

Received : September 2019

Accepted : October 2019

Published : October 2019

Estimasi Koefisien Transfer Oksigen (K_La) pada Metode Aerasi *Fine Bubble Diffuser* : Studi Kasus Pengolahan Air Lindi TPA Manggar Kota Balikpapan

Muhammad Ma'arij Harfadli^{1*}, M. Nur Ibnu Luthfi Saud², Indah Chairun Nikmah³

^{1,2,3} Teknik Lingkungan, Jurusan Ilmu Kebumihan dan Lingkungan, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan

E-mail: maarijharfadli@itk.ac.id

Abstract

Leachate is a liquid from the decomposition of waste material in landfills. Leachate can be dangerous if it flows into the ground, consequently making pollution on soil and groundwater. Due to its harmful to the environment, therefore treatment of the leachate is needed. The increase in dissolved oxygen is one of the aerobic treatment processes needed for leachate. In this study, the method of increasing dissolved oxygen (DO) uses a fine bubble diffuser. According to the problem, the purpose of this study is to determine the effect of using a fine bubble diffuser in leachate water treatment by calculating the amount of DO and the oxygen transfer coefficient (K_La) that occurs. In this study, using variations of diameter nozzle diffuser 1.5 mm, 2 mm and 3 mm. The results from this study are the DO concentration to increase based on aeration time. DO concentration with maximum aeration time of 20 minutes at nozzle diameter 1.5 mm, 2 mm, 3 mm, respectively are 1.4 mg/l; 0.7 mg/l; 0.8 mg/l. The results of K_La at nozzle diameter 1.5 mm, 2 mm, 3 mm sequentially are 0.65 / hour; 0.34 / hour; 0.34 / hour. These results indicate that the K_La value decreased. In conclusion, decreased K_La indicates that the oxygen condition in leachate approaches saturated conditions or in other words that the DO concentration is relatively increased with time during aeration.

Keywords: Aeration, Dissolved Oxygen, Fine Bubble Diffuser, Oxygen Transfer Coefficient

Abstrak

Air lindi merupakan cairan hasil dekomposisi material sampah yang ada di landfill. Air lindi dapat menjadi berbahaya jika meresap ke dalam tanah sehingga menyebabkan pencemaran tanah dan air tanah. Dikarenakan sifatnya yang berbahaya bagi lingkungan maka diperlukan pengolahan terhadap air lindi tersebut. Peningkatan oksigen terlarut merupakan salah satu proses pengolahan aerobik yang diperlukan bagi air lindi. Pada penelitian ini metode peningkatan oksigen terlarut (DO) menggunakan *fine bubble diffuser* sehingga tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh penggunaan *fine bubble diffuser* dalam pengolahan air lindi dengan menghitung jumlah DO dan koefisien transfer oksigen (K_La) yang terjadi. Dalam penelitian ini menggunakan variasi lubang/*nozzle diffuser* yaitu 1,5 mm, 2 mm dan 3 mm untuk mengolah air lindi TPA Manggar Kota Balikpapan. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah secara keseluruhan konsentrasi DO semakin meningkat berdasarkan waktu aerasi, sementara konsentrasi maksimum DO dengan waktu aerasi 20 menit pada diameter *nozzle* 1,5 mm adalah 1,4 mg/l, diameter *nozzle* 2 mm adalah 0,7 mg/l dan diameter *nozzle* 3 mm adalah 0,8 mg/l. Adapun hasil K_La pada 1,5 mm adalah 0,65/jam; 2 mm adalah 0,34/jam; 3 mm 0,34/jam. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai K_La mengalami penurunan. K_La yang semakin menurun meindikasikan bahwa kondisi oksigen dalam air lindi mendekati kondisi jenuh atau dengan kata lain bahwa konsentrasi DO relatif meningkat terhadap waktu pada saat aerasi.

Kata Kunci : Aerasi, Oksigen Terlarut, *Fine Bubble Diffuser*, Koefisien Transfer Oksigen

1. Pendahuluan

Air lindi (*leachate*) adalah cairan yang merembes melalui tumpukan sampah dengan membawa materi terlarut atau tersuspensi terutama hasil proses dekomposisi materi sampah [1]. Lindi dapat meresap ke dalam tanah yang menyebabkan pencemaran tanah dan air tanah secara langsung maupun tidak langsung dikarenakan di dalam air lindi terdapat berbagai senyawa kimia organik dan

anorganik serta sejumlah patogen. Untuk menanggulangi permasalahan lindi diperlukan upaya pengolahan lindi di lokasi TPA (Tempat Pembuangan Akhir).

