Perbedaan tersebut menunjukkan adanya hubungan antara variasi debit udara dengan penyisihan konsentrasi bahan organik yang terukur sebagai COD. Penurunan COD mengindikasikan terjadinya pengurangan bahan organik selama proses pengolahan. Proses ini dilakukan oleh mikroorganisme yang menggunakan senyawa organik sebagai sumber energi dan karbon untuk menjalankan aktivitas biologisnya [12]. Pada proses biologis aerob, oksigen berperan sebagai akseptor elektron dalam reaksi oksidasi senyawa organik sehingga konsentrasi COD dapat berkurang [13].

Kondisi ini berkaitan dengan meningkatnya jumlah gelembung yang terbentuk di dalam reaktor. Semakin besar debit udara yang diberikan, semakin banyak gelembung yang dihasilkan sehingga luas kontak antara fase gas dan fase cair meningkat [9]. Bertambahnya jumlah gelembung menyebabkan lebih banyak oksigen yang ditransfer ke dalam air limbah, yang kemudian tercermin dari meningkatnya konsentrasi DO pada setiap kenaikan debit udara [9]. Peningkatan ketersediaan oksigen terlarut mampu mendukung aktivitas mikroorganisme heterotrof dalam mengoksidasi bahan organik [13]. Selain memengaruhi jumlah gelembung yang terbentuk, variasi debit udara juga memengaruhi pola distribusi gelembung di dalam reaktor.

Pada debit udara yang lebih rendah, gelembung cenderung terbentuk dalam jumlah yang sedikit sehingga penyebarannya belum merata pada seluruh volume reaktor. Sebaliknya, pada debit udara 3 L/menit jumlah gelembung yang lebih banyak menghasilkan dispersi gelembung yang lebih luas sehingga terbentuk kondisi aliran yang lebih terdistribusi (*dispersed flow*) [14]. Kondisi tersebut meningkatkan frekuensi kontak antara gelembung dan air limbah serta memperbesar peluang perpindahan oksigen ke fase cair [10]. Karakteristik microbubble menyebabkan gelembung memiliki ukuran yang lebih kecil dan waktu tinggal yang lebih lama di dalam cairan [3]. Teknologi microbubble menghasilkan luas permukaan kontak yang lebih besar dibandingkan gelembung konvensional sehingga transfer oksigen berlangsung pada area kontak yang lebih luas [15]. Hubungan antara nilai DO dan penyisihan COD pada penelitian ini menunjukkan bahwa ketersediaan oksigen merupakan salah satu faktor yang berkaitan dengan proses penguraian bahan organik selama pengolahan berlangsung.

#### 4. Kesimpulan

Variasi debit udara memberikan pengaruh terhadap konsentrasi oksigen terlarut (DO) dan penyisihan COD pada pengolahan limbah cair rumah potong ayam menggunakan microbubble generator. Debit udara 3 L/menit menghasilkan nilai DO tertinggi sebesar 7,3 mg/L dan konsentrasi COD terendah sebesar 1664 mg/L dengan efisiensi penyisihan sebesar 64,86%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi debit udara berhubungan dengan ketersediaan oksigen terlarut dan penyisihan bahan organik. Meskipun terjadi penurunan konsentrasi COD pada seluruh variasi debit udara, konsentrasi COD efluen yang diperoleh masih belum memenuhi baku mutu air limbah rumah potong hewan berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun, 2013 yaitu sebesar 200 mg/L, sehingga diperlukan pengolahan lanjutan atau evaluasi terhadap parameter operasional seperti waktu tinggal hidraulik untuk meningkatkan penyisihan bahan organik.

