

KOEFISIEN TRANSFER GAS (K_{La}) PADA PROSES AERASI MENGUNAKAN TRAY AERATOR BERTINGKAT 5 (LIMA)

GAS TRANSFER COEFFICIENT (K_{La}) IN AERATION PROCESS USING 5 (FIVE) STOREY TRAY AERATOR

Suarni Saidi Abuzar, Yogi Dwi Putra, Reza Eldo Emargi
Laboratorium Air Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Andalas
E-mail: suarni_sa@ft.unand.ac.id

ABSTRAK

Aerasi merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menyisihkan kandungan logam dalam air, baik air tanah, air permukaan, maupun air limbah. Salah satu jenis aerator dalam proses aerasi adalah tray aerator. Untuk menganalisis nilai koefisien transfer gas (K_{La}) pada proses aerasi khususnya tray aerator bertingkat 5 (lima) dengan jarak antar tray 25 cm dan tinggi total 125 cm, perlu dilakukan penelitian dengan tujuan untuk memperoleh nilai K_{La} . Air dialirkan ke dalam tray aerator bertingkat 5 (lima) dan diukur kandungan Dissolved Oxygen (DO) dengan metode water quality checker. Hasil penelitian menunjukkan terjadi peningkatan konsentrasi oksigen pada sampel setelah dilakukan aerasi dengan tray aerator bertingkat 5 (lima) dari 5,97 mg/L menjadi 6,34 mg/L dengan nilai koefisien transfer gas (K_{La}) sebesar 0,045/menit.

Kata kunci: Tray Aerator bertingkat 5, Aerasi, Koefisien transfer gas (K_{La})

ABSTRACT

Aeration method is one method for removing metal from water including groundwater, surface water and wastewater. One of known aerator is method is tray aerator. For analyzing gas transfer coefficient (K_{La}) in aeration method especially in five storey tray aerator with the distance between each aerator was 25 cm and total height was 125 cm. water was discharged in five storey tray aerator and was measured the dissolved oxygen concentration by using water quality checker method. Result showed the increase of oxygen concentration in sample after being aerated in five storey tray aerator, from 5.97 mg/L to 6.34 mg/L with gas transfer coefficient (K_{La}) 0.045/min.

Keywords: Aeration, Five story aerator, Gas transfer coefficient (K_{La})

PENDAHULUAN

Aerasi merupakan istilah lain dari tranfer gas, lebih dikhususkan pada transfer gas oksigen atau proses penambahan oksigen ke dalam air. "Keberhasilan proses aerasi tergantung pada besarnya nilai suhu, kejenuhan oksigen, karakteristik air dan turbulensi air. Beberapa jenis *aerator* yang digunakan dalam proses aerasi adalah *diffuser aerator*, mekanik aerator, *spray aerator*, dan aerator gravitasi" (Benefield, 1980). Proses aerasi dapat digunakan untuk pengolahan air minum maupun air buangan diantaranya menurunkan kandungan besi (Fe) dan mangan (Mn) terlarut dalam air.

Belum banyak literatur dan penelitian yang dapat menggambarkan lebih detail proses aerasi terkait dengan jenis aerator dan faktor yang mempengaruhi kelarutas gas dalam air. Sehubungan dengan itu perlu dilakukan penelitian-penelitian terkait proses aerasi dengan variasi yang lain. Salah satunya menggunakan jenis aerator gravitasi berupa *tray aerator* bertingkat lima.

Tray aerator merupakan bagian dari jenis aerator gravitasi yang terdiri dari 4 atau 5 tray horizontal dengan lubang kecil pada jarak tertentu. Transfer gas didefinisikan sebagai proses dimana gas dipindahkan dari suatu fase ke fase lainnya, biasanya dari fase gas ke fase cair (Metcalf dkk, 1991). 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 (Benefield, 1980).

Faktor utama yang mempengaruhi kelarutan gas dalam air adalah suhu air, tekanan parsial gas dalam fase gas, konsentrasi padatan terlarut dalam fase air dan komposisi kimia gas. Kelarutan gas menurun seiring dengan kenaikan suhu. Pada tekanan parsial sampai 1 atm, konsentrasi keseimbangan gas dalam larutan pada suatu suhu tertentu sebanding dengan tekanan parsial gas dalam air (Benefield, 1980).

