

# OPTIMASI BENTUK PERMUKAAN DISK UNTUK MENINGKATKAN TRANSFER OKSIGEN FISIK DI *ROTATING BIOLOGICAL CONTACTOR*

**Uliva Rahmawati dan Novirina Hendrasarie**

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur  
Email: [novirina.tl@upnjatim.ac.id](mailto:novirina.tl@upnjatim.ac.id)

## ABSTRAK

*Rotating Biological Contactor (RBC) dalam proses pengolahan limbah secara aerobik memiliki efisiensi energi paling banyak namun permasalahan yang sering terjadi adalah timbulnya bau. Penyebab timbulnya bau dapat diatasi dengan transfer oksigen fisik dengan meningkatkan nilai  $k_{La}$ . Untuk meningkatkan nilai koefisien transfer oksigen fisik ( $k_{La}$ ) dilakukan dengan mengubah variasi bentuk permukaan RBC dan kecepatan putaran sehingga terjadi turbulensi. Metode yang digunakan untuk menentukan transfer oksigen dengan metode deoksigenasi sampai DO 0,2 mg/L kemudian penambahan Natrium sulfit dan Cobalt chlorida sebagai katalis. Reaerasi sampai oksigen jenuh dan dihitung nilai  $k_{La}$  dengan mencari slope menggunakan persamaan linier Ln (Cs-Ct) dengan waktu. Efisiensi dari bentuk RBC yang berbeda yang telah diuji adalah sampel aquadest bentuk gerigi segitiga dengan kecepatan putaran 12 rpm diperoleh nilai  $k_{La}$  tertinggi sebesar 0,0469/menit. Sedangkan yang terendah terjadi di sampel sumur dengan tipe disk datarpada kecepatan 3 rpm yaitu 0,0058/menit.*

**Kata Kunci :** RBC, Koefisien Transfer Oksigen Fisik, Variasi Bentuk Disk

## ABSTRACT

*Rotating Biological Contactor (RBC) in the aerobic wastewater treatment process are the most energy efficiency but the problems occur is the odor. It can be overcome by physical oxygen transfer by increasing the value of the  $K_{La}$ . To increase the value of physical oxygen transfer coefficient ( $K_{La}$ ) is done by changing the variation deformed discs of RBC and the speed of rotation, causing turbulence. The method used to determine the oxygen transfer method DO deoxygenation to 0.2 mg / L .Then the addition of sodium sulfite and Cobalt chloride as a catalyst. Reaerasi until oxygen saturation and  $K_{La}$  values calculated by finding the slope using linear equation Ln (Cs-Ct) with time. The efficiency of the different forms of RBC that has been tested is a sample of distilled water serrations form a triangle with the rotation speed of 12 rpm  $K_{La}$  values obtained high of 0.0469 / min. While the lowest occurred in the sample wells with a disk type flat than speed of 3 rpm is 0,0058/minute.*

**Keyword :** RBC, Physical oxygen transfer, variation deformed discs.

## PENDAHULUAN

Dari semua pengolahan aerobik, mekanik, biologis, proses pengolahan limbah *Rotating Biological Contactors* (RBC) adalah yang paling hemat energi dan paling sederhana untuk dioperasikan (1/3 sampai 1/10 tenaga dan kurang dari 1/2 dari tenaga proses kerja untuk 3.786 m<sup>3</sup> sampai 7572 m<sup>3</sup>). (William, 2012)

Salah satu titik permasalahan dalam penggunaan RBC adalah memperkirakan jumlah aerasi /oksigenasi selama pengolahan. Karena kondisi beban organik yang tinggi membuat kandungan oksigen terlarut menjadi rendah bahkan nol. Menurut William (2015), kedalaman oksigen yang menembus kedalam biofilm tergantung pada perbedaan faktor densitas, komposisi dari biofilm dan kecepatan putaran. Pada proses pembentukan film seperti RBC transfer oksigen sangat penting dalam penambahan kinetika reaksi biologis.

Efisiensi unit aerasi sangat erat hubungannya dengan nilai  $k_{La}$ . Pada umumnya kondisi pengoperasian aerasi menggunakan tap water yang memiliki konsentrasi TDS yang rendah serta cepat mengalami saturasi saat di transfer oksigen karena jika menggunakan biofilm akan ada faktor *enhancement* yang menyebabkan saturasi tidak dapat mencapai 100% serta membutuhkan waktu yang lama dan tidak konstan.