#### 5. Referensi

- [1] Maharani, F., Kokoh, R., Putro, H., Sigit, P., & Sitogasa, A. (2025). Efektivitas Biofilter dengan Media Papan Pakis dan Sistem Aerasi Intermittent dalam Mengurangi COD dan NH<sub>3</sub>-N pada Limbah Cair Rumah Potong Ayam. *Jurnal Serambi Engineering*, *X*(4), 16039–16045.
- [2] Bustillo-Lecompte, C. F., & Mehrvar, M. (2015). Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances. *Journal of Environmental Management*, *161*, 287–302. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.008>
- [3] Iwakiri, M., Terasaka, K., Fujioka, S., Schlüter, M., Kastens, S., & Tanaka, S. (2017). Mass Transfer from a Shrinking Single Microbubble Rising in Water. *Japanese Journal of Multiphase Flow*, *30*(5), 529–535. <https://doi.org/10.3811/jjmf.30.529>
- [4] Lu, C., Cheng, W., Zhou, S., Wang, M., Liu, J., & Wan, T. (2021). Influence of Aeration Microporous Aperture on Oxygen Mass Transfer Efficiency in Terms of Bubble Motion Flow Field. *ACS Omega*, *6*(4), 2790–2799. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05126>
- [5] Andinet, T., Kim, I., & Lee, J. Y. (2016). Effect of microbubble generator operating parameters on oxygen transfer efficiency in water. *Desalination and Water Treatment*, *57*(54), 26327–26335. <https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1178604>
- [6] Terasaka, K., Hirabayashi, A., Nishino, T., Fujioka, S., & Kobayashi, D. (2011). Development of microbubble aerator for waste water treatment using aerobic activated sludge. *Chemical Engineering Science*, *66*(14), 3172–3179. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2011.02.043>
- [7] Khuntia, S., Majumder, S. K., & Ghosh, P. (2012). Microbubble-aided water and wastewater purification: A review. *Reviews in Chemical Engineering*, *28*(4–6), 191–221. <https://doi.org/10.1515/revce-2012-0007>
- [8] Zhang, L., Liu, J., Liu, C., Zhang, J., & Yang, J. (2016). Performance of a fixed-bed biofilm reactor with Microbubble aeration in aerobic wastewater treatment. *Water Science and Technology*, *74*(1), 138–146. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.187>

- [9] Mistoro, N. H., Saraswati, S. P., Ahmad, J. S. M., & ... (2023). Analisis Pengaruh Variasi Debit Air (QL) dan Debit Gas (QG) terhadap Koefisien Transfer Oksigen (KLa) pada Performa Microbubble Generator. ... *Nasional Teknik Kimia* ..., 1–6. <http://www.jurnal.upnyk.ac.id/index.php/kejuangan/article/view/10325%0Ahttp://www.jurnal.upnyk.ac.id/index.php/kejuangan/article/download/10325/5603>
- [10] Abadie, T., al Ma Awali, S. M., Brennan, B., Briciu-Burghina, C., Tajparast, M., Passos, T. M., Durkan, J., Holland, L., Lawler, J., Nolan, K., Quilty, B., Fitzsimons, L., Regan, F., & Delauré, Y. (2022). Oxygen transfer of microbubble clouds in aqueous solutions – Application to wastewater. *Chemical Engineering Science*, 257, 117693. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2022.117693>
- [11] Temesgen, T., Bui, T. T., Han, M., Kim, T. il, & Park, H. (2017). Micro and nanobubble technologies as a new horizon for water-treatment techniques: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 246, 40–51. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.06.011>
- [12] Wagner, J., Weissbrodt, D. G., Manguin, V., Ribeiro da Costa, R. H., Morgenroth, E., & Derlon, N. (2015). Effect of particulate organic substrate on aerobic granulation and operating conditions of sequencing batch reactors. *Water Research*, 85, 158–166. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.08.030>
- [13] George Tchobanoglous, H. David Stensel, Ryujiro Tsuchihashi, Franklin Burton, Mohammad Abu-Orf, Gregory Bowden, & William Pfrang. (2014). *Wastewater Engineering - Metcalf and Eddy - Treatment and Resource Recovery*.
- [14] Pambudiarto, B. A., Mindaryani, A., Deendarlianto, & Budhijanto, W. (2020). Evaluation of the effect of operating parameters on the performance of orifice/porous pipe type micro-bubble generator. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 52(2), 196–207. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2020.52.2.5>
- [15] Agarwal, A., Ng, W. J., & Liu, Y. (2011). Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment. *Chemosphere*, 84(9), 1175–1180. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.05.054>