



## PENGARUH KOEFISIEN TRANSFER GAS ( $K_{La}$ ) TERHADAP PENURUNAN PARAMETER BESI (Fe) DALAM AIR SUMUR GALI MENGGUNAKAN *MULTIPLE TRAY AERATOR*

Dhea Octavian Zilmy<sup>a,\*</sup>, Kiki Prio Utomo<sup>a</sup>, Ulli Kadaria<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

<sup>b</sup> Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

\* Alamat email penulis korespondensi: dheaoctavian@gmail.com

### Abstrak

Kadar besi (Fe) yang tinggi dalam air menyebabkan timbulnya permasalahan pada air yang menyebabkan air berwarna kuning kecoklatan. Berdasarkan Permenkes Nomor 32 Tahun 2017, batas maksimum untuk kadar besi (Fe) dalam air yaitu 1 mg/L. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh koefisien transfer gas ( $K_{La}$ ) terhadap penurunan parameter besi (Fe). Aerasi merupakan salah satu metode yang dapat menyisihkan kandungan besi (Fe) dalam air. Aerasi dilakukan dengan menambahkan oksigen dalam air, sehingga menimbulkan reaksi oksidasi besi (Fe) yang akan mengendap dalam bentuk  $Fe(OH)_3$ . Karena besi (Fe) telah teroksidasi, maka kadar besi (Fe) akan berkurang. Penelitian ini menggunakan *multiple tray aerator* bertingkat 4 dengan jarak antar *tray* 30 cm, tinggi total 150 cm dan dilakukan dengan 3 kali pengulangan (triplo). Hasil penelitian diperoleh koefisien transfer gas ( $K_{La}$ ) dengan *multiple tray aerator* pada pengulangan 1,2 dan 3 berturut-turut sebesar 0,0328  $menit^{-1}$ , 0,0287  $menit^{-1}$  dan 0,0957  $menit^{-1}$ . Sedangkan efisiensi penurunan kadar besi (Fe) dengan *multiple tray aerator* pada pengulangan 1, 2 dan 3 berturut-turut sebesar 30,03%, 28,66% dan 31,29%. Hasil penurunan tersebut belum sesuai baku mutu yang digunakan. Hal ini disebabkan suhu yang tinggi dapat menurunkan kandungan oksigen terlarut, yang kemudian diiringi dengan adanya peningkatan kelarutan besi (Fe) dalam air. Selain itu, kadar besi dalam air tinggi dikarenakan tercemar oleh gas korosif seperti  $CO_2$  dan  $H_2S$ . Berdasarkan analisis uji statistik menggunakan metode regresi non linier, variabel koefisien transfer gas ( $K_{La}$ ) memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap penurunan parameter besi (Fe). Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi koefisien transfer gas ( $K_{La}$ ) maka kadar besi (Fe) semakin turun.

Kata kunci : aerasi, koefisien transfer gas ( $K_{La}$ ), *multiple tray aerator*

### Abstract

High levels of iron (Fe) in water cause problems, namely the color of the water changes to brownish yellow. Based on Permenkes Number 32 of 2017, the maximum limit for iron (Fe) content in water is 1 mg/L. The study aimed was to analyze the effect of the gas transfer coefficient ( $K_{La}$ ) on the decrease in iron (Fe) parameters. Aeration is one method that can remove iron (Fe) content in water. Aeration is done by adding oxygen into water, causing an oxidation reaction of iron (Fe) which will precipitate in the form of  $Fe(OH)_3$ . Because iron (Fe) has been oxidized, the content of iron (Fe) will decrease. This study used a *multiple tray aerator* with a distance between trays of 30 cm, and a total height of 150 cm and was carried out with 3 repetitions (triplo). The results showed that the gas transfer coefficient ( $K_{La}$ ) with *multiple tray aerators* at repetitions 1,2 and 3 was 0.0328  $minutes^{-1}$ , 0.0287  $minutes^{-1}$  and 0.0957  $minutes^{-1}$ . While the efficiency of reducing iron (Fe) levels with *multiple tray aerators* on repetitions 1, 2 and 3, respectively, was 30.03%, 28.66% and 31.29%. The results of this reduction are not following the quality standards used. This is because high temperatures can reduce the dissolved oxygen content, which is then accompanied by an increase in the solubility of iron (Fe) in water. In addition, high levels of iron in water are due to contamination by corrosive gases such as  $CO_2$  and  $H_2S$ . Based on statistical test analysis using non-linear regression method, the gas transfer coefficient variable ( $K_{La}$ ) has a positive and significant effect on decreasing iron parameters (Fe). So it can be concluded that the higher the gas transfer coefficient ( $K_{La}$ ), the lower the iron (Fe) content.

Keywords : Aeration, Gas transfer coefficient ( $K_{La}$ ), *Multiple tray aerator*

## 1. Pendahuluan

Cakupan wilayah PDAM yang belum merata sehingga membuat masyarakat menggunakan air tanah sebagai sumber air bersih sehari-hari. Pemanfaatan sumur gali merupakan salah satu cara untuk mendapatkan air tanah yang banyak dijumpai di Gang Boencit Raya. Santropie (1984) mengemukakan bahwa air tanah mengandung banyak unsur logam yang terlarut dalam air, contoh unsur logam tersebut yaitu kadar besi (Fe). Adanya kandungan Fe dalam air menyebabkan warna air berubah menjadi warna kuning coklat setelah beberapa saat kontak dengan udara.

Salah satu metode yang digunakan dalam penurunan parameter besi (Fe) dalam air sumur yaitu transfer gas. Transfer gas didefinisikan sebagai proses dimana gas dipindahkan dari suatu fase ke fase lainnya, biasanya dari fase gas ke fase cair. Menurut Awaluddin (2007) aerasi merupakan istilah lain dari transfer gas yang lebih dikhususkan pada transfer oksigen dari fase gas ke fase cair. Fungsi utama aerasi adalah melarutkan kadar oksigen terlarut dalam air sehingga kadar besi (Fe) akan turun.  $K_{La}$  atau koefisien transfer gas merupakan nilai variabel dalam proses transfer gas. Nilai  $K_{La}$  menunjukkan laju transfer oksigen per unit waktu dan per unit volume.