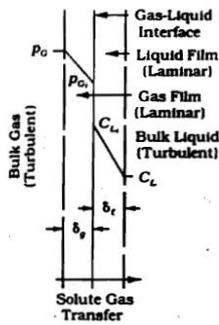
TDS akan meningkat dengan meningkatnya  $k_{La}$  (Eckenfelder, 2000). Air tanah seperti sumur memiliki kandungan mineral yang tinggi sehingga biasanya kandungan padatan terlarut (TDS) lebih besar dari pada air permukaan. Terutama air tanah yang dekat dengan laut yang memiliki kandungan salinitas tinggi seperti di daerah pantai Kenjeran, Surabaya. Secara tidak langsung perhitungan transfer oksigen dalam merancang RBC dilakukan agar tidak *overdesign* pada *stage* pertama dan diharapkan lebih tepat untuk mencegah rendahnya kondisi oksigen terlarut.

Pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui koefisien transfer oksigen ( $k_{La}$ ) fisik pada *Rotating Biological Contactor* (RBC). Sehingga sampel yang digunakan adalah air bersih karena tidak melibatkan adanya bakteri (biofilm) serta untuk mengetahui pengaruh parameter TDS, TSS, dan pH dengan mengubah variasi bentuk permukaan disk yang datar, gerigi kotak, gerigi kotak terbelah dan gerigi segitiga. Kecepatan putaran 3, 6, 9, dan 12 rpm, diharapkan dapat menghemat energi. Dengan membandingkan sampel aquadest dan air sumur Kenjeran, Surabaya.

Menurut Reynold dan Richard (1996), Transfer gas terlarut dari campuran gas kedalam cairan yang dikontakkan dapat ditunjukkan dengan teori *two-film* dari Lewis dan Whitman (1924). Gambar 1 menunjukkan bahwa skema dari dua lapis film yang saling dikontakkan antara satu dengan yang lain. Tekanan parsial gas terlarut dalam *bulk* gas dan permukaan gas adalah  $p_G$  dan  $p_{Gi}$ . Konsentrasi gas terlarut pada permukaan cairan dan *bulk* cairan adalah  $C_{Li}$  dan  $C_L$ . Gas (Oksigen) maupun liquid (limbah) memiliki dua lapisan tipis pada permukaannya (film layer) yang akan menghambat perpindahan massa. Ini menyebabkan oksigen harus melewati dua lapisan tersebut yang merupakan tahanan (resistance) sehingga konsentrasi gas (oksigen) dalam *bulk* gas (udara) tidak sama dengan konsentrasi permukaan cairan. Koefisien transfer difusi,  $K_L$ . Untuk transfer gas dalam cairan film dengan menggunakan

$$K_L = \frac{D}{\delta_t}$$

air dan  $\delta_t$  adalah ketebalan film. Dengan mengalikan  $K_L$  dengan  $a$ , luas permukaan gelembung per unit volume air, disebut koefisien transfer gas secara keseluruhan,  $K_{La}$ .



Gambar 1. Skema ilustrasi teori dua-film.

Kelarutan gas menurun seiring dengan kenaikan suhu, berbeda dengan kelarutan zat padat dalam air. Pada tekanan parsial sampai 1 atm, konsentrasi kesetimbangan gas dalam larutan pada suatu suhu tertentu sebanding dengan tekanan parsial gas dalam air, sesuai dengan hukum Henry :

$$C_s = H \cdot P \quad (1)$$

Dengan:

- $C_s$  = konsentrasi jenuh/kesetimbangan gas dalam larutan, mg/L
- $P$  = tekanan parsial fase gas dalam air, atm
- $H$  = koefisien kelarutan Henry.

Menurut Benfield (1980) Untuk menyatakan massa gas dalam bentuk konsentrasi maka satuan massa gas dibagi dengan volume zat cair dan disederhanakan diperoleh persamaan:

$$\frac{dc}{dt} = N_A = -K_L \frac{A}{V} (C_L - C_S) = K_G \cdot A \cdot (P_A - P^* A) \quad (2)$$

Dengan:  $a = \frac{A}{V}$

- $K_L$  = koefisien transfer dalam fase cair
- $K_G$  = koefisien transfer dalam fase gas
- $N_A$  = Laju perpindahan massa

