

# PROSES PENGHILANGAN OKSIGEN TERLARUT DARI AIR MENGGUNAKAN KONTAKTOR MEMBRAN SERAT BERLUBANG

Sutrasno K., Peter, Farida, Christina dan Sri Hafwina Lubis  
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Email: sutrasno@che.ui.edu

## Abstrak

*Modul membran serat berubang telah banyak digunakan sebagai peralatan kontak karena memberikan luas permukaan yang tinggi pada volume pralatan yang kecil. Sebagai kontaktor gas-cair, tidak seperti halnya pada aplikasi proses membran konvensional seperti mikrofiltrasi, ultrafiltrasi dan osmosa balik, gaya penggerak bagi terjadinya proses pemisahan adalah gradien konsentrasi bukannya gradien tekanan. Dengan demikian hanya diperlukan perbedaan tekanan yang kecil di sepanjang membran untuk menjamin bahwa interfasa gas-cair tetap berada pada pori-pori membran. Studi ini menggunakan kontaktor membran serat berlubang berserat lepas untuk memisahkan oksigen terlarut dari air melalui proses vakum. Serat yang digunakan adalah MEMCOR CMF-S S10T dari MEMCOR Australia berukuran 650  $\mu\text{m}$  diameter luarnya, 130  $\mu\text{m}$  tebal dindingnya dan 0,2  $\mu\text{m}$  ukuran nominal pori membrannya. Ada 12 kontaktor membran yang digunakan dalam penelitian ini dengan fraksi kepadatan membran bervariasi dari 0,04 hingga 0,30. Dalam eksperimen kecepatan air divariasikan