Salah satu metode pengolahan air lindi adalah dengan cara aerasi. Aerasi dengan metode *fine bubble diffuser* yaitu melakukan transfer oksigen dari udara bertekanan dan diinjeksikan ke dalam air. Proses injeksi berlangsung dalam sebuah reaktor

menggunakan *diffuser* berpori berbentuk *tube*/tabung dan *disk*. Udara yang keluar dari *diffuser* akan berbentuk gelembung udara yang akan menyebabkan peningkatan turbulensi air dan dengan ukuran yang kurang lebih sama. Sehingga disebut dengan *fine bubble diffuser* [2].

Fungsi utama aerasi dalam pengolahan air adalah melarutkan oksigen ke dalam air untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air, dalam campuran tersuspensi lumpur aktif dalam bioreaktor dan melepaskan kandungan gas-gas yang terlarut dalam air, serta membantu pengadukan air [3].

Dalam proses aerasi terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi perpindahan oksigen, diantaranya sebagai berikut.

1. Koefisien transfer gas (K_La) meningkat seiring dengan kenaikan suhu, karena suhu dalam air akan mempengaruhi tingkat difusi, tegangan permukaan dan kekentalan air. Kemampuan difusi oksigen meningkat dengan peningkatan suhu, sedang tegangan permukaan dan kekentalan menurun seiring dengan kenaikan suhu.
2. Kejenuhan Oksigen
3. Konsentrasi jenuh oksigen (C_s) dalam air tergantung pada suhu dan tekanan parsial oksigen yang berkontak dengan air. Dimana nilai C_s pada tekanan barometric dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$C_s = C_s(760) \frac{P-p}{760-p} \dots\dots\dots (1).$$

P menyatakan tekanan barometrik dalam mmHg dan p menyatakan tekanan jenuh uap air pada suhu air yang diaerasi.

4. Karakteristik Air
5. Turbulensi Air

Pada aerasi secara difusi, sejumlah udara dialirkan ke dalam air lindi melalui *diffuser*. Udara yang masuk ke dalam air lindi nantinya akan berbentuk gelembung-gelembung (*bubbles*). Gelembung yang terbentuk dapat berupa gelembung halus (*fine bubbles*) atau kasar (*coarse bubbles*). Hal ini tergantung dari jenis dan ukuran *diffuser* yang digunakan [4].

Koefisien transfer gas didefinisikan sebagai proses dimana gas dipindahkan dari suatu fase ke fase lainnya, biasanya dari fase gas ke fase cair. Transfer gas melibatkan terjadinya kontak antara udara atau gas lain dengan air yang menyebabkan berpindahnya suatu senyawa dari fase gas ke fase cair atau menguapnya suatu senyawa dari fase cair (dalam bentuk terlarut) menjadi fase gas lepas ke udara. Mekanisme transfer gas terjadi secara difusi. Kelarutan gas dalam air dipengaruhi oleh suhu air, tekanan parsial gas dalam fase gas, konsentrasi padatan yang terlarut dalam air dan komposisi kimia gas [5].

Bila permukaan air dipaparkan dengan udara atau gas dan belum terjadi kesetimbangan sebelumnya, maka secara serentak dan segera pada bidang kontak antar fase akan terjadi kejenuhan dengan gas dan gas ditransportasikan ke badan air dengan proses difusi molekuler sebagai berikut.

Hubungan antara konsentrasi dengan waktu dinyatakan dengan persamaan diferensial:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = K_L a (C_s - C) \dots\dots\dots (2).$$

dimana :

K_La = koefisien transfer total,
 C_s = konsentrasi gas jenuh, mg/l
 C = konsentrasi gas di cairan, mg/l

K_La merupakan koefisien transfer gas secara keseluruhan dan memiliki satuan per waktu.