Persamaan 2.2 dapat ditulis dalam bentuk yang lebih sederhana, yaitu:

$$\frac{dc}{dt} = -K_{La} (C_s - C) \quad (3)$$

Nilai dapat ditentukan dalam skala percobaan laboratorium. Data hasil percobaan laboratorium dianalisis dengan

persamaan 2.4. Persamaan tersebut diintegrasikan dan diperoleh persamaan garis lurus sebagai berikut:

$$\int_{C_s}^C \frac{dc}{(C_s - C)} = -K_{La} \int_0^t dt$$

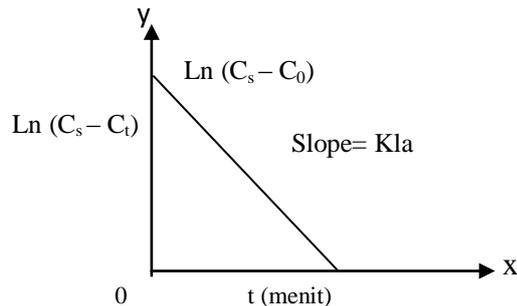
$$\ln(C_s - C_t) = K_{La} \cdot t - \ln(C_s - C_0) \quad (4)$$

$$\frac{\ln(C_s - C_0)}{(C_s - C_t)} = K_{La} t \quad (5)$$

Dengan:

- $K_{La}$  = koefisien transfer total, jam<sup>-1</sup>
- $C_s$  = koefisien gas jenuh, mg/L
- $C$  = konsentrasi gas di zat cair, mg/L

Berdasarkan data percobaan dengan konsentrasi awal gas  $C_0$  dan konsentrasi gas dalam interval waktu percobaan  $C_t$ , dapat diplot  $\ln(C_s - C_t)$  terhadap waktu ( $t$ ), maka diperoleh garis lurus dengan besarnya sudut arah (slope) adalah  $K_{La}$ , lihat gambar 2.



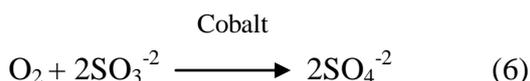
Gambar 2. Hubungan  $\ln(C_s - C_t)$  dengan  $t$  (Benfield, 1890)

Dari bentuk persamaan garis lurus  $y = mx + b$ , maka plot  $\ln(C_s - C_t)$  terhadap waktu,  $t$ , diperoleh garis lurus slope yang sama dengan  $K_{La}$ .  $K_{La}$  ini didapat untuk air murni (*tap water*). (Reynold dan Richard, 1996)

Studi mengenai transfer oksigen untuk deoksigenasi menggunakan sodium sulfit (Eckenfelder, 2000). Probe DO diletakkan sebelum dan setelah reaktor masing-masing. Setelah keadaan tetap (*steady state*), DO dalam *tap water* ditambahkan *Sodium Sulphite* (8 mg/l dari DO) (kandungan murni 95%) dan *Cobalt Chloride* (0,05 mg/l) ditambahkan sebagai katalis. DO air di aduk

dengan seragam dan diukur menggunakan DO meter. ( Mukherji, 2008)

*Cobalt Chloride* harus ditambahkan sebelum *Sodium Sulphite*. Gas Nitrogen adalah jenis yang digunakan untuk menyisihkan oksigen dari reaktor. Sebagai alternatif, reduktan dapat digunakan. Sulfit adalah reduktan yang kuat yang bisa mengurangi oksigen terlarut dengan adanya katalis.



Massa dari *Sodium Sulphite* yang dibutuhkan untuk deoksigenasi a mg oksigen dihitung berdasarkan rumus stoikiometri:

$$\frac{\text{mole } O_2}{32000 \text{ mg}} \cdot \frac{2 \text{ mole } Na_2SO_3}{\text{mole } O_2} \cdot \frac{126000 \text{ mg } Na_2SO_3}{\text{mole } Na_2SO_3} = \frac{7,875 \text{ mg } Na_2SO_3}{\text{mg } O_2} \quad (7)$$

(Anonim, 2003)

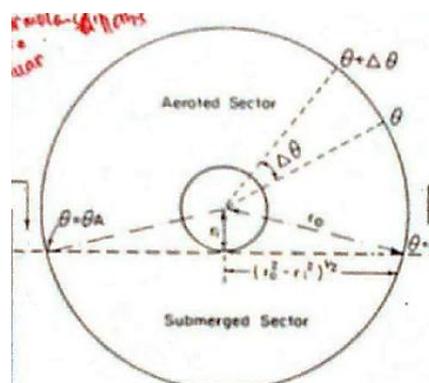
Faktor-faktor yang mempengaruhi transfer oksigen fisik adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh Suhu
2. Kejenuhan Kelarutan Gas
3. Karakteristik Air
4. Derajat Turbulensi