Dalam perpindahan gas terdapat teknik-teknik transfer gas yang umum digunakan contohnya yaitu *multiple tray aerator*. Said (2008) menyatakan bahwa *multiple tray aerator* memiliki susunan yang sangat sederhana dan tidak mahal serta memerlukan ruangan yang relatif kecil. Jenis aerator ini terdiri atas 4 sampai 8 *tray* dengan susunan vertikal maupun piramida. Dasar *tray* berlubang-lubang dengan jarak antar *tray* 30-50 cm. Dalam proses aerasi terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi perpindahan oksigen, diantaranya sebagai berikut (Benefield, 1980) :

### 1. Suhu Air

Koefisien transfer gas ( $K_{La}$ ) akan meningkat seiring dengan kenaikan suhu. Kenaikan suhu di dalam air tersebut mempengaruhi tingkat difusi, tegangan permukaan serta kekentalan air. Kemampuan difusi oksigen meningkat dengan peningkatan suhu, sedangkan tegangan permukaan dan kekentalan akan menurun seiring dengan kenaikan suhu.

### 2. Kejenuhan Oksigen

Konsentrasi jenuh oksigen ( $C_s$ ) di dalam air tergantung dari suhu dan tekanan parsial oksigen yang memiliki kontak dengan air. Secara teoritis konsentrasi oksigen terlarut dalam air pada tekanan 760 mmHg dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Konsentrasi Oksigen Terlarut Jenuh Pada Tekanan 760 mmHg

Suhu °C	Konsentrasi Oksigen Jenuh (mg/L)
30	7,56
31	7,43
32	7,3
33	7,18

Sumber : Benson et al (1984)

Nilai  $C_s$  pada tekanan barometrik dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Benefield, 1980) :

$$C_s = (C_s)_{760} \frac{P - p}{760 - p} \quad (1)$$

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

### 3. 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  $C_s$ .

### 4. 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*,  $\Delta C$ ) tetap terjaga konstan, serta akan meningkatkan nilai koefisien perpindahan oksigen ( $K_{La}$ ). Tekanan jenuh uap air pada berbagai suhu dapat dilihat pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Tekanan Jenuh Uap Air (mmHg)

Suhu °C	Tekanan Uap Jenuh (mmHg)
30	31,824
31	33,695
32	35,663
33	37,729

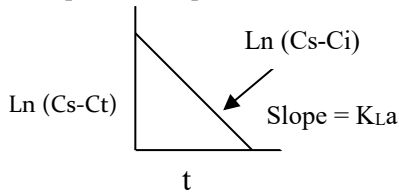
Sumber : Dean (1968)

$K_{La}$  merupakan koefisien transfer gas secara keseluruhan dan memiliki satuan per waktu ( $\text{time}^{-1}$ ).  $K_{La}$  dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$\ln(C_s - C_t) = \ln(C_s - C_i) - K_{La} t \quad (2)$$

Berdasarkan 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  $K_{LA}$  (Benefield, 1980). Hubungan antara  $\ln(C_s - C)$  terhadap waktu, untuk mendapatkan nilai koefisien transfer gas ( $K_{LA}$ ) dapat dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Hubungan  $\ln(C_s - C_t)$  terhadap  $t$

Berdasarkan uraian diatas, perlu dilakukan penelitian menggunakan *multiple tray aerator* untuk menganalisis seberapa besar pengaruh nilai koefisien transfer gas ( $K_{LA}$ ) terhadap penurunan kadar besi (Fe) di air sumur gali. Nilai oksigen terlarut yang dihasilkan perperiode aerasi digunakan untuk menentukan nilai koefisien transfer gas ( $K_{LA}$ ). Kemudian nilai koefisien transfer gas ( $K_{LA}$ ) yang didapat akan digunakan untuk analisis pengaruh terhadap penurunan kadar besi (Fe) dalam air hingga mencapai konsentrasi tertentu.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi-lokasi yang menjadi tempat berlangsungnya kegiatan penelitian diantaranya Jalan Jenderal Ahmad Yani 2 Gang Boencit Raya Kecamatan Sungai Raya Kabupaten Kubu Raya di salah satu rumah warga dengan koordinat rumah  $0^{\circ}07'00.4''S$   $109^{\circ}23'30.4''E$  sebagai tempat pengambilan sampel air. Kemudian Jalan Profesor Doktor H. Hadari Nawawi, di Workshop Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak sebagai tempat dilakukannya penelitian yang meliputi kegiatan pembuatan alat dan running alat, serta Laboratorium Kualitas dan Kesehatan Lahan Fakultas Pertanian Universitas Tanjungpura sebagai tempat pengujian sampel awal air sumur dan hasil akhir sampel air sumur, parameter yang diuji yaitu besi (Fe).

### 2.2. Instrumentasi dan Bahan

Alat-alat yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer), bak air ukuran 30 liter, baker glass, barometer thommen classic, botol sample yang terbuat dari kaca, bor ukuran 5 mm, DO meter (Lutron PDO-519), selotip/isolasi, kayu, kran air sebanyak 1 buah, lem pipa, nampan aluminium sebanyak 5 buah, pipa  $\frac{3}{4}$  inch stop kran  $\frac{3}{4}$  inch sebanyak 1 buah, stopwatch, dan termometer.

Adapun bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah air yang mengandung kadar besi yaitu air sumur gali sebagai sampel serta bahan-bahan untuk analisis kadar besi (Fe).

### 2.3. Rancangan Penelitian

Prinsip kerja *multiple tray aerator* yaitu mengkontakan air dan udara dengan cara dijatuhkan atau dialirkan dari ketinggian tertentu. Sebelum *multiple tray aerator* digunakan, perlu dilakukan perencanaan terlebih dahulu dengan mempertimbangkan kriteria desain yang ada. Berikut merupakan kriteria desain *multiple tray aerator* yang digunakan dalam penelitian ini :

1. Jumlah susunan *multiple tray aerator* adalah 4 – 8 *tray*, dalam penelitian ini digunakan 4 *tray* (Said, 2008).
2. Jarak antar *tray* adalah 30 – 75 cm, dalam penelitian ini digunakan 30 cm (Qasim 2000 dalam Rahmawati & Mangkoedihardjo 2010).
3. Diameter lubang *tray* adalah 5 – 12 mm, dalam penelitian ini digunakan 5 mm.
4. Jarak antar lubang adalah 30 mm (Hartini 2012).
5. Panjang tiap *tray* 36 cm dan lebar 27 cm.