Adapun penelitian sebelumnya dalam proses aerasi yang telah dilakukan oleh Al-Ahmady (2005), menggunakan *diffuser aerator*. Bahwa kedalaman air dan luas area permukaan pada *diffuser* berpengaruh signifikan. Nilai kapasitas transfer oksigen (OC) dan efisiensi (E) berada dalam rentang dari 18-170 gr/m³ dan 2-17 gr/m³ [6].

Berdasarkan Rosariawati (2005), melakukan penelitian pengolahan air tanah menggunakan proses aerasi dengan *Micro Bubble Generator* (MBG) menyatakan konsentrasi oksigen terlarut dipengaruhi oleh waktu aerasi, tekanan dan debit udara. Hasil penelitiannya menunjukkan kondisi tertinggi yaitu pada waktu tinggal 50 menit dan pada

tekanan terendah yaitu 3 Psi serta pada debit terkecil yaitu $0.00007 \text{ m}^3/\text{det}$ [7].

Berdasarkan Wicaksono (2019) dalam penelitiannya karakteristik aerasi menggunakan proses aerasi menggunakan *Micro Bubble Generator* menyatakan bahwa transfer oksigen di dalam air dipengaruhi oleh ukuran nosel, diameter nosel yang paling optimum dalam mentransfer oksigen pada air yaitu 1,0 mm [8].

Walaupun penelitian mengenai aerasi telah banyak dilakukan baik mengenai jenis dan desain aerasi yang diterapkan pada pengolahan air bersih maupun air limbah. Akan tetapi penelitian terkait aplikasi aerasi khususnya jenis *fine bubble diffuser aeration* terhadap air lindi atau leachate masih jarang dilakukan. Sehingga berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini akan memanfaatkan metode aerasi dengan jenis *fine bubble diffuser aeration* yang dilakukan terhadap air lindi dengan mevariasikan desain *diffuser* yaitu diameter *nozzle diffuser*.

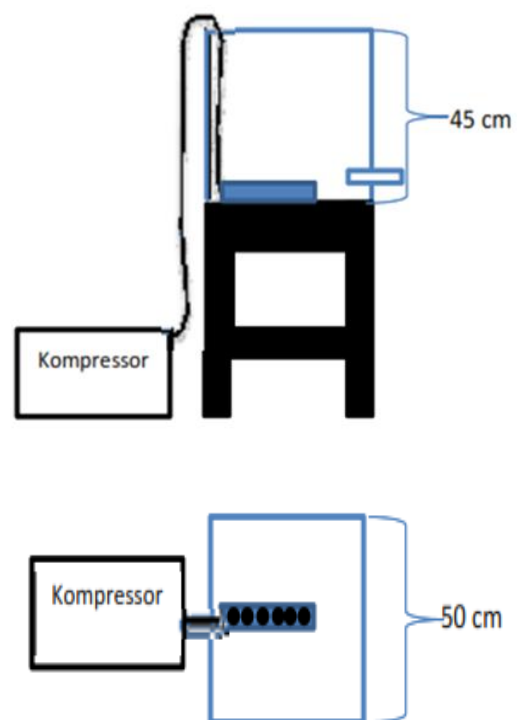
Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan sebelumnya didapatkan tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh penggunaan *fine bubble diffuser* dalam pengolahan air lindi dengan menghitung jumlah oksigen terlarut dan koefisien transfer oksigen yang terjadi.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan air lindi sebagai air limbah yang akan diuji dengan metode transfer gas untuk mengetahui kandungan DO (*Dissolved Oxygen*) atau oksigen terlarut pada air lindi TPA Manggar Kota Balikpapan dengan metode *fine bubble diffuser*.

Penelitian ini menggunakan beberapa variabel. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu konsentrasi DO terlarut yang dihasilkan selama proses aerasi. Variabel bebas yang digunakan yaitu tekanan udara sebesar 1 bar, ukuran lubang/*nozzle diffuser* sebesar 1,5 mm; 2mm dan 3mm serta waktu percobaan selama 5 menit, 10 menit, 15 menit dan 20 menit hingga konsentrasi DO dalam reaktor jenuh. Selain itu variabel kontrol berupa kedalaman air lindi dalam reaktor sedalam 20 cm dan volume sebanyak 50 liter.