**Transfer Oksigen Fisik di *Rotating Biological Contactor* (RBC)**

Transfer oksigen pada disk ditunjukkan oleh 2 sektor: Submerged sector dan aerated sector ( Ditunjukkan pada gambar 3). Masing- masing biomassa melekat di disk, yang berpindah dalam jumlah yang besar dalam cairan pada daerah terendam, dengan membuat koefisien transfer masa,  $K_L$ , ditentukan dengan kecepatan putaran  $\omega$ . Pada titik di permukaan disk meninggalkan bagian terendam dan masuk di daerah aerasi sebuah lapisan tipis dari cairan film terbentuk dan dibawa sepanjangnya. Meskipun cairan film ini bisa diasumsikan mengalir keatas melekat di disk, ketebalan adalah fungsi dari kecepatan putaran dari disk dan karena itu koefisien transfer oksigen untuk substrat dalam  $K_{La}$ , juga tergantung pada kecepatan. Pada bagian aerasi, bentuk cairan yang masuk di lapisan biofilm. Sehingga diasumsikan bahwa transfer oksigen sama dengan difusi dibagi dengan

ketebalan cairan film tetap.(Grady et al.,1980)



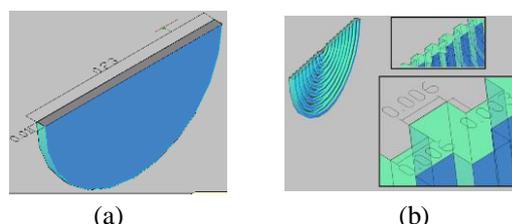
**Gambar 3.** Diagram skema Single Disk di Reaktor Disk Berputar.(Grady et al., 1980)

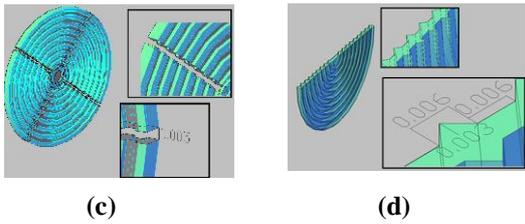
**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini memvariasikan bentuk dan kecepatan putar disk untuk menentukan nilai  $k_L a$  yang optimal. Variasi disk yang digunakan 4 macam yaitu disk datar, gerigi kotak, gerigi kotak terbelah dan gerigi segitiga sedangkan pada kecepatan digunakan kecepatan 3, 6, 9 dan 12 rpm. Yang masing-masing menggunakan sampel aquadest dan air sumur Kenjeran, Surabaya. Setiap perlakuan dilakukna 3 kali ulangan dan setiap ulangan dilakukan dalam waktu yang berbeda.

**Desain Alat**

Reaktor yang digunakan terbuat dari besi berbentuk setengah tabung yang mempunyai dimensi panjang 5 cm dan diameter 27 cm. Bagian yang tercelup sebesar 40% sehingga air yang digunakan adalah 1 liter.





**Gambar 4.** Detail Potongan Bentuk 3D (a) Tipe 1, (b) Tipe 2, (c) Tipe 3, (d) Tipe 4.

**Analisis Parameter**

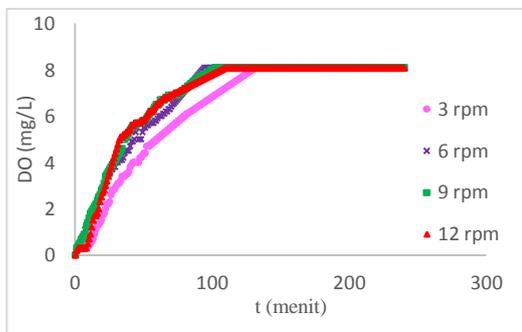
Parameter yang diuji adalah konsentrasi DO berdasarkan waktu.

**Analisis Data**

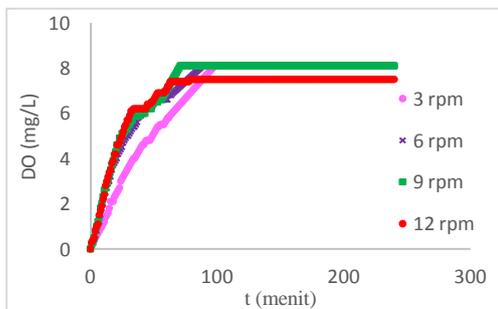
Analisa data dilakukan setelah diketahui karakteristik aquadest dan air sumur Kenjeran, Surabaya. Proses analisa dengan membandingkan DO saturasi pada setiap perlakuan kemudian data akan dianalisa dengan grafik pada excel mengenai pengaruh bentuk permukaan disk dan kecepatan putaran terhadap nilai  $k_{La}$ .