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 (Benefield, 1980):

Hubungan antara konsentrasi dengan waktu dinyatakan dengan persamaan diferensial:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K_{La} (C_S - C) \dots \dots \dots (1)$$

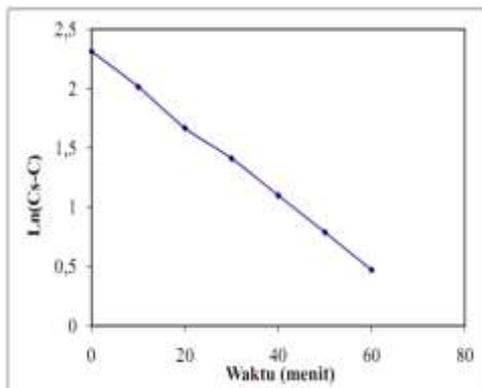
dimana:

- K_{La} = koefisien transfer total, jam⁻¹
- 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 ($time^{-1}$). Nilai K_{La} dapat ditentukan dalam skala percobaan dengan melakukan integrasi terhadap persamaan (1) sehingga diperoleh persamaan garis lurus sebagai berikut.

$$\ln (C_S - C_t) = \ln (C_S - C_i) - K_{La} \cdot t \dots \dots \dots (2)$$

Dari data percobaan dengan konsentrasi awal oksigen C_s dan konsentrasi oksigen dalam interval waktu percobaan C ,



kemudian dapat di *plot* ke dalam grafik $\ln(C_s - C)$ Vs *time* (t), maka diperoleh garis lurus dengan besarnya sudut arah (*slope*) adalah K_{La} (Benfield, 1980). Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1. Grafik Hubungan Waktu dengan $\ln(C_s - C)$

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 (Awaluddin, 2007).

Dalam proses aerasi terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi perpindahan oksigen, diantaranya sebagai berikut (Benfield, 1980):

1. Suhu

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. Secara teoritis konsentrasi oksigen terlarut dalam air pada tekanan 760 mmHg dapat diketahui melalui Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Konsentrasi Oksigen Terlarut Jenuh pada Tekanan 760 mmHg

Suhu	DO
23	8,68
24	8,53
25	8,38
26	8,22
27	8,07
28	7,92
29	7,77
30	7,63

Sumber : Bennefield, 1980

Dan nilai C_s pada tekanan barometrik dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Benfield, 1980):

$$C_s = (C_s)_{760} \frac{P - p}{760 - p} \dots\dots\dots(3)$$

P menyatakan tekanan barometrik dalam mmHg dan p menyatakan tekanan jenuh uap air pada suhu air yang diaerasi. Tekanan jenuh uap air pada berbagai suhu disampaikan pada Tabel 2.

4. Karakteristik Air

Dalam praktik ada perbedaan nilai K_{La} untuk air bersih dengan K_{La} air limbah yang mengandung materi tersuspensi, surfaktan (detergen) dalam larutan dan perbedaan temperatur. Faktor-faktor ini juga mempengaruhi nilai C_s .

5. Turbulensi Air

Turbulensi akan menurunkan derajat tahanan *liquid – film*, laju perpindahan masa oksigen karena terjadi percepatan laju pergantian permukaan bidang kontak, yang berakibat pada defisit oksigen (*driving-force*, ΔC) tetap terjaga konstan, serta akan meningkatkan nilai koefisien perpindahan oksigen (K_{La}).

