

# **PENGARUH POLUTAN ORGANIK TERHADAP KOEFISIEN PERPINDAHAN MASSA VOLUMETRIK OKSIGEN – AIR PADA KOLOM GELEMBUNG**

*Firra Rosariawari*

Staf Pengajar Jurusan Teknik Lingkungan/UPN “Veteran” Jatim

## **ABSTRACT**

*Mass Transfer coefficient influenced by diffusivity oxygen, density condensation, Viscosity condensation, surface tension, acceleration of gravity, dimension of gas distributor , bubble column diameter, speed superficial, Organic Polutan ( using glucose as waste artificial) through into bubble column by distributor appliance with various size measure. This research show that concentration of polutan ( glucose) is high, hence coefficient of transfer mass of volumetric at concentration less than 10% smaller, but the concentration bigger than 10% is increase. At the greater hole of distributor and speed of superficial of gas increase, hence coefficient of transfer mass of volumetric will progressively mount so that assess dissolve Oxygen also will progressively mount*

*Keyword : glucosa,coefisien transfer of mass volumetric*

## **ABSTRAK**

Koefisien perpindahan massa dipengaruhi oleh diffusivitas oksigen, densitas larutan, fiskositas larutan, tegangan permukaan larutan, percepatan gravitasi, diameter lubang distributor gas, diameter kolom gelembung, kecepatan superficial, Polutan organik (menggunakan glukosa sebagai limbah buatan) dialirkan kedalam kolom gelembung melalui suatu alat distributor dengan berbagai ukuran. Penelitian ini menunjukkan semakin tinggi konsentrasi polutan (glukosa), maka koefisien perpindahan massa volumetrik pada konsentrasi kurang dari 10% semakin kecil, tetapi pada konsentrasi lebih besar dari 10% cenderung meningkat. Pada lubang distributor yang semakin besar serta kecepatan superficial gas semakin tinggi, maka koefisien perpindahan massa volumetrik akan semakin meningkat sehingga nilai Oksigen terlarut juga akan semakin meningkat,

Kata kunci : glukosa, koefisien perpindahan massa volumetrik.

## PENDAHULUAN

Perpindahan massa Oksigen-air merupakan perpindahan massa antara dua fasa yang banyak dijumpai dalam sistem pengolahan limbah cair, baik yang disertai dengan adanya reaksi kimia maupun hanya reaksi fisika saja.

Laju perpindahan massa merupakan faktor penting dalam optimasi proses aerasi dalam pengolahan limbah cair. Sedangkan koefisien perpindahan massa merupakan faktor yang menentukan laju perpindahan massa.

Berdasarkan kondisi di atas maka dibuat rancangan alat perpindahan massa dengan menggunakan kolom gelembung dengan tujuan untuk mempelajari pengaruh dari polutan organik dalam limbah cair terhadap koefisien perpindahan massa volumetrik Oksigen dalam sistem dua fasa pada kolom gelembung tersebut.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai perpindahan massa volumetrik Oksigen dalam suatu polutan organik dan mengetahui kelarutan Oksigen dalam limbah pada kolom gelembung yang sering digunakan dalam sistem aerasi, yang selanjutnya dapat digunakan sebagai acuan dalam perancangan suatu alat aerasi.

Hipotesis penelitian ini yaitu dengan adanya polutan organik tertentu di

dalam air limbah diperkirakan pada sifat – sifat liquida seperti densitas, viskositas, tegangan permukaan dan difusitas. Semua faktor – faktor tersebut akan mempengaruhi koefisien perpindahan massa volumetrik Oksigen dalam suatu polutan organik.

## TEORI

### Aerasi

Tujuan aerasi pada pengolahan limbah cair adalah mensuplai oksigen untuk memindahkan Karbon Dioksida, meremoval  $H_2S$ , metan dan berbagai organik terlarut penyebab rasa dan bau. Prinsip dari aerasi ditinjau dua aspek :

1. Tingkat kebutuhan Oksigen dari mikroba yang dipakai.
2. Jumlah Oksigen yang dapat ditransfer dari gelembung udara dari cairan.