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

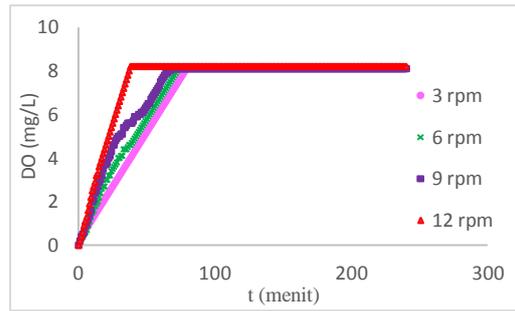
**Karakteristik Oksigen Terlarut (DO)**



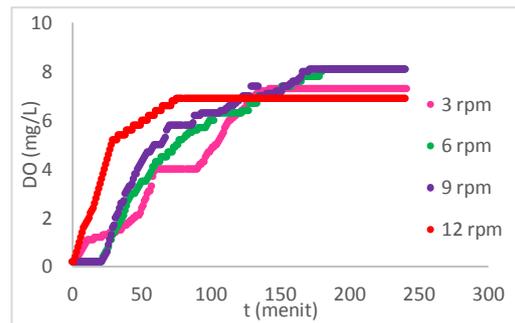
(a)



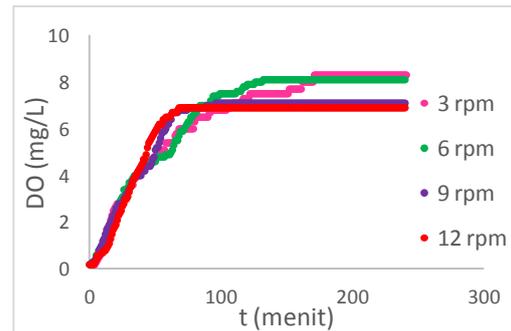
(b)



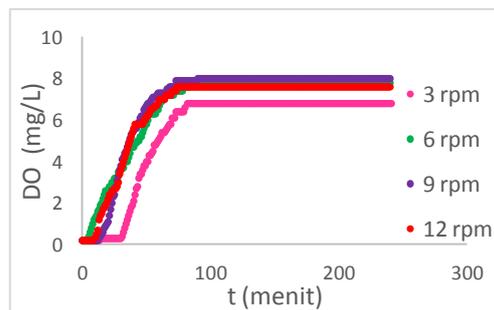
(c)



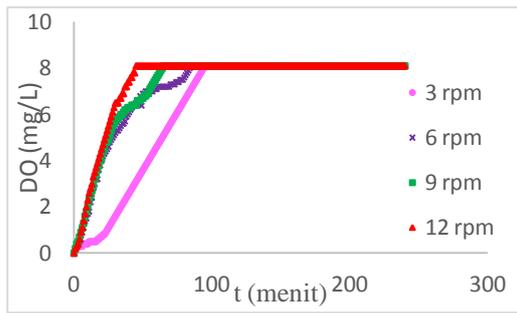
(d)



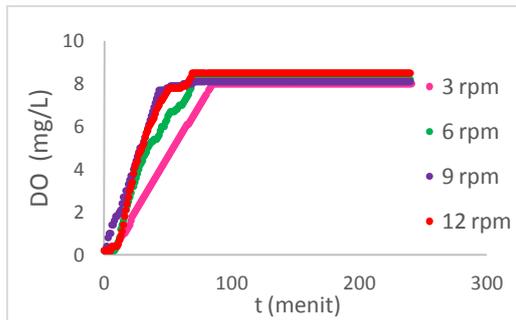
(e)



(f)



(g)



(h)

**Gambar 5.** Hubungan DO dengan Waktu pada sampel Aquadest: (a) Tipe 1; (b) Tipe 2; (c) Tipe 3; (d) Tipe 4, Sumur: (e) Tipe 1; (f) Tipe 2; (g) Tipe 3; (h) Tipe 4

Pada percobaan sumur kecepatan 12 memberikan hasil peningkatan nilai DO saturasi yang paling cepat dibandingkan dengan kecepatan putaran yang lain. Namun nilai DO saturasi antara kecepatan satu dan yang lain pada masing- masing disk berbeda, hal ini juga terjadi sama seperti percobaan pada aquadest. DO Sumur mengalami peningkatan yang signifikan terjadi pada tipe disk 4 pada kecepatan 12 rpm terjadi pada menit ke 69 yakni sebesar 8,5 mg/L. Hal ini lebih lama dari pada sampel aquadest yang dapat mencapai DO saturasi pada menit ke 38 yaitu sebesar 8,2 mg/L. Hal ini disebabkan karena aquadest lebih murni daripada air sumur yang lebih banyak memiliki kandungan terlarut. Sehingga dapat mempengaruhi nilai DO saturasi. Namun nilai besarnya saturasi oksigen terlarut dapat dipengaruhi oleh tekanan serta suhu saat sedang melakukan pengukuran. Oleh sebab itu suhu ruangan harus dijaga konstan agar penelitian tetap valid.