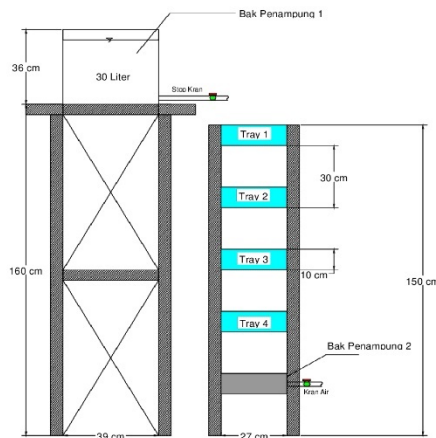
Kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan jumlah lubang tiap *tray*, luas *tray* serta tinggi *multiple tray aerator* keseluruhan. Didapatkan hasil jumlah lubang total tiap *tray* yaitu 88 buah dengan jumlah lubang pada sisi panjang *tray* sebanyak 11 buah dan jumlah lubang pada sisi lebar *tray* sebanyak 8 buah. Jarak antar lubang dimulai dari titik tengah lingkaran hingga bertemu ke titik tengah lingkaran berikutnya.

### 2.4. Prosedur Kerja

Pertama-tama dimasukkan air sumur ke dalam bak penampung yang berukuran 30 liter dan diukur tekanan udara, suhu, dan kadar DO awal sebelum proses aerasi berlangsung yaitu pada menit ke- 0. Lalu diambil sampel air sumur awal sebelum proses aerasi sebanyak 500 ml untuk dilakukan pengujian kadar besi (Fe) awal di Laboratorium Kualitas dan Kesehatan Lahan Fakultas Pertanian Universitas Tanjungpura.

Stop Kran pada bak penampung 1 dibuka untuk mengalirkan air yang dihubungkan pada tiap step *multiple tray aerator* dengan debit rencana yang akan disesuaikan saat air mengalir. Diukur tekanan udara, suhu dan kadar DO air sampel pada bak penampung akhir tiap 2 menit sekali selama 10 menit pengulangan aerasi. Setelah melalui proses aerasi selama 10 menit, diambil air sebanyak 500 ml yang berada di bak penampungan 2 untuk dilakukan pengujian kadar besi (Fe) akhir di Laboratorium Kualitas dan Kesehatan

Lahan Fakultas Pertanian Universitas Tanjungpura. Percobaan dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan dengan cara pengukuran yang sama pada setiap pengulangannya. Berikut merupakan rangkaian alat *multiple tray aerator* yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Alat *Multiple Tray Aerator*

2.5. Analisis Data

Data suhu hasil pengukuran selama proses aerasi digunakan untuk menentukan nilai  $C_s$ . Nilai koefisien transfer oksigen ( $K_{La}$ ) pada masing-masing pengulangan diolah dengan cara menghitung nilai selisih antara konsentrasi DO jenuh ( $C_s$ ) dengan konsentrasi DO pada waktu tertentu ( $C$ ), yang kemudian hasil selisih tersebut dimasukkan kedalam fungsi  $\ln(C_s - C)$ . Fungsi  $\ln(C_s - C)$  dan waktu pengukuran diplotkan kedalam grafik untuk menentukan nilai  $K_{La}$ . Nilai  $K_{La}$  sama dengan besarnya nilai kemiringan (slope) garis linier yang terbentuk.

Hasil data parameter air sumur yang diperoleh dari pengukuran sampel awal dan sampel akhir setelah proses aerasi dengan *multiple tray aerator* dianalisis menggunakan metode analisis data kuantitatif dimana pada hasil tersebut dibandingkan dengan Permenkes Nomor 32 Tahun 2017 sedangkan untuk perhitungan efisiensi pengolahan maka akan menggunakan persamaan sebagai berikut (Sangadjisowohy & Muhamad 2017) :

$$Efisiensi = \frac{HasilAwal - HasilAkhir}{HasilAwal} \times 100\% \quad (3)$$

Hasil nilai  $K_{La}$  terhadap penurunan besi dianalisis dengan menggunakan software SPSS untuk mengetahui hubungan diantara koefisien transfer gas ( $K_{La}$ ) dengan penurunan besi (Fe), metode uji yang digunakan yaitu regresi non linier.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Koefisien Transfer Gas  $K_{La}$

Koefisien transfer gas ( $K_{La}$ ) merupakan koefisien transfer gas secara keseluruhan dan memiliki satuan per waktu (time-1). Pada perhitungan nilai  $K_{La}$  diperlukan data primer antara lain suhu air ( $^{\circ}C$ ), tekanan udara (mmHg) dan konsentrasi DO (mg/L). Data pengamatan dapat dilihat Tabel 3.

Tabel 3. Data Pengamatan

Pengulangan	Waktu (Menit)	Suhu $^{\circ}C$	Tekanan Udara (P) (mmHg)	Konsentrasi DO (mg/L)
Pengulangan Pertama	0	32	772	5,1
	2	32	772	5,7
	4	32	772	5,5
	6	31	772	6,3
	8	30	772	6,2
Pengulangan Kedua	10	30	772	6
	0	31	772	5,6
	2	31	772	5,9
	4	31	772	6,2
	6	31	772	5,7
Pengulangan Ketiga	8	31	772	6,2
	10	30	772	6,3
	0	33	772	3,7
	2	31	772	5,1
	4	31	772	5,1
	6	31	772	5,2
	8	30	772	6,2
	10	30	772	6,4

Kemudian pada data suhu digunakan sebagai acuan untuk menentukan nilai tekanan jenuh uap air (p) dan konsentrasi DO jenuh ( $C_s$ ). Hal ini dilakukan dengan cara memasukan data suhu air kedalam tabel nilai tekanan jenuh uap air (p) dan konsentrasi DO jenuh yang telah menjadi ketentuan umum. Hasil nilai tekanan jenuh uap air (p) dan konsentrasi DO jenuh ( $C_s$ ) dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil perhitungan nilai pv dan Cs 760 mmHg