Tabel 2. Tekanan Uap Air yang Berkontak dengan Udara

Suhu (°C)	Tekanan Uap Jenuh /(mmHg)
0	4
5	6
10	9
15	12
20	17
25	23
30	31

Sumber: *Benfield, 1980*

Penelitian terkait dengan proses aerasi adalah:

1. Penelitian Kim (2001), untuk jenis aerator terjunan menggunakan bendungan dengan variasi ratio penurunan (r) sebagai fungsi dari kedalaman semburan air (H) dengan variasi debit dan variasi ketinggian bending dengan kesimpulan bahwa kedalaman semburan air sangat penting untuk memprediksi transfer oksigen.
2. Penelitian Al-Ahmady (2005) menggunakan diffuser aerator. Hasil penelitian bahwa kedalaman air dan luas area permukaan pada diffuser berpengaruh signifikan. Nilai kapasitas transfer oksigen (OC) dan efisiensi (E) berada dalam rentang dari 18-170gr/m³ dan 2-17 gr/ m³.

3. Penelitian Thakre (2008) menggunakan *mechanical aerator* untuk proses *oxidation-dict* dengan variasi kecepatan, kedalaman aerator dan mixing sudut ujung *blade*. Nilai K_{La} optimum diperoleh 10,33/hour (0,17/menit) dan efisiensi aerator 2,269 kg O₂/kWh.

4. Penelitian Winda (2003) studi penurunan besi (Fe) dan Mangan (Mn) menggunakan *cascade aerator* dan Rapid Sand Filter pada air sumur gali dengan variasi konsentrasi Fe 1,16 mg/l dan Mn 2,00 mg/l. Penyisihan besi (Fe) dan Mangan (Mn) paling tinggi pada *cascade aerator* 39,4% untuk Fe dan 97,1% untuk Mn pada 5 mg/l sampel buatan menggunakan aeolit untk air sumur gali 91,1% untuk Fe dan 93,5% untuk Mn.

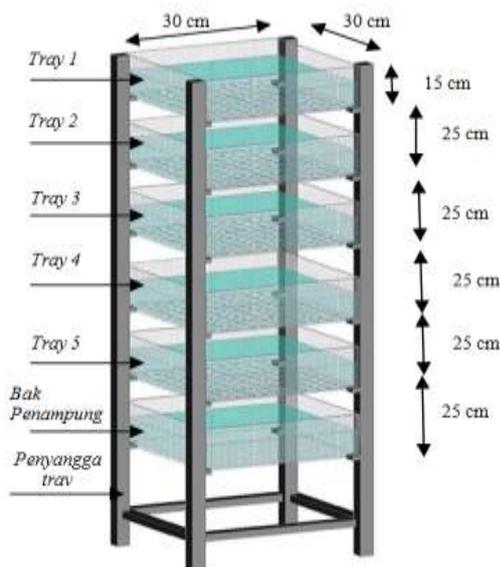
5. Berdasarkan penelitian Putra F.Y (2011) pada *tray aerator* satu tingkat diperoleh lubang *tray* optimum sebesar 9 mm dari variasi diameter lubang *tray* 9 mm, 10 mm, 11 mm, 12 mm, dan 13 mm. Nilai K_{La} untuk variasi konsentrasi 1 mg/l, 3 mg/l, 5 mg/l, 7 mg/l dan 10 mg/l berkisar antara 0,037/menit hingga 0,807/menit.
6. Menurut Novia F (2011) ketinggian *tray* optimum sebesar 125 mm dari variasi ketinggian *tray* 25 cm, 50 cm, 75 cm, 100 cm, dan 125 cm. Nilai K_{La} untuk variasi konsentrasi 1 mg/l, 3 mg/l, 5 mg/l, 7 mg/l dan 10 mg/l berkisar antara 0,010/menit hingga 0,040/menit.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis nilai koefisien transfer gas (K_{La}) pada proses aerasi menggunakan *tray aerator* bertingkat 5 (lima) dan

membandingkannya dengan *tray aerator* satu tingkat dan aerator lain yang terlebih dahulu diteliti.

METODOLOGI

Penelitian dilakukan di ruang penelitian Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Andalas (Unand). Untuk mengurangi tingkat kesalahan data, percobaan dilakukan sebanyak 3 kali percobaan. Pengukuran nilai *Dissolved Oxygen* (DO), tekanan udara dan suhu air dilakukan tiap 30 detik selama 4 menit percobaan aerasi. Bentuk *tray aerator* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Tray Aerator*

Beberapa alat dan bahan yang digunakan dalam percobaan adalah sebagai berikut:

1. *Tray aerator* bertingkat 5 (lima);
2. *DO meter*;
3. *Stopwatch*;
4. *Pocket Weather Men*;
5. *Beaker Glass*;
6. Botol Sampel.