Pengukuran Oksigen terlarut ( DO) yang dilakukan tiap menit didapatkan hasil yang sesuai dengan grafik profil DO rata-rata yang didapatkan dari 3 pengulangan pengukuran. Hasil yang terbaik yaitu pada sampel aquadest pada kecepatan putaran 12 rpm pada masing-masing tipe permukaan disk. Yang ditandai dengan nilai DO yang mengalami saturasi pada waktu yang tercepat. Bentuk permukaan disk RBC tipe 4 mengalami oksigen saturasi tercepat pada masing -masing sampel baik aquadest maupun sumur. Saat kecepatan putaran lebih besar maka akan berdampak pada transfer oksigen, sehingga ini akan menjawab permasalahan yang sering terjadi pada RBC seperti timbulnya bau karena defisit oksigen.

Nilai oksigen jenuh ini dipengaruhi oleh banyak faktor termasuk tekanan udara dan suhu ruangan. Pada penelitian ini dilakukan di tempat yang suhu ruangan 28 ° C dan suhu air 26 ° C. serta tekanan udara sebesar 756,062 mmHg.

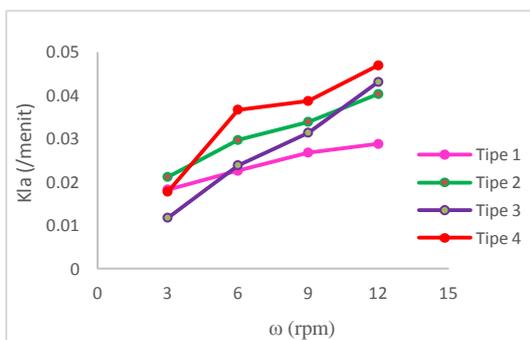
Untuk menghitung nilai  $K_{La}$  kita membutuhkan nilai oksigen jenuh yakni terjadi pada saat DO saturasi artinya pada kondisi tersebut nilai oksigen sudah tidak dapat ditingkatkan lagi. Pada penelitian ini, nilai RBC dijalankan sampai DO mencapai saturasi 100%. Hal ini tidak mungkin terjadi apabila RBC menggunakan biofilm, karena pada biofilm saat transfer oksigen dipengaruhi oleh faktor enhance (E). Yakni faktor yang mempengaruhi biofilm untuk mencapai DO saturasi (Di Palma, 2009). Oleh karena itu untuk mengetahui design disk yang optimal digunakan air bersih.

### Nilai Koefisien Transfer Oksigen ( $K_{La}$ )

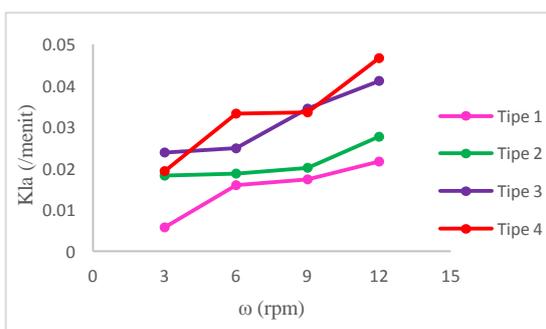
Tabel 1. Rekapitulasi Nilai  $K_{La}$  dari berbagai variabel.

No	Kecepatan Putaran (rpm)	Nilai $K_{La}$ (/menit) Tipe Permukaan RBC Aquadest				Nilai $K_{La}$ (/menit) Tipe Permukaan RBC Sumur			
		Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3	Tipe 4	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3	Tipe 4
		1	3	0,0183	0,0212	0,0118	0,0178	0,0058	0,0183
2	6	0,0226	0,0297	0,0239	0,0367	0,016	0,018	0,0249	0,033
3	9	0,0268	0,0339	0,0314	0,0387	0,0174	0,020	0,0345	0,0336
4	12	0,0288	0,0403	0,0431	0,0469	0,0217	0,027	0,041	0,0467

Berdasarkan Tabel 1 Rekapitulasi nilai  $K_{La}$  pada disk tipe 1 memiliki nilai  $k_{La}$  terendah pada masing- masing sampel baik aquadest maupun sumur. Nilai terendah sebesar 0,0058/ menit terjadi pada sumur yang disebabkan karena sampel sumur mengalami peningkatan DO yang tidak signifikan dibandingkan sampel aquadest yang pada rpm 3 dengan disk yang sama yaitu sebesar 0,0183/menit. Nilai tertinggi  $k_{La}$  pada aquadest maupun sumur adalah tipe disk 4 dengan kecepatan putaran 12 rpm yaitu masing—masing sebesar 0,0469/ menit dan 0,0467/menit.