Pengulangan	Waktu (Menit)	Suhu °C	Tekanan jenuh uap air (p) (mmHg)	Cs (760 mmHg)
Pengulangan Pertama	0	32	35,663	7,3
	2	32	35,663	7,3
	4	32	35,663	7,3
	6	31	33,695	7,43
	8	30	31,824	7,56
	10	30	31,824	7,56
Pengulangan Kedua	0	31	33,695	7,43
	2	31	33,695	7,43
	4	31	33,695	7,43
	6	31	33,695	7,43
	8	31	33,695	7,43
	10	30	31,824	7,56
Pengulangan Ketiga	0	33	37,729	7,18
	2	31	33,695	7,43
	4	31	33,695	7,43
	6	31	33,695	7,43
	8	30	31,824	7,56
	10	30	31,824	7,56

Berdasarkan Tabel 4. tekanan jenuh uap air (pv) terendah terjadi pada pengulangan pertama dan ketiga menit ke 8 dan ke 10 serta pengulangan kedua menit ke 10 yaitu sebesar 31,824 mmHg. Tekanan jenuh uap air (pv) tertinggi terjadi pada pengulangan ketiga menit ke 0 yaitu sebesar 37,7 mmHg. Konsentarsi oksigen jenuh (760 mmHg) terendah terjadi pada pengulangan ketiga menit ke 0 yaitu sebesar 7,18 mg/L. Sedangkan konsentarsi oksigen jenuh (760 mmHg) tertinggi terjadi pada pengulangan pengulangan pertama menit ke 8 dan ke 10, pengulangan kedua menit ke 10 dan pengulangan ketiga menit ke 8 dan ke 10 yaitu sebesar 7,56 mg/L. Kedua hal ini dipengaruhi dari data suhu air selama pengulangan yaitu berada pada rentang antara 30°C hingga 32°C. Hal ini didukung oleh penelitian Abuzar et al (2012) tentang menentukan koefisien transfer gas ( $K_{La}$ ) pada proses aerasi menggunakan tray aerator bertingkat 5 (lima), dimana nilai suhu yang diukur saat proses aerasi berlangsung digunakan sebagai acuan untuk menentukan tekanan jenuh uap air dan konsentarsi oksigen jenuh (760 mmHg), serta suhu air mempengaruhi kedua hal tersebut.

Setelah nilai tekanan jenuh uap air (pv) dan nilai konsentrasi oksigen jenuh (Cs) pada tekanan 760 mmHg didapat, kemudian dilakukan perhitungan nilai konsentrasi oksigen jenuh (Cs) pada suhu dan tekanan saat proses aerasi berlangsung. Perhitungan nilai oksigen jenuh (Cs) menggunakan persamaan 4.

$$Cs = (Cs)_{760} \frac{P - p}{760 - p} \tag{4}$$

Berikut contoh perhitungan nilai oksigen jenuh (Cs) : Diketahui pada pengulangan pertama menit ke-0, suhu air yang didapat sebesar 32° dan tekanan barometrik sebesar 772 mmHg. Berdasarkan literatur, nilai oksigen jenuh keadaan standar (760 mmHg) pada nilai suhu tersebut sebesar 7,30 mg/L. Sedangkan nilai tekanan jenuh uap air pada suhu tersebut sebesar 31,824 mmHg. Berapa nilai oksigen jenuh (Cs) pada suhu dan tekanan yang telah diukur (pengulangan pertama menit ke-0) ? Cara penyelesaian :

$$CS = (CS)_{760} \frac{P - p}{760 - p}$$

$$CS = 7,30 \text{ mmHg} \frac{772 - 35,663}{760 - 35,663}$$

$$CS = 7,30 \text{ mmHg} \frac{736,337}{724,337}$$

$$CS = 7,30 \text{ mmHg} \times 1,017$$

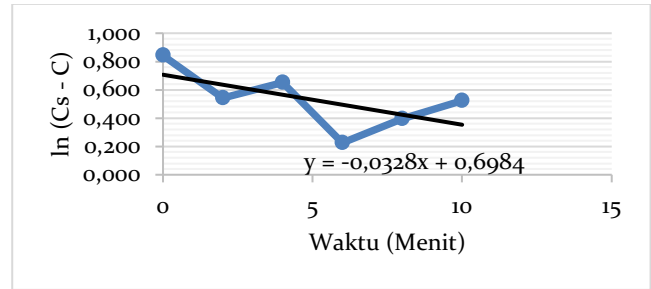
$$CS = 7,421 \text{ mg/L}$$

Setelah itu dihitung nilai oksigen jenuh pada setiap pengulangan dan dihitung selisih konsentrasi oksigen jenuh dengan konsentrasi oksigen terlarut (Cs-C) serta fungsi ln (Cs-C). Hasil perhitungan nilai Cs, (Cs-C) dan Ln (Cs-C) dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Perhitungan nilai Cs, (Cs-C) dan Ln (Cs-C)

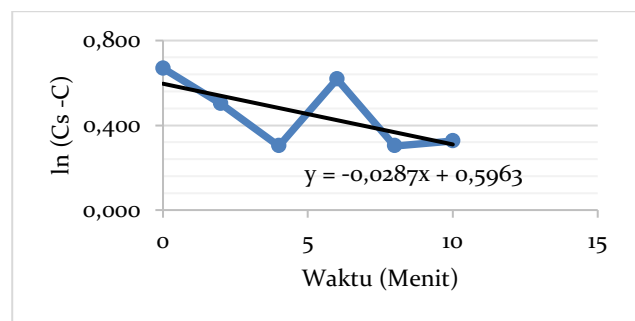
Pengulangan	Waktu (Menit)	Cs (mg/L)	(Cs- C) (mg/L)	Ln (Cs- C) (mg/L)
Pengulangan Pertama	0	7,421	2,321	0,842
	2	7,421	1,721	0,543
	4	7,421	1,921	0,653
	6	7,553	1,253	0,225
	8	7,685	1,485	0,395
	10	7,685	1,685	0,522
Pengulangan Kedua	0	7,553	1,953	0,669
	2	7,553	1,653	0,502
	4	7,553	1,353	0,302
	6	7,553	1,853	0,617
	8	7,553	1,353	0,302
	10	7,685	1,385	0,325
Pengulangan Ketiga	0	7,299	3,599	1,281
	2	7,553	2,453	0,897
	4	7,553	2,453	0,897
	6	7,553	2,353	0,856
	8	7,685	1,485	0,395
	10	7,685	1,285	0,25