Langkah awal yang dilakukan adalah dengan mempersiapkan alat dan bahan berupa reaktor berbahan kaca bening dengan ukuran panjang 50 cm, lebar 50 cm dan tinggi 45 cm dengan daya tampung maksimal 112,5 liter. Setelah itu membuat variasi lubang/*nozzle diffuser* berbahan pipa PVC sepanjang 30 cm dengan diameter 1,5 mm; 2 mm dan 3 mm serta melengkapi alat pendukung lainnya berupa kompresor $\frac{3}{4}$ bertekanan 8 bar beserta selang penghubung. Adapun bahan yang digunakan adalah Natrium Sulfit (Na_2SO_3) untuk menurunkan nilai DO hingga menjadi 0(nol) mg/l.



Gambar 1. Skema alat

Tahapan selanjutnya merakit alat-alat ke dalam reaktor, kemudian memasukkan air lindi ke dalam reaktor sebanyak 50 liter. Pastikan *diffuser* berada pada bagian tengah reaktor agar udara dapat mengalir secara merata. Setelah itu lakukan pengukuran terhadap kedalaman air lindi di dalam reaktor, tekanan udara dan konsentrasi DO awal pada air lindi. Sebelum kompresor dinyalakan, tambahkan Natrium Sulfit (Na_2SO_3) dan pastikan konsentrasi DO dalam air limbah bernilai 0 mg/l. Selanjutnya nyalakan kompresor selama waktu yang ditentukan dengan tekanan 1 bar. Lakukan perhitungan

nilai DO dengan beberapa kali pengulangan dalam interval waktu 5 menit hingga nilai DO tidak mengalami perubahan yang signifikan menggunakan DO Meter Lutron 5509.

Setelah nilai DO didapatkan maka dapat menentukan K_{La} . Nilai K_{La} dapat ditentukan dalam skala percobaan dengan melakukan integrasi terhadap persamaan (1) sehingga diperoleh persamaan garis lurus sebagai berikut.

$$\ln (C_s - C_t) = \ln (C_s - C_i) - K_{La} \cdot t \dots (3).$$

Namun untuk mempermudah perhitungan maka dapat dilakukan secara kuantitatif dengan menggunakan *software* Microsoft Excel. Data yang didapatkan diolah dan disajikan dalam bentuk grafik regresi linier agar mengetahui besaran nilai K_{La} atau transfer gas yang dipengaruhi oleh waktu dan variasi diameter *diffuser* yang digunakan.

3. Hasil Penelitian

Hasil dari penelitian yang dilakukan dapat diketahui bahwa nilai dari DO pada air lindi mengalami peningkatan pada setiap variasi lubang/*nozzle diffuser* yang digunakan. Adapun hasil tersebut terlihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Hasil konsentrasi *Dissolved Oxygen* dengan menggunakan *fine bubble diffuser*

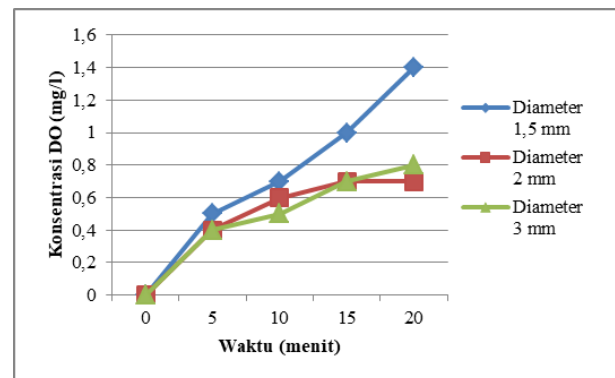
No.	Waktu (menit)	Konsentrasi DO(mg/L)		
		1,5 mm	2 mm	3 mm
1	0	0,0	0,0	0,0
2	5	0,5	0,4	0,4
3	10	0,7	0,6	0,5
4	15	1,0	0,7	0,7
5	20	1,4	0,7	0,8

Berdasarkan tabel 1, diketahui bahwa semakin lama proses aerasi maka konsentrasi DO dalam air lindi akan semakin meningkat. Sejalan dengan penelitian Rosariawari (2005), bahwa kecenderungan DO akan semakin meningkat pada waktu detensi yang semakin lama [7]. Adapun konsentrasi maksimum DO pada waktu aerasi maksimum 20 menit dengan diameter *nozzle* 1,5 mm menghasilkan konsentrasi DO sebesar 1,4 mg/l, diameter *nozzle* 2 mm menghasilkan konsentrasi DO

sebesar 0,7 mg/l dan diameter *nozzle* 3 mm sebesar 0,8 mg/l.

Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh peningkatan temperatur yang lambat, dimana kemampuan difusi oksigen akan meningkat dengan kenaikan temperatur dan tegangan permukaan serta kekentalan akan menurun seiring kenaikan temperatur [9]. Namun harus diperhatikan bahwa konsentrasi DO dalam air akan menjadi jenuh jika kadar oksigen dalam air sudah terlalu tinggi.

Hasil uji DO pada setiap ukuran *diffuser* yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik hubungan konsentrasi DO dan waktu aerasi pada setiap ukuran *diffuser*.

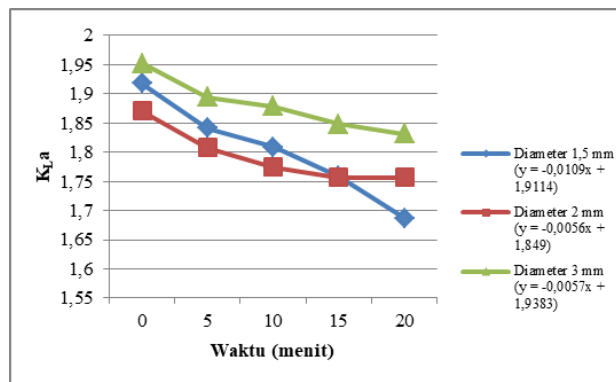
Tabel 1 juga memperlihatkan bahwa ukuran diameter lubang/*nozzle diffuser* juga mempengaruhi konsentrasi oksigen terlarut. Konsentrasi DO semakin besar pada lubang/*nozzle diffuser* dengan ukuran paling kecil yaitu 1,5 mm. Sejalan dengan penelitian navisa, et al mengenai *Effect of Bubble Size on Aeration Process* yang menyatakan bahwa semakin kecil diameter lubang/*nozzle diffuser* yang digunakan maka akan semakin lama waktu tinggal gelembung di air dan semakin besar pula difusi oksigen dari udara ke dalam air yang terjadi untuk memaksimalkan proses aerasi [10].

Berdasarkan tabel 1 juga dapat di hitung nilai K_{La} dengan cara nilai $\ln (C_s - C)$ diplotkan kedalam grafik untuk mendapatkan nilai K_{La} pada setiap variasi diameter lubang/*nozzle diffuser* yang digunakan dan didapatkan nilai sebagai berikut.

Tabel 2. Nilai K_{La} berdasarkan variasi lubang/nozzle diffuser

No.	Diffuser (mm)	In (Cs-C)	K_{La} (menit)	K_{La} (jam)
1	1,5	1,80275	0,0109	0,65
2	2	1,79333	0,0056	0,34
3	3	1,88086	0,0057	0,34

Untuk mempermudah analisis data, maka nilai K_{La} dimasukkan ke dalam grafik pada Gambar 3.

Gambar 3. Grafik K_{La} transfer oksigen.

Tabel 2 menunjukkan bahwa koefisien transfer oksigen paling besar terdapat pada variasi lubang/nozzle diffuser 1,5 mm yaitu sebesar 0,65/jam. Sedangkan koefisien transfer oksigen untuk lubang/nozzle diffuser 2 mm dan 3 mm mempunyai nilai yang sama yaitu 0,34/jam. Hasil K_{La} ini menandakan bahwa diameter lubang/nozzle dari diffuser mempunyai pengaruh terhadap besarnya transfer oksigen pada proses aerasi. Hal ini disebabkan semakin kecil diameter lubang nozzle akan menghasilkan turbulensi semakin besar. Sesuai pernyataan Benfield (1985), bahwa turbulensi akan meningkatkan laju pergantian transfer oksigen di permukaan bidang kontak, yang berakibat seluruh bidang kontak akan tetap konstan menangkap oksigen hingga kondisi jenuh tercapai. Sehingga meningkatkan nilai koefisien transfer oksigen K_{La} [11].