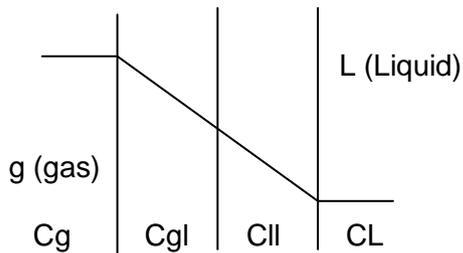
### Mekanisme Perpindahan Massa

Mekanisme perpindahan massa adalah kecenderungan suatu komponen yang berada dalam suatu campuran untuk bergerak dari daerah yang berkonsentrasi tinggi ke daerah yang berkonsentrasi rendah.

### Teori Lapisan Film

Teori lapisan film dapat dijelaskan seperti gambar di bawah ini :

PENGARUH POLUTAN ORGANIK  
(Firra Rosariawari)



Gb. 1. Teori Lapisan Film

Lapisan gas film ini dalam keadaan diam mempunyai ketebalan tertentu, di mana ketebalan ini tergantung dari derajat turbulensi dari gas, demikian pula halnya dengan lapisan film cair.

Mekanisme perpindahan gas- gas molekul kedua lapisan film ini hanya dipengaruhi oleh diffusi Eddy dan konveksi.

Koefisien perpindahan massa pada umumnya dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain : temperatur, konsentrasi dan derajat turbulensi.

Suhu atau temperatur berpengaruh kepada koefisien difusi dan viskositas, dimana dengan meningkatnya temperatur, koefisien difusi akan meningkat dan sebaliknya viskositas akan menurun dengan meningkatnya temperatur. Konsentrasi yang meningkat menyebabkan viskositas naik dan koefisien difusi menurun. Derajat turbulensi berpengaruh pada koefisien perpindahan massa dan ketebalan lapisan film, dengan

naiknya derajat turbulensi akan menurunkan atau menipiskan lapisan film dan meningkatkan koefisien perpindahan massa.

**Koefisien Perpindahan Massa**

Gambar 1 pada teori lapisan film menjelaskan terdapatnya kesetimbangan antara  $C_{gl}$  dan  $C_{ll}$ . Sedangkan  $C_L$  adalah solut pada fasa cair dan  $C_g$  adalah konsentrasi pada fasa gas dari  $C_g$  ke  $C_{gl}$ . Yang disebabkan oleh absorpsi dalam fasa cair. Sesuai dengan Hukum Ficks :

$$dm/dt = -D.A . \Delta c / \Delta x \dots\dots\dots 1)$$

dengan :

- $dm/dt$  : laju perpindahan Oksigen
- $D$  : koefisien difusi molekul
- $X$  : jarak dari interfasa dari bidang atas area  $A$ .
- $A$  : Area tempat terjadi difusi
- $\Delta c / \Delta x$  : gradien konsentrasi.

Perpindahan massa per unit waktu (g/s) adalah sebanding dengan perbedaan konsentrasi, dan hubungan tersebut dapat ditulis sebagai berikut :

$$\text{Fasa gas : } m = k_g.A.(C_g - C_{gl}) \dots\dots\dots 2)$$

$$\text{Fasa cair : } m = k_l.A.(C_{ll} - C_L) \dots\dots\dots 3)$$

dengan :

kg : koefisien perpindahan partikel gas untuk fasa gas.

Kl : koefisien perpindahan partikel gas untuk fasa cair.

Cgl dan Cll pada umumnya tidak diketahui tetapi dapat ditentukan dengan cara eliminasi persamaan 2, dan persamaan 3, dengan menggunakan persamaan :

$$C_{ll} = k_D \cdot C_{gl} \dots\dots\dots 4)$$

dengan :  $k_D$  = koefisien distribusi

Sehingga dapat diketahui bahwa koefisien perpindahan total (KL) dapat dinyatakan dari koefisien distribusi :

$$1/KL = 1/k_L + k_D/kg \dots\dots\dots 5)$$

Sistem yang tidak mudah larut (Oksigen – air), pada umumnya harga  $k_D/kg$  sangat kecil dibanding dengan harga  $1/KL$ , sehingga pengaruh tahanan perpindahan massa dalam fasa gas tersebut dapat diabaikan dan diperoleh :

$$KL = k_{lm} = k_L \cdot A \cdot (k_D \cdot C_{gl} - C_{ll}) \dots\dots 6)$$

Pada perpindahan massa antara fasa terjadi difusi disebabkan oleh adanya gradien konsentrasi pada masing-masing fasa. (Alba dkk,1973).