Berdasarkan **Tabel 5.** konsentrasi oksigen jenuh (Cs) setiap pengulangan terjadi fluktuasi, hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu suhu dan tekanan barometrik. Suhu air akan menentukan nilai tekanan jenuh uap air dan nilai oksigen jenuh pada keadaan standar. Berdasarkan analisis perhitungan suhu air yang semakin tinggi maka kejenuhan oksigen akan semakin turun. Hal ini didukung oleh pernyataan Benefield (1980) bahwa Konsentrasi jenuh oksigen (Cs) dalam air tergantung pada suhu dan tekanan parsial oksigen yang berkontak dengan air. Artinya semakin tinggi suhu air maka kejenuhan oksigen akan semakin turun. Namun hal berbeda dengan nilai tekanan uap jenuh air. Nilai tekanan jenuh uap air berbanding lurus dengan suhu, semakin tinggi suhu yang diukur maka tekanan jenuh air pun akan meningkat. Nilai koefisien transfer gas ( $K_{La}$ ) pada masing-masing pengulangan ditentukan dengan cara memplotkan fungsi Ln (Cs-C) dan waktu aerasi ke dalam grafik. Nilai  $K_{La}$  sama dengan besarnya nilai kemiringan (slope) garis linier yang terbentuk. Grafik nilai  $K_{La}$  untuk pengulangan pertama dapat dilihat pada **Gambar 3.**



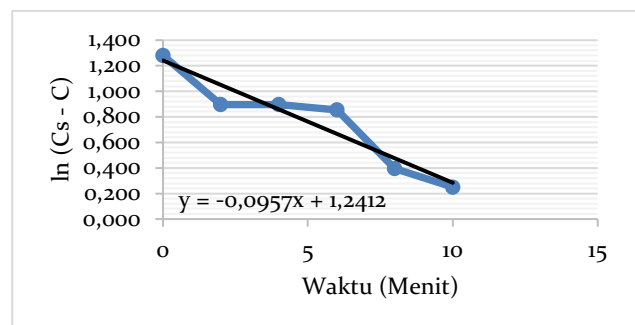
**Gambar 3.** Grafik  $K_{La}$  Pengukuran Pertama

Pada **Gambar 3.** nilai Ln (Cs-C) terendah terjadi pada menit ke-6 yaitu sebesar 0,225 mg/L. Nilai Ln (Cs-C) tertinggi terjadi pada menit ke-0 yaitu sebesar 0,842 mg/L. Nilai  $K_{La}$  pada pengulangan pertama adalah 0,0328/menit. Selanjutnya grafik nilai  $K_{La}$  untuk pengulangan kedua dapat dilihat pada **Gambar 4.**



**Gambar 4.** Grafik  $K_{La}$  Pengukuran Kedua

Pada **Gambar 4** nilai Ln (Cs-C) terendah terjadi pada menit ke-4 yaitu sebesar 0,302 mg/L. Nilai Ln (Cs-C) tertinggi terjadi pada menit ke-0 yaitu sebesar 0,669 mg/L. Nilai  $K_{La}$  pada pengulangan kedua adalah 0,0287/menit. Selanjutnya grafik nilai  $K_{La}$  untuk pengulangan ketiga dapat dilihat pada **Gambar 5.**



**Gambar 5.** Grafik  $K_{La}$  Pengukuran Ketiga

Pada **Gambar 5.** nilai Ln (Cs-C) terendah terjadi pada menit ke-10 yaitu sebesar 0,250 mg/L. Nilai Ln (Cs-C) tertinggi terjadi pada menit ke-0 yaitu sebesar 1,281 mg/L. Nilai  $K_{La}$  pada pengulangan ketiga adalah 0,0957/menit. Berdasarkan grafik di atas terlihat bahwa

nilai  $K_{La}$  mengalami fluktuasi. Hal tersebut dipengaruhi oleh dari nilai  $Ln$  ( $C_s-C$ ). Diketahui bahwa  $C_s$  adalah konsentrasi jenuh oksigen pada tekanan standar yaitu 760 mmHg dan  $C$  adalah banyaknya konsentrasi oksigen saat proses aerasi dilakukan. Pada proses aerasi telah meningkatkan oksigen terlarut, maka selisih yang dihasilkan ( $C_s-C$ ) akan semakin kecil sehingga membuat grafik  $K_{La}$  menurun seiring dengan bertambahnya waktu. Selain itu, grafik  $K_{La}$  yang semakin menurun menyatakan bahwa kondisi oksigen dalam air semakin lama akan mendekati kondisi jenuh atau dengan kata lain bahwa konsentrasi DO relatif meningkat terhadap waktu pada saat aerasi. Namun apabila grafik  $K_{La}$  terjadi peningkatan, hal tersebut menandakan oksigen terlarut dalam proses aerasi terjadi penurunan. Untuk lebih jelasnya nilai  $K_{La}$  masing-masing pengulangan beserta nilai  $K_{La}$  rata-rata dapat dilihat pada **Tabel 6**.

**Tabel 6.** Nilai  $K_{La}$  Tiap Pengulangan dan  $K_{La}$  Rata-rata

Percobaan	$K_{La}$ (Menit <sup>-1</sup> )	$K_{La}$ Rata- Rata (Menit <sup>-1</sup> )
Percobaan Pertama	0,0328	
Percobaan Kedua	0,0287	0,052
Percobaan Ketiga	0,0957	

**Tabel 6.** menandakan bahwa koefisien transfer gas ( $K_{La}$ ) terjadi fluktuasi. Meningkatnya nilai DO pada tiap menit akan menurunkan nilai  $Ln$  ( $C_s-C$ ). Perpindahan oksigen pada *multiple tray aerator* dipengaruhi oleh beberapa hal, salah satunya yaitu jarak antar tray. *Multiple tray aerator* pada penelitian ini menggunakan jarak antar tray 30 cm, semakin tinggi jarak tray akan mempengaruhi transfer oksigen. Hal ini sejalan dengan penelitian Gultom (2019) terdapat perbedaan hasil oksigen terlarut pada tiap variasi ketinggian tray yaitu 30, 40, dan 50 cm. Selain jarak antar tray, jumlah tray juga berpengaruh terhadap perpindahan oksigen semakin banyaknya jumlah tray maka semakin tinggi efisiensi yang didapatkan. Hal ini dikarenakan jumlah tray yang lebih banyak menjadikan pengulangan proses kontak udara dengan air lebih sering terjadi sehingga transfer oksigen dapat berjalan semaksimal mungkin.