Sedangkan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Sampel air tanah Rumah Makan Pondok Ikan Bakar Jalan Khatib Sulaiman Padang;
2. Asam Nitrat (HNO_3).

Berikut adalah langkah kerja dalam percobaan:

1. Ukur tekanan atmosfer dengan *Pocket Weather Men*;
2. Ukur temperatur sampel dengan menggunakan *DO meter*;
3. Ukur DO awal sampel dengan menggunakan *DO meter*;
4. Masukkan 2 liter sampel ke dalam *beaker glass* dan alirkan larutan berlahan ke dalam *tray*;
5. Hitung DO larutan sampel pada bak penampung dengan *DO meter* tiap 30 detik selama 4 menit percobaan aerasi.

Data DO hasil pengukuran selama percobaan ditentukan menggunakan persamaan 3, didapatkan nilai C_s . Nilai C_s yang didapat dipengaruhi oleh suhu air, nilai oksigen terlarut jenuh pada tekanan udara standar (760 mmHg), tekanan udara barometrik, dan tekanan uap jenuh air. Hubungan antara suhu air dan konsentrasi oksigen terlarut jenuh dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan tekanan uap jenuh air dapat dilihat pada Tabel 2.

Nilai koefisien transfer oksigen (K_{La}) pada masing-masing percobaan diolah dengan cara menghitung nilai selisih konsentrasi DO jenuh dengan konsentrasi DO pada waktu tertentu ($C_s - C$) seperti terlihat pada Tabel 3. Fungsi $\ln(C_s - C)$ dan waktu pengukuran diplotkan kedalam grafik untuk menentukan nilai K_{La} , seperti yang terlihat pada Gambar 1. Nilai K_{La} sama dengan besarnya nilai kemiringan (*slope*) garis linier yang terbentuk.

Tabel 3. Selisih Konsentrasi DO Jenuh Dengan DO Pada Waktu Tertentu (Cs-C)

Waktu (Menit)	Cs-C(mg/L)
1	$\Delta C1$
2	$\Delta C2$
3	$\Delta C3$
4	$\Delta C4$
N	ΔCn

Sumber : Benefield, 1980

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tekanan Udara Saat Percobaan

Elevasi dan lokasi percobaan mempengaruhi tekanan udara, suhu air dan kelarutan Cs. Lokasi percobaan terletak pada ketinggian kurang lebih 200 meter dari permukaan laut, memiliki tekanan udara lebih rendah dari tekanan udara standar (760 mmHg), yaitu antara 729,488 sampai 729,742 mmHg. Tekanan udara yang berada dibawah tekanan udara standar mempengaruhi suhu air di lokasi percobaan, yaitu sebesar 22,9 sampai 23,3 °C pada pagi hari.

Koefisien Transfer Gas (K_{La})

Koefisien transfer gas (K_{La}) merupakan koefisien transfer gas secara keseluruhan yang memiliki satuan per waktu ($time^{-1}$). Pada perhitungan nilai K_{La} diperlukan data primer konsentrasi DO (mg/L), suhu air (°C), dan tekanan udara (mmHg). Data konsentrasi DO selama percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.

Dari Tabel 4 terlihat bahwa konsentrasi DO yang terukur dari tiap percobaan relatif naik. Konsentrasi DO yang terendah adalah 5,9 mg/L pada menit awal saat percobaan ketiga, sedangkan konsentrasi DO tertinggi sebesar 6,39 mg/L saat menit terakhir (menit ke- 4) pada percobaan kedua.