Menurut konsep dua lapisan tahanan, perpindahan massa pada tapal batas

antara fasa sulit diukur, karenanya yang dapat diukur adalah konsentrasi badan gas dan badan cairan. Oleh karena itu dalam mempelajari laju perpindahan massa akan lebih mudah jika dihitung berdasarkan pertahanan perpindahan massa secara keseluruhan, secara umum dinyatakan dalam persamaan :

$$\frac{1}{K_{La}} = \frac{1}{K_{La}} + \frac{1}{K_{Ga}} \dots\dots\dots 7)$$

dengan :

$K_{La}$  : koefisien perpindahan massa volumetrik keseluruhan pada lapisan film cairan.

$K_{Ga}$  : koefisien perpindahan massa volumetrik pada lapisan film gelembung gas.

H : konstanta Henry.

Untuk fasa yang sukar larut, maka tahanan fasa keseluruhan ( $1/K_{La}$ ) hanya dikendalikan oleh tahanan perpindahan massa pada lapisan film cairan, sehingga persamaan 7, menjadi :

$$\frac{1}{K_{La}} = \frac{1}{k_{La}} \dots\dots\dots 8)$$

Koefisien perpindahan massa untuk suatu gelembung gas adalah konstan terhadap aliran total gelembung dan gaya penggerak ( $C^*-C$ ), dengan C adalah

PENGARUH POLUTAN ORGANIK  
(*Firra Rosariawari*)

konsentrasi gas (Oksigen) yang terlarut dalam cairan dan  $C^*$  adalah konsentrasi pada saat jenuh. Laju perpindahan massa Oksigen dari gelembung udara kedalam cairan adalah sama dengan  $-DL (\partial c/\partial z)_z = 0$ ; dengan DL adalah koefisien difusitas Oksigen dalam cairan, z adalah koordinat terukur sampai pada lapisan fasa cair:

$$k_L = \frac{1}{C^* - C} \times nO_2 \dots\dots\dots 9)$$

Atau

$$nO_2 = k_L (C^* - C) \dots\dots\dots 10)$$

Laju perpindahan massa volumetrik Oksigen ( $QO_2$ ) dirumuskan sebagai berikut :

$$QO_2 = k_L (C^* - C) \cdot A/V \dots\dots\dots 11)$$

$$= k_L a (C^* - C) \dots\dots\dots 12)$$

dengan :

V : volume cairan dalam kolom gelembung

A : luas daerah interfasial.

Selanjutnya laju perpindahan massa volumetrik dapat ditinjau sebagai perubahan P konsentrasi terhadap perubahan waktu  $dC/dt$ , sehingga persamaan 12, dapat ditulis sebagai berikut :

$$dC/dt = k_L a (C^* - C) \dots\dots\dots 13)$$

dan kemudian jika diturunkan secara matematis maka diperoleh persamaan :

$$\ln(C^* - C) = k_L a \cdot t + \ln (C^* - C_0) \dots\dots\dots 14)$$

Dengan memplotkan harga C dan t dalam grafik  $(C^* - C)$  lawan t, maka diperoleh harga slope grafik yang merupakan harga  $k_L a$ .

Untuk sistem dua fasa dan dengan mengubah diameter lubang distributor gas maka persamaan akan menjadi :

$$\ln(C^* - C) = k_L a \cdot D_T^2 / D_L = f (Sc, Bo, Ga, Fr, \rho_p / \rho_T) \dots\dots\dots 15)$$

**METODOLOGI**

Sampel air limbah yang digunakan adalah limbah organik buatan yang berasal dari pengolahan gula yang berbentuk Glukosa dengan kadar 5 %, 10 % dan 15 %.