### 3.2. Efisiensi Penurunan Kadar Besi (Fe)

Pada air permukaan kadar besi biasanya tidak lebih dari 1 mg/l, tetapi di dalam air tanah kadar Fe dapat jauh lebih tinggi. Konsentrasi Fe yang tinggi ini dapat dirasakan dan dapat menodai kain dan perkakas dapur. Ferihidroksida dapat mengendap dan berwarna kuning kecoklatan. Hal ini dapat menodai peralatan porselen

dan cucian (Slamet, 2004). Hasil pengolahan air sumur gali yang akan diuji dapat dilihat pada **Tabel 7**.

**Tabel 7.** Hasil Penurunan Kandungan Zat besi (Fe) dengan *multiple tray aerator*

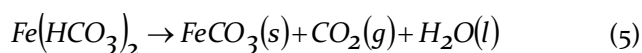
Pengulangan	Kadar besi (Fe) (mg/L)		Efisiensi (%)	Permenkes No 32 Tahun 2017
	Sebelum aerasi	Sesudah aerasi		
1	2,83	1,98	30,03	
2	2,93	2,09	28,66	1
3	2,94	2,02	31,29	
Rata-rata	2,9	2,03	29,99	1

Berdasarkan **Tabel 7.** kadar besi (Fe) sebelum dilakukan aerasi terjadi peningkatan yaitu pada pengulangan pertama hingga ketiga sebesar 2,83 mg/L menjadi 2,94 mg/L. Faktor yang dapat mempengaruhi perubahan besi dalam air tersebut yaitu suhu air. Pada pengulangan pertama, suhu air yang diukur sebesar 32°C sedangkan pada pengulangan ketiga terjadi peningkatan menjadi 33°C. Temperatur yang tinggi menyebabkan menurunnya kadar  $O_2$  atau oksigen terlarut dalam air, menurunnya oksigen terlarut diiringi dengan peningkatan kelarutan besi (Fe) dalam air. Selain itu, salah satu penyebab kadar besi dalam air tinggi yaitu tercemar oleh gas korosif seperti  $CO_2$  dan  $H_2S$ . Gas korosif tersebut berbahaya karena sesuai dengan namanya, bersifat korosif dan partikel-partikelnya bercampur dalam air.

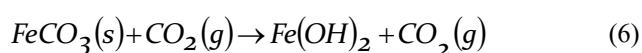
Kadar besi (Fe) rata-rata mengalami penurunan mulai dari pengulangan pertama hingga ketiga. Namun penurunan kandungan besi (Fe) tersebut belum memenuhi standar baku mutu Permenkes Nomor 32 Tahun 2017 sebesar 1 mg/l. Hal ini berarti *multiple tray aerator* yang digunakan belum dapat bekerja secara maksimal untuk memaksa air kontak dengan udara. Terjadinya kenaikan kembali kadar besi dimungkinkan karena terjadinya kejenuhan oksigen yang terlarut didalam air sehingga kadar besi menjadi meningkat kembali dan proses aerasi tidak bisa maksimal. Hal ini didukung oleh penelitian Lutfihani dan Purnomo (2015) yang menganalisis penurunan kadar besi (Fe) dengan menggunakan *tray aerator*, didapatkan hasil nilai rata-rata oksigen terlarut sebesar 7,24 mg/L dengan penyisihan kadar besi (Fe) sebesar 10%. Sehingga diperlukan pengolahan lanjutan untuk menurunkan kadar besi hingga memenuhi standar baku mutu air bersih, seperti dengan menambahkan proses filtrasi.

Mekanisme yang mungkin terjadi dikarenakan adanya kandungan alkalinity yang cukup besar dalam air. Alkalinity (Alkalinitas) adalah parameter tingkat kebasahan karena adanya ion karbonat ( $CO_3^{2-}$ ), ion bikarbonat ( $HCO_3^-$ ) dan ion hidroksida ( $OH^-$ ). Air yang mengandung alkali tinggi atau bersifat basa sering mempunyai pH tinggi dan umumnya mengandung padatan terlarut yang tinggi. Hal ini sejalan dengan

pernyataan Herlambang (2006) bahwa pada umumnya alkalinitas disebabkan oleh bikarbonat yang berasal dari larutnya batu kapur dalam air tanah. Alkalinitas sangat berguna dalam air maupun air limbah, karena dapat memberikan buffer untuk menahan perubahan pH. Kandungan alkalinity dalam air ( $\text{HCO}_3^-$ ) membuat senyawa besi berada dalam bentuk senyawa ferro bikarbonat  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ , oleh karena  $\text{CO}_2$  lebih stabil daripada ( $\text{HCO}_3^-$ ) maka senyawa bikarbonat cenderung berubah menjadi senyawa karbonat:



Dari reaksi tersebut dapat dilihat jika  $\text{CO}_2$  berkurang maka reaksi akan bergeser ke kanan dan selanjutnya reaksi akan menjadi sebagai berikut:



Besi II hidroksida ( $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ) mempunyai kelarutan yang besar sehingga jika terus dilakukan oksidasi dengan udara atau aerasi akan terjadi reaksi ion sebagai berikut  $4\text{Fe}^{2+}(aq) + \text{O}_2(g) + 10\text{H}_2\text{O}(l) \rightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3 + 8\text{H}^+(aq)$

(7) Sesuai dengan reaksi tersebut maka untuk mengoksidasi setiap 1 mg/liter zat besi dibutuhkan 0,14 mg/liter oksigen (Purba dan Hartini, 2013).