Tabel 4. Konsentrasi DO Saat Aerasi

Percobaan	Waktu (Menit)	Konsentrasi DO (mg/L)
Percobaan Pertama	0	5,97
	0,5	6,07
	1	6,09
	1,5	6,12
	2	6,24
	2,5	6,28
	3	6,31
	3,5	6,32
	4	6,34
Percobaan Kedua	0	6,1
	0,5	6,12
	1	6,13
	1,5	6,18
	2	6,24
	2,5	6,24
	3	6,31
	3,5	6,37
	4	6,39
Percobaan Ketiga	0	5,9
	0,5	5,97
	1	6,08
	1,5	6,12
	2	6,12
	2,5	6,16
	3	6,19
	3,5	6,09
	4	6,17

Konsentrasi oksigen jenuh (Cs) saat percobaan dipengaruhi oleh tekanan udara barometrik dan tekanan jenuh uap air. Hasil perhitungan nilai Cs dan Ln (Cs-C) dapat dilihat pada Tabel 5.

Pada Tabel 5 terlihat bahwa nilai Cs berada pada rentang 8,276 mg/L sampai 8,335 mg/L. Nilai ln (Cs-C) diplotkan kedalam grafik untuk mendapatkan nilai K_{La} . Untuk lebih jelasnya, penurunan nilai ln(Cs-C) dan Grafik nilai K_{La} untuk tiap percobaan dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4.

Tabel 5. Perhitungan Nilai Ln (Cs-C)

Percobaan	Waktu (Menit)	Cs (mg/L)	(Cs-C) (mg/L)	Ln (Cs-C) (mg/L)
Pengukuran Pertama	0	8,292	2.322	0,842
	0,5	8,321	2.251	0,811
	1	8,321	2.231	0,802
	1,5	8,276	2.156	0,768
	2	8,305	2,065	0,725
	2,5	8,302	2,022	0,704
	3	8,292	1,982	0,684
	3,5	8,292	1,972	0,679
	4	8,302	1,962	0,674
Pengukuran Kedua	0	8,292	2,192	0,785
	0,5	8,321	2,201	0,789
	1	8,324	2,194	0,785
	1,5	8,302	2,122	0,752
	2	8,321	2,081	0,733
	2,5	8,302	2,062	0,723
	3	8,321	2,011	0,698
	3,5	8,321	1,951	0,668
	4	8,321	1,931	0,658
Pengukuran Ketiga	0	8,335	2,435	0,890
	0,5	8,321	2,351	0,855
	1	8,321	2,241	0,807
	1,5	8,321	2,201	0,789
	2	8,321	2,201	0,789
	2,5	8,302	2,142	0,761
	3	8,321	2,131	0,756
	3,5	8,292	2,202	0,78
	4	8,302	2,132	0,757

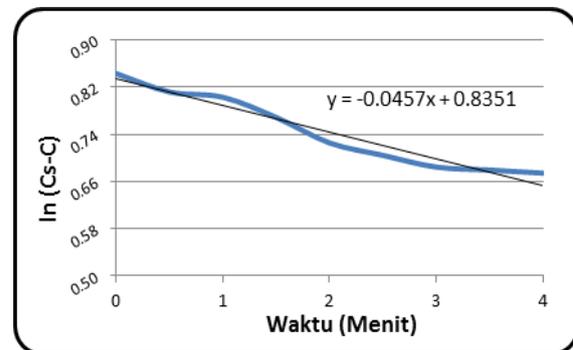
Pada Gambar 2 terlihat lebih jelas penurunan nilai ln(Cs-C) dari 0,842 mg/L ke 0,674 mg/L terhadap waktu percobaan. Nilai K_{La} pada percobaan pertama adalah 0,0457/menit.

Pada Gambar 3 juga terlihat penurunan nilai ln(Cs-C) dari 0,7850 mg/L ke 0,658. Nilai K_{La} adalah sebesar 0,0357/menit.

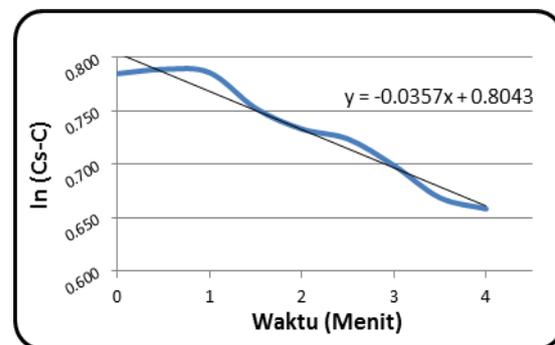
Pada Gambar 4 juga terlihat penurunan nilai ln(Cs-C) dari 0,890 mg/L ke 0,757 mg/L. Nilai K_{La} adalah sebesar 0,028/menit.