(a)



(b)

Gambar 6. Hubungan  $k_{La}$  dengan Kecepatan Putaran (a) Aquadest; (b) Sumur

$k_{La}$  (koefisien transfer oksigen) ada tiap tipe disk terus mengalami peningkatan. Hal ini karena pada RBC terjadi turbulensi sehingga mengalami transfer oksigen. (Benfield, 1980)

Peningkatan nilai  $k_{La}$  pada yang signifikan terjadi pada kedua sampel. Namun Nilai tertinggi diperoleh tipe disk 4 dengan kecepatan putaran 12 rpm. Hal ini disebabkan oleh luas permukaan disk dan turbulensi yang dapat meningkatkan nilai  $k_{La}$ .

Namun, pada sampel sumur grafik peningkatan  $k_{La}$  terus mengalami peningkatan signifikan pada tiap rpm di setiap disknya dibanding dengan grafik aquadest, hal ini disebabkan karena faktor banyaknya partikel zat terlarut yang terjadi pada sampel sumur lebih bisa daripada aquadest yang lebih murni dari pada sumur. Hal ini diungkapkan oleh Eckenfelder (2000) bahwa meningkatnya TDS(zat padat terlarut) akan meningkatkan  $k_{La}$ . Hal ini terbukti bahwa sumur memiliki nilai kandungan zat padat terlarut lebih besar daripada aquadest.

Dalam pengolahan RBC menggunakan biakan film melekat pada disk, dan banyaknya biofilm tersebut dipengaruhi oleh transfer oksigen yang beberapa peneliti menekankan pentingnya dari transfer oksigen secara langsung dari udara ke air di dalam reaktor karena turbulensi yang dihasilkan oleh putaran disk (Sant' Anna, 1980). Kemungkinan dari kedua fenomena tersebut yang berperan dalam transfer oksigen yaitu,  $K_{La}$  yang merupakan gabungan dari  $K_{La,d}$  dan  $K_{La,t}$ ,  $K_{La,d}$  adalah koefisien transfer film dalam cairan dan  $K_{La,t}$  adalah koefisien transfer oksigen langsung. Berdasarkan penelitian RBC dalam skala laboratorium, (Rittman et.,1983)

Secara umum, beberapa penelitian menyarankan menggunakan faktor

enhancement atau peningkatan (E) pada transfer oksigen fisik harus dihitung untuk meningkatkan transfer oksigen dengan biomassa. Ada dua pendekatan mengenai bentuk transfer oksigen fisik pada RBC. Pertama berhubungan dengan koefisien transfer oksigen dan bilangan Reynold (turbulensi), bilangan Froude dan faktor immersi. Hal tersebut yang terjadi pada kondisi penelitian  $k_{La}$  pada sampel aquadest yang pada kecepatan 3 sampai dengan 9 rpm tipe disk 3 mengalami peningkatan yang tidak signifikan dari pada tipe disk 2. Namun pada kecepatan 12 rpm tipe disk 4 menunjukkan peningkatan yang drastis dan lebih tinggi dari pada nilai  $k_{La}$  tipe 3 rpm.

Bentuk Disk yang gerigi segiempat memiliki luas permukaan yang jauh lebih tinggi dari pada bentuk RBC yang datar dan halus juga menjadi faktor untuk meningkatkan turbulensi sehingga pada penelitian selanjutnya, biofilm akan lebih banyak melekat dan kinerja RBC akan lebih efisien serta masalah yang selama ini sering terjadi yakni bau dapat terkontrol dengan adanya transfer oksigen fisik pada RBC.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengaruh variasi bentuk permukaan disk terhadap koefisien transfer oksigen fisik di RBC adalah semakin meningkat dari tipe 1 sampai dengan tipe 12 di semua sampel.
2. Nilai  $k_{La}$  yang terbesar adalah sampel aquadest disk RBC tipe 4 pada kecepatan putaran 12 rpm yaitu 0,0469 /menit. Sedangkan nilai terendah terjadi pada sampel sumur tipe 1 pada kecepatan 3 rpm sebesar 0,0058/menit.