### 3.3. Analisis Pengaruh ( $K_{La}$ ) Terhadap Penurunan Kadar Besi (Fe)

Analisis regresi non linier merupakan suatu analisis antara variabel independent (X) dengan variabel dependent (Y) yang dimana diasumsikan bahwa (X) mempengaruhi (Y) secara logaritmik, exponential dan bentuk model lainnya. Variabel independent (X) dalam penelitian ini yaitu Koefisien Transfer Gas ( $K_{La}$ ) sedangkan variabel dependent (Y) yaitu nilai penurunan besi setiap pengulangan. Model pertama yang dianalisis yaitu model logarithmic dapat dilihat pada **Tabel 8**.

**Tabel 8.** Nilai Koefisien Model Logarithmic

Coefficients					
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
ln( $K_{La}$ )	0,063	0,004	0,998	15,519	0,041
Constant	1,069	0,013		81,945	0,008

Angka konstanta dari *Unstandardized Coefficients* dalam model logarithmic sebesar 1,069. Angka ini merupakan angka konstanta yang mempunyai arti bahwa jika tidak ada koefisien transfer gas (X) maka

nilai konsisten penurunan parameter (Y) adalah sebesar 1,069. Angka koefisien regresi memiliki nilai sebesar 0,063. Angka ini mengandung arti bahwa setiap penambahan 1% koefisien transfer gas ( $K_{La}$ ), maka penurunan parameter (Y) akan meningkat sebesar 0,063. Persamaan Regresi Model Logarithmic yang terjadi adalah :

$$Y = 1,069 - 0,063 \ln X \quad (8)$$

Kemudian dilakukan analisis R Square model logarithmic dapat dilihat pada **Tabel 9**.

**Tabel 9.** Nilai R Square atau R2 Model Logarithmic

Model Summary			
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
0,998	0,996	0,992	0,004
The independent variable is $K_{La}$ .			

Dari output diatas diketahui nilai R Square sebesar 0,996. Nilai ini mengandung arti bahwa pengaruh koefisien transfer gas (X) terhadap penurunan parameter besi (Y) adalah sebesar 99,6% sedangkan 0,4% penurunan parameter dipengaruhi oleh variabel yang lain dengan standar error model logarithmic sebesar 3,552. Model regresi non linier kedua yaitu model Quadratic dapat dilihat pada **Tabel 10**.

**Tabel 10.** Nilai Koefisien Model Exponential

Coefficients					
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
$K_{La}$	1,343	0,033	1	40,41	0,016
Constant	0,813	0,002		518,391	0,001
The dependent variable is ln(Besi).					

Angka konstanta dari *Unstandardized Coefficients* dalam model exponential sebesar 0,813. Angka ini merupakan angka konstanta yang mempunyai arti bahwa jika tidak ada koefisien transfer gas (X) maka nilai konsisten penurunan parameter (Y) adalah sebesar 0,813. Angka koefisien regresi memiliki nilai sebesar 1,343. Angka ini mengandung arti bahwa setiap penambahan 1% koefisien transfer gas ( $K_{La}$ ), maka penurunan parameter (Y) akan meningkat sebesar 1,343. Persamaan Regresi Model Logarithmic yang terjadi adalah :

$$Y = 0,813 - 1,343 X \quad (9)$$

Dari persamaan diatas, koefisien regresi bernilai positif maka dengan demikian dapat dikatakan bahwa koefisien transfer gas berpengaruh positif terhadap penurunan parameter besi (Fe) yang artinya semakin meningkatnya koefisien transfer gas ( $K_{La}$ ) diiringi



dengan adanya penurunan besi (Fe). Kemudian dilakukan analisis R Square model logarithmic dapat dilihat pada Tabel 11.

**Tabel 11.** Nilai R Square atau R<sub>2</sub> Model Exponential

Model Summary			
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1,000	0,999	0,999	0,002
The independent variable is K <sub>La</sub> .			

Dari output diatas diketahui nilai R Square sebesar 0,999. Nilai ini mengandung arti bahwa pengaruh koefisien transfer gas (X) terhadap penurunan parameter besi (Y) adalah sebesar 99,9% sedangkan 0,1% penurunan parameter dipengaruhi oleh variabel yang lain dengan standar error model logarithmic sebesar 0,002. Setelah kedua model regresi non linier dianalisis kemudian ditentukan model terbaik yang dapat digunakan berdasarkan nilai R Square tertinggi dan Standar Error terendah. Diantara ketiga model tersebut, yang memiliki R Square tertinggi dan standar error terendah yaitu model exponential. Uji hipotesis yang dilakukan yaitu dengan membandingkan nilai signifikansi dengan 0,05 dimana dasar pengambilan keputusan adalah :

1. Jika nilai signifikansi (Sig.) lebih kecil dari probabilitas 0,05 mengandung arti bahwa ada pengaruh koefisien transfer gas (X) terhadap penurunan besi (Y).
2. Sebaliknya jika nilai signifikansi (Sig.) lebih besar dari probabilitas 0,05 mengandung arti bahwa ada pengaruh koefisien transfer gas (X) terhadap penurunan besi (Y).

Berdasarkan Tabel 11. diketahui nilai signifikansi (Sig.) pada model terbaik yaitu model exponential sebesar 0,016 lebih kecil dari probabilitas 0,05 sehingga dapat disimpulkan bahwa H<sub>0</sub> ditolak dan H<sub>a</sub> diterima yang artinya bahwa ada pengaruh antara koefisien transfer gas terhadap penurunan parameter besi (Fe). Nilai R pada Tabel 4.13 menunjukkan bahwa pengaruh diantara kedua variabel tersebut sebesar 99,9% maka dapat disimpulkan bahwa Koefisien transfer gas (K<sub>La</sub>) berpengaruh positif terhadap penurunan kadar besi (Fe), yang artinya semakin tinggi koefisien transfer gas (K<sub>La</sub>) maka diiringi dengan penurunan parameter besi (Fe).