Dari ketiga grafik terlihat bahwa nilai K_{La} mengalami penurunan dari percobaan pertama sampai percobaan ketiga. Nilai K_{La} tertinggi adalah pada percobaan pertama, sebesar 0,045/menit, dan terendah pada

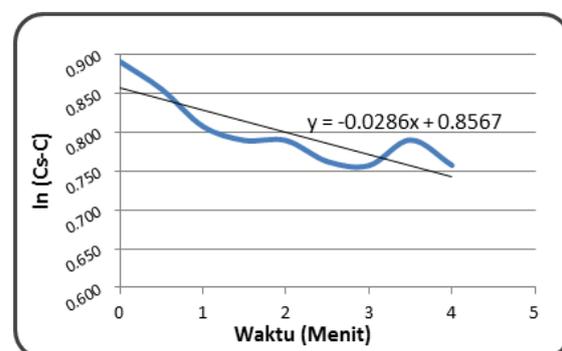
percobaan ketiga, yaitu sebesar 0,028/menit. Hal ini menandakan bahwa konsentrasi DO relatif meningkat terhadap waktu saat aerasi. Untuk lebih jelasnya nilai K_{La} masing-masing percobaan beserta nilai K_{La} rata-rata dapat dilihat pada Tabel 6.



Gambar 2. Grafik K_{La} pada Pengukuran Pertama



Gambar 3. Grafik K_{La} pada Pengukuran Kedua



Gambar 4. Grafik K_{La} Pada Pengukuran Ketiga

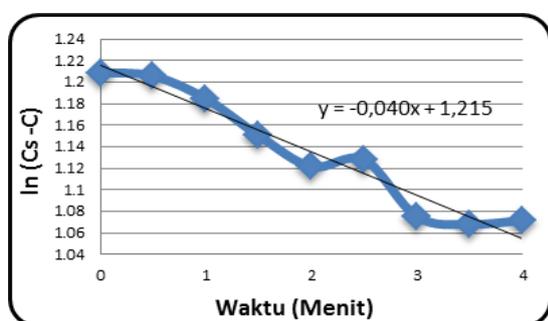
Tabel 6. Nilai K_{La} Masing-Masing Percobaan dan K_{La} Rata-Rata

Percobaan	K_{La} (Menit ⁻¹)	K_{La} Rata-Rata (Menit ⁻¹)
Percobaan Pertama	0,045	0,037
Percobaan Kedua	0,035	
Percobaan Ketiga	0,028	

Sumber : Putra (2012)

Nilai K_{La} rata-rata pada Tabel 6 diatas menunjukkan kemampuan transfer gas secara keseluruhan terhadap air, dengan nilai K_{La} rata-rata sebesar 0,037 /menit.

Penelitian Novia F (2011) pada *tray aerator* 1 (satu) tingkat, dengan ketinggian tray 125 cm, diperoleh nilai K_{La} sebesar 0,040/menit. besarnya nilai K_{La} dapat dilihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Grafik K_{La} *Tray Aerator* 1 (satu) Tingkat

Sedangkan penelitian Thakre (2008) pada *mechanical aerator* diperoleh nilai K_{La} sebesar 10,33/hour (0,17/menit).

Nilai konsentrasi oksigen terlarut (C) mengalami peningkatan dari 5,9 mg/L menjadi 6,39 mg/L selama waktu percobaan (4 menit). Kondisi ini menandakan terjadi proses transfer gas secara difusi selama aerasi, sesuai dengan pernyataan Benefield (1980) bahwa terjadi difusi antara udara dan air saat butiran air jatuh dari lubang-lubang *tray*.