**Variabel Penelitian.**

Alat yang dirancang :

- diameter kolom gelembung : 10 cm
- tinggi kolom : 75 cm
- tebal distributor : 1 mm
- jumlah lubang distributor : 120 lubang.

Adapun variabel yang divariasikan, adalah :

- kecepatan superficial gas ( $O_2$ ) : 0.1 cm/det ; 0.2 cm/det ; 0.3 cm/det

- waktu pencatatan : 0 , 5 ,10, 15, 20, 25 menit
- diametr lubang distributor gas : 1 mm , 2 mm, 3 mm.

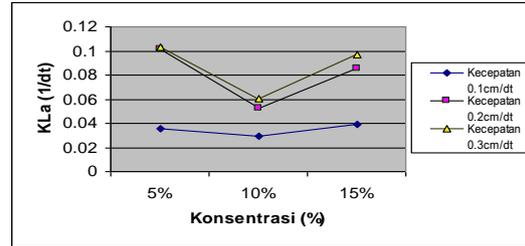
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh variasi lubang distributor terhadap pollutan organik dan hubungannya terhadap koefisien perpindahan massa volumetrik ( $K_{La}$ ), dapat ditunjukkan dalam tabel dan grafik berikut :

Tabel 1. Hasil Perhitungan  $K_{La}$  antara Pollutan Organik dengan Lubang Distributor 1 mm

Kec, Superficial Gas, cm/dt	$K_{La}, \text{det}^{-1}$			
	Aquadest	Pollutan Organik		
		5%	10%	15%
0.1	0.0392	0.0325	0.02918	0.0388
0.2	0.0409	0.1012	0.0521	0.0852
0.3	0.0419	0.1029	0.0602	0.0967

Dari tabel 1, kemudian diplot dalam grafik dibawah ini.



Gambar 2. Hubungan antara  $K_{La}$  dengan konsentrasi Pollutan Organik (%) untuk Diamater Lubang Distributor 1.0 mm

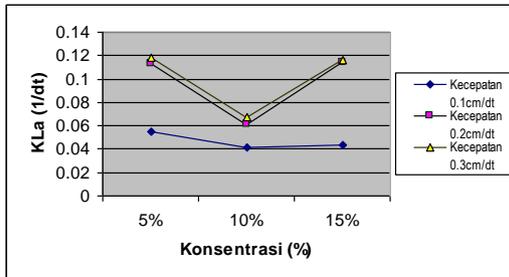
Gambar 2 tersebut di atas menunjukkan hubungan antara  $K_{La}$  dengan konsentrasi pollutan organik (%) dan menetapkan lubang distributor dengan diameter 1 mm pada kecepatan superficial udara 0.1 cm/det dengan konsentrasi pollutan 5 % hingga 10 % menunjukkan kecenderungan menurun. Kemudian dengan dinaikkan konsentrasi pollutan hingga 15 % maka terjadi peningkatan  $K_{La}$ . Jika kecepatan superficial udara dinaikkan menjadi 0.2 cm/det maka pada konsentrasi 5% hingga 10 % menunjukkan penurunan harga  $K_{La}$  yang cukup besar jika dibandingkan pada kecepatan 0.1 cm/det. Kemudian jika konsentrasi dinaikkan hingga 15 % maka harga  $K_{La}$  akan meningkat, Hal ini berlaku juga untuk peningkatan 0.3 cm/det.

**PENGARUH POLUTAN ORGANIK**  
(*Firra Rosariawari*)

Tabel 2. Hasil Perhitungan  $K_{La}$  antara Pollutan Organik dengan Lubang Distributor 2 mm

Kec, Superficial Gas, cm/dt	$K_{La}, \text{det}^{-1}$			
	Aquadest	Pollutan Organik		
		5%	10%	15%
0.1	0.0394	0.0553	0.0418	0.0433
0.2	0.0468	0.1128	0.0607	0.1137
0.3	0.0490	0.1180	0.0671	0.1160

Dari tabel 2 diatas, kemudian diplot dalam grafik dibawah ini.