#### 4. Kesimpulan

Hasil penelitian yang telah dilakukan dan dibahas maka dapat disimpulkan nilai koefisien transfer gas (K<sub>La</sub>) tertinggi yang diperoleh *multiple tray aerator* 4 tingkat pada pengulangan ketiga dan dibandingkan dengan penelitian terdahulu, nilai tersebut lebih tinggi

dengan perbedaan *tray*. Maka dapat disimpulkan ketinggian *tray* mempengaruhi nilai koefisien transfer gas (K<sub>La</sub>). Kemudian efisiensi penurunan besi (Fe) dalam air sumur gali menunjukkan bahwa hasil penurunan yang kurang baik, hal ini didasarkan pada nilai persentase penurunan setiap pengulangannya yang belum memenuhi kriteria baku mutu yang ada. Berdasarkan analisis uji statistik menggunakan metode regresi non linier, variabel koefisien transfer gas (K<sub>La</sub>) memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap penurunan parameter besi (Fe). Artinya semakin tinggi koefisien transfer gas (K<sub>La</sub>) maka akan diiringi dengan penurunan parameter besi (Fe).

#### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada dosen pembimbing skripsi, Bapak Kiki Prio Utomo, S.T., M.Sc. dan Ibu Ulli Kadaria, S.T., M.T. serta dosen penguji skripsi, Bapak Dr. Winardi S.T., M.T. dan Bapak Hendri Sutrisno S.T., M.T. dan semua pihak yang terlibat dan membantu penulis selama proses pengerjaan penelitian yang tidak dapat diucapkan satu persatu.

#### Referensi

- Abuzar, S, S., Putra, Y, D., dan Emargi, R, E. 2012. Koefisien Transfer Gas (K<sub>La</sub>) Pada Proses Aerasi Menggunakan Tray Aerator Bertingkat 5 (Lima). Jurnal Teknik Lingkungan Unand 9 (2) : 155-163 (Juli 2012) ISSN 1829-6084.
- Awaluddin, N. (2007). Teknologi Pengolahan Air Tanah Sebagai Rumah Tangga. Pekan Apresiasi Mahasiswa LEMFTSP 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, Englewood Cliffs, NJ 07632.
- Benson, B.B., Krause, dan Daniel, Jr. 1984. The Concentration and Isotopic Fractionation of Oxygen Dissolved in Freshwater and Seawater in Equilibrium with the atmosphere : Limnology and Oceanography, v. 25, no. P. 620-632.
- Dean, J. A. 1968. Lange's Handbook Of Chemistry. Amerika Serikat : University of Tennessee, Knoxville.
- Gultom, A. R. (2019). Studi Penurunan Kadar Besi (Fe) Dalam Air Dengan Metode Multiple Tray Aerator Di Kelurahan Tegal Sari I Kecamatan Medan Area Kota Medan [Skripsi]. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Hartini, E. (2012). Cascade Aerator dan Buble Aerator dalam Menurunkan kadar Mangan Air Sumur Gali. Jurnal Kesehatan Masyarakat (8)(1) Fakultas Kesehatan Universitas Dian Nuswantoro, Semarang.
- Herlambang, A. (2006). Pencemaran Air dan Strategi Penanggulangannya. JAI vol. 2 nomor 1. Peneliti Pusat Teknologi Lingkungan, BPPT.
- Lutfihani, A., dan Purnomo, A. 2015. Analisis Penurunan Kadar Besi (Fe) Dengan Menggunakan Tray Aerator Dan Diffuser

- Aerator. *Jurnal Teknik Its* Vol. 4, No. 1, (2015) Issn: 2337-3539 (2301-9271 Print)
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32. (2017). Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene dan Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua dan Pemandian Umum.
- Purba, M. F. D., dan Hartini, E. (2013). Penurunan Kandungan Zat Besi (Fe) Dalam Air Sumur Gali Dengan Metode Aerasi. *Jurnal Visikes - Vol. 12 / No. 1 / April 2013*.
- Rahmawati, T., Mangkoedihardjo, S. (2010). Perencanaan Multiple Tray Aerator Untuk Menurunkan Kandungan Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Pada Air Baku Di Pdam Kota Lumajang. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Said, N, I. (2008). *Teknologi Pengolahan Air Minum "Teori dan Pengalaman Praktis"*. Jakarta Pusat : Pusat Teknologi Lingkungan,
- Sangadjisowohy, I. dan Muhammad, M. T. (2017). Efektifitas Media Arang Batok Kelapa Dalam Menurunkan Kadar Salinitas Pada Air Bersih Di Ake Gaale Tahun 2017. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Volume 8, Nomor 2, Desember 2018*.
- Santropie. 1984. *Penyediaan air bersih*. Jakarta. Departemen Kesehatan RI.
- Slamet, J.S. (2004). *Kesehatan lingkungan*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.

### Biografi Penulis

**Dhea Octavian Zilmy** lahir di Lamongan Jawa Timur pada tanggal 16 Oktober 1997. Tumbuh dan besar bersama kedua orang tua di Kota Pontianak, Kalimantan Barat. Merupakan anak kedua dari empat bersaudara, menyelesaikan pendidikan formalnya di SMA Negeri 2 Pontianak di kelas IPA. Pada Tahun 2022 telah menyelesaikan studi S1 Jurusan Teknik Lingkungan di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Kota Pontianak, Kalimantan Barat Negara Republik Indonesia.

**Kiki Prio Utomo, S.T., M.Sc.** lahir pada tanggal 19 Mei 1975, telah menyelesaikan studi S1 pada jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, yang terletak di Kota Pontianak Kalimantan Barat pada Tahun 1998. Kemudian pada tahun 2005, telah menyelesaikan studi S2 jurusan Environmental Science: Environmental Planning and Management di IHE Delft Institute for Water Education Delft, Belanda. Saat ini sebagai dosen tetap pada program studi Teknik Lingkungan Universitas Tanjungpura, Kota Pontianak.

**Ulli Kadaria, S.T., M.T.** lahir pada tanggal 1 Januari 1988, telah menyelesaikan studi S1 Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro, yang terletak di Kota Semarang Jawa Tengah pada Tahun 2010. Kemudian pada tahun 2012, telah menyelesaikan studi S2 jurusan teknik lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, yang terletak di Surabaya Jawa Timur. Saat ini sebagai dosen tetap pada program studi Teknik Lingkungan Universitas Tanjungpura, Kota Pontianak.