Nilai K_{La} yang didapatkan dalam percobaan berada pada rentang 0,028/menit sampai 0,045/menit, cenderung menurun dari

percobaan pertama hingga percobaan ketiga. Hal ini disebabkan nilai Cs dari tiap percobaan mengalami peningkatan relatif sehingga nilai K_{La} menurun. Nilai K_{La} rata-rata adalah sebesar 0,037/menit.

Nilai K_{La} tertinggi yang diperoleh pada penelitian menggunakan *tray aerator* bertingkat 5 (lima) dengan ketinggian total 125 cm yaitu 0,045/menit, sedangkan nilai K_{La} yang diperoleh pada penelitian Novia F. menggunakan *tray aerator* satu tingkat dengan ketinggian 125 cm yaitu 0,040/menit. Kondisi ini menandakan bahwa jumlah *tray* mempengaruhi besarnya transfer oksigen pada proses aerasi. Ini disebabkan karena terjadi turbulensi pada *tray aerator* bertingkat 5 (lima). Sesuai dengan pernyataan Benefield (1980) bahwa turbulensi akan meningkatkan laju perpindahan masa oksigen karena terjadi percepatan laju pergantian permukaan bidang kontak, yang berakibat pada defisit oksigen (*driving-force*, ΔC) tetap terjaga konstan, sehingga akan meningkatkan nilai koefisien perpindahan oksigen (K_{La}). Hal ini juga terlihat pada penelitian Thakre menggunakan *mechanical aerator* dengan nilai K_{La} optimum 0,17/menit.

SIMPULAN

Nilai K_{La} tertinggi yang diperoleh pada penelitian menggunakan *tray aerator* bertingkat 5 (lima) yaitu 0,045/menit dan nilai K_{La} pada penelitian menggunakan *tray aerator* satu tingkat yaitu 0,040/menit, yang menandakan bahwa jumlah *tray* mempengaruhi besarnya transfer oksigen pada proses aerasi. Nilai K_{La} yang diperoleh dengan menggunakan *mechanical aerator* jauh lebih tinggi dibandingkan dengan *tray aerator*.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Ahmady, K.K. 2005. *Analysis of Oxygen Transfer Performance on Sub_Surface Aeration Systems*. International Journal of Environmental Reseach and Publilc Health ISSN 1661-7827 www.ijerph.org
- Awaluddin, N. 2007. *Teknologi Pengolahan Air Tanah Sebagai Sumber Air Minum Pada Skala Rumah Tangga*. Pekan Apresiasi Mahasiswa LEM-FTSP UII Seminar "Peran Mahasiswa Dalam Aplikasi Keteknikan Menuju Globalisasi Teknologi". Universitas Islam Indonesia
- Bennefield, L.D; Randall, C.W. 1980. *Biological Process Design for Wastewater Treatment*, Prentice-Hall, Inc, Englewwod Cliffs, NJ 07632.
- Kim, Jeongkon. 2001. *Oxygen Transfer At Low Drop Weirs*. 604/Journal Of Environmental Engineering.
- Metcalf dkk. 1991. *Waste Water Engineering : Treatment Disposal Reuse*. 2nd Edition. New Delhi :McGraw-Hill Publishing Company :LTD.
- Novia, F. 2011. *Penyisihan Kandungan Besi (Fe^{2+}) pada Proses Aerasi Sistem Tray Aerator Dengan Variasi Jarak Tray dan Konsentrasi Kandungan Fe^{2+}* . Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas. Padang
- Putra, F.Y. 2011. *Penyisihan Kandungan Besi (Fe) Pada Proses Aerasi Sistem Tray Aerator Dengan Variasi Diameter Lubang Tray dan Konsentrasi Fe*. Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas. Padang
- Thakre, S.b.dkk. 2008. *Effect of Different Configurations of Mechanical Aerators on Oxygen Transfer and Aeration Efficiency with Respect to Power Consumption*. International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering 2:2
- Winda, K. 2009. *Studi penurunan Fe dan Mn dengan Menggunakan Cascade Aerator dan Rapid Sand Filter pada air Sumur Gali*. Jurusan Teknik Lingkungan ITS: Surabaya