### Saran

1. Dalam penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan biofilm sehingga dapat dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan ini.

2. Suhu ruangan dan air saat melakukan penelitian sebaiknya harus tetap dijaga agar nilai  $C_s$  lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2015). *Viskositas*. <https://dcycheesadonna.wordpress.com> diakses pada 5 Juni 2016 pukul 10.12 WIB
- Benfield, L.D; Randall, C.W. (1980). *Biological Proses Design for Wastewater Treatment*. Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, NJ 07632.
- Budiono, G. (2014). *Total Dissolved Solid (TDS) dan Total Suspended Solid (TSS)*. <https://budiono48.wordpress.com> diakses 3 Maret 2016 pukul 11.00 WIB
- Carlos, Montavo et al. (2015). Mass Transfer Coefficient ( $k_{La}$ ) Determination with Microelectrodes in Biofilm From an RBC at Different Operation Conditions. *IJISSET-International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2 (2)
- Cavano, Robert. R. (2007). *Sulfite for Oxygen Control*. Scranton Associates, Incorporate.
- Chavan, A., dan Mukherji, S. (2008). Dimensional Analysis For Modelling Oxygen Transfer In Rotating Biological Contactor. *Journal of Bioresource Technology*, 99(9), 3721- 3728.
- Elmonayeri, D.S.,Atta, N.N.,Elbaz, A.A, and Dif, S.A.I. (2013). Performnace of Self-Rotating Discs in Wastewater Treatment. *Jurnal of American Science*,9 (9)
- Grady, Jr., C.P.L and Lim, H.C. (1980). *Biological Wastewater Tretment, Theory and Application*. Marcel Dekker,. Inc
- Hariono, et al. (2015). Efektivitas Penurunan konsentrasi Limbah Cair Industri Tepung Tapioka Dengan Metode Rotating biological Contactor. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. Hal 11- 16.

- Kim, B.J., Molof, A.J. (1982). The Scale Up and Limiting of Physical Oxygen Transfer in Rotating Biological Contactors. *Water Sci. Technol*, 14, 569- 579.
- Kubsad, V., et al, (2004). *Model for Oxygen Transfer in Rotating Biological Contactor* . *Water Res*, 38, 4297-4304.
- Masduqi, Ali, Abdu F Assomadi. (2012). *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. Surabaya : ITSPress.
- Metcalf and Eddy. (2003). *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*”, Fourth Edition, McGRAW-Hill, Inc : New York, St. Fransisco, Aukland.
- M. L., Gulhane and A.A Kalley. (2014). *Performance Of Modified Rotating Biological Contactor For Treatment Of Domestic Wastewater*. Proceeding of 3<sup>rd</sup> IRF International Conference, 10<sup>th</sup> May 2014, Goa, India
- Reynolds, T.D. dan Richards.P.A. (1996). *Unit Operation and Process In Environmental Engineering*. Second Edition, PWS Publishing Company : Boston.
- Rittman, B. E.et al. (1983). Temperature Effect on Oxygen Transfer to Rotating Biological Contactors”. *J Water Pollut, Cont. Fed*, 55, 275-289.
- Sant’ Anna, J.R. (1980) “*Contribution á l’étude l’hydrodynamique des Réacteurs Biologiques utilizes traitemen des eaux Useès*”. (Diambil di Kubsad et al., 2004)
- Shahata, Mohamed M.et al., (2015). Evaluation OF The River Nile Water Quality Arround The New Assiut Barrage and Its Hydropower Plant. *International Journal of advance Research*, 3 (9), 184-193.
- Stalin, K. (2014). Performance Of Rotating Biological Contactor In Wastewater Treatment- A Review. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(1)
- Suarni S. Abuzar. (2012). Koefisien Transfer Gas ( $K_{La}$ ) pada Proses Aerasi Menggunakan Tray Aerator Bertingkat 5 (Lima). *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*, 9 (2),155 - 163
- William, S.E. (2014). *Oxygen Transfer – RBCs*. Michigan Water Environment Association Annual Conference, MWEA June 22- 25, Michigan .
- Welty, J.R, et al. (2001). *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer* , 4<sup>th</sup> Ed. John wiley& Sons .Inc.
- Tjandrawati, Yetty, M.M. (1990). Korosi Logam di Dalam Beberapa Media Cair. *SIGMA*, II
- Zeevalklink, J.A, et al. (1979). Physical Oxygen Transfer in Rotating Disc Gas- Liquid Contactor. *Water Res*, 13, 913-919.