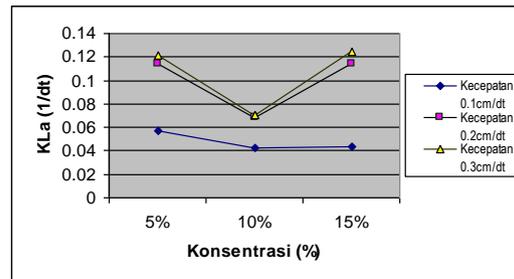


Gambar 3. Hubungan antara  $K_{La}$  dengan konsentrasi Pollutan Organik (%) untuk Diameter Lubang Distributor 2.0 mm

Tabel 3. Hasil Perhitungan  $K_{La}$  antara Pollutan Organik dengan Lubang Distributor 3 mm

Kec, Superficial Gas, cm/dt	$K_{La}, \text{det}^{-1}$			
	Aquadest	Pollutan Organik		
		5%	10%	15%
0.1	0.0396	0.0569	0.0427	0.0440
0.2	0.0495	0.1145	0.0686	0.1140
0.3	0.0539	0.1210	0.0702	0.1246

Dari tabel 3 diatas, kemudian diplot dalam grafik dibawah ini.



Gambar 4. Hubungan antara  $K_{La}$  dengan konsentrasi Pollutan Organik (%) untuk Diameter Lubang Distributor 3.0 mm

Pada gambar 3 dan gambar 4, dengan menetapkan diameter lubang distributor 2 mm dan 3 mm, maka nilai  $K_{La}$  menunjukkan kecenderungan peningkatan

dan penurunan yang sama seperti pada gambar 2.

Dengan menetapkan lubang distributor dan konsentrasi yang berubah (semakin besar), maka nilai  $K_{La}$  menunjukkan kecenderungan peningkatan dan penurunan yang sama seperti pada gambar 2.

Penetapan lubang distributor dengan berubahnya konsentrasi (semakin besar), maka nilai  $K_{La}$  dari konsentrasi 5% hingga 10 % akan turun dan pada konsentrasi 10 % dan 15 % akan naik. Kenaikan nilai  $K_{La}$  pada konsentrasi 10% hingga 15 % terjadi karena adanya proses pembakaran yang menyebabkan koefisien difusi akan meningkat dan viskositas larutan akan turun, sehingga proses perpindahan massa akan berlangsung dengan mudah.

## SIMPULAN

Dari hasil pengamatan dan penelitian dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Harga  $K_{La}$  dipengaruhi oleh kecepatan superficial udara dalam kolom gelembung. Dengan semakin besarnya kecepatan superficial udara maka harga  $K_{La}$  akan semakin besar, sehingga nilai Oksigen terlarut akan naik.

2. Harga  $K_{La}$  dipengaruhi oleh besarnya lubang distributor, semakin besar lubang distributor, maka harga  $K_{La}$  yang diperoleh akan semakin besar, sehingga nilai Oksigen terlarut akan naik.
3. Harga  $K_{La}$  dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi pollutant. Pada mula-mula proses dengan bertambahnya konsentrasi sampai nilai 10% harga  $K_{La}$  akan menurun, tetapi pada batas konsentrasi sampai 15% harga  $K_{La}$  akan naik kembali, hal ini mungkin terjadi karena adanya proses pembakaran saat mencapai konsentrasi 10% hingga 15%.

## PUSTAKA

- Alba, S, Humprey, A.E., Mills. N., 1973, "Biochemical Engineering", 2<sup>nd</sup> ed. University of Tokyo Press Tokyo.
- Popel, H.J., 1974, "aeration and gas Transfer", GWF
- Rich L. G., 1974, " Unit Operation of Sanitary Engineering", John Willey and Sons, Inc.
- Sherwood T.K., Pigford, R.L., Wilke C.R., 1975, "Mass Transfer", 3<sup>rd</sup> ed. Mc.Graw Hill Book company, Japan.
- Ttreybal, R.E., 1985, "Mass Transfer operations", 3<sup>rd</sup> ed. Mc. Graw – Hill Book Company, singapore.