Berdasarkan grafik pada gambar 3 terlihat bahwa estimasi nilai K_{La} mengalami penurunan. Hal tersebut dipengaruhi oleh selisih dari nilai $\ln(C_s - C)$. Diketahui bahwa C_s adalah konsentrasi jenuh oksigen yang dapat digunakan dan C adalah banyaknya konsentrasi oksigen saat percobaan dilakukan. Karena proses aerasi telah meningkatkan

konsentrasi oksigen dalam air lindi, maka selisih yang dihasilkan akan semakin kecil dan membuat grafik akan bergerak menurun seiring dengan lamanya proses aerasi menggunakan metode *fine bubble diffuser* [12].

Selain itu, grafik K_{La} yang semakin menurun menyatakan bahwa kondisi oksigen dalam air lindi kian lama kian mendekati kondisi jenuh atau dengan kata lain bahwa konsentrasi DO relatif meningkat terhadap waktu pada saat aerasi.

4. Kesimpulan

Peneliti mengetahui pengaruh penggunaan *fine bubble diffuser* dalam pengolahan air lindi. Semakin lama waktu yang digunakan untuk melakukan proses aerasi, maka konsentrasi DO dalam air lindi akan semakin meningkat tetapi tidak begitu signifikan. Konsentrasi DO dalam air lindi akan menjadi jenuh jika kadar oksigen dalam air lindi tidak mengalami perubahan yang signifikan. Dan terlihat bahwa nilai K_{La} mengalami penurunan dipengaruhi oleh selisih dari nilai $\ln(C_s - C)$ yang dihasilkan semakin kecil sehingga menyebabkan nilai K_{La} menurun seiring dengan lamanya proses aerasi. Hal tersebut menandakan bahwa kondisi oksigen mendekati jenuh.

5. Saran

Untuk penelitian selanjutnya, penggunaan bahan kimia seperti Natrium Sulfit (Na_2SO_3) sebaiknya dilakukan pengukuran agar takaran yang digunakan sesuai.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah memberikan hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP).

7. Daftar Pustaka

1. E. Damanhuri, *Diktat Pengelolaan Sampah. Teknik Lingkungan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung (ITB), 2010.
2. Haryanto, Edi dan Irene Arum AS, Retno S. 2005. "Pengaruh Bentuk

- Difusser Terhadap Transfer Oksigen”. *Jurnal Rekayasa Perencanaan*, Vol.2, No.1. 2005.
3. N. Awaluddin, “Teknologi Pengolahan Air Tanah Sebagai Sumber Air Minum Pada Skala Rumah Tangga,” in *Seminar Peran Mahasiswa Dalam Aplikasi Keteknikan Menuju Globalisasi Teknologi UII 2007*, 2007.
 4. R. Fauzi, Firstselanisa, F. Surya. 2013. “Praktikum Pengolahan Limbah”. Politeknik Negeri Bandung: Bandung.
 5. A. Masduqi, dan A. Slamet. *Satuan Operasi Untuk Pengolahan Air*. Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2002.
 6. K.K. Al-ahmady, “Analysis of Oxygen Transfer Performance on Sub-surface Aeration Systems”. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol.3, No.3, pp.301-308. 2006.
 7. F. Rosariawari. “Pengaruh Polutan Organik Terhadap Koefisien Perpindahan Massa Volumetrik Oksigen – Air Pada Kolom Gelembung”. *Jurnal Rekayasa Perencanaan*, Vol.1, No.2, 2005.
 8. M.S. Wicaksono. *Karakteristik Aerasi dengan Variasi Diameter Nosel*, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jember, 2019.
 9. S. Abuzar, Y. Putra, R. Emargi, “Koefisien Transfer Gas pada Proses Aerasi Menggunakan Tray Aerator Bertingkat 5(Lima)”. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*, Vol.9, No.2, pp.155-163. 2012
 10. J. Navisa, T. Sravya, M. Swetha, M. Venkatesan. “Effect of Bubble Size on Aeration Process”. *Asian Journal of Scientific Research*, Vol. 7, No. 4, pp. 482-487. 2014.
 11. L.D. Bennefield, C.W. Randall, *Biological Process Design for Wastewater Treatment*. Australia: Charlottesville, Va. :Teleprint Publishing, 1985.
 12. C.D. De Moyer, L.E. Schierholz. J.S. Gulliver, S.C.. Wilhelms.. “Impact of bubble and free surface oxygen transfer on diffused aeration systems”. *Water Research*, 37, pp.1890-1904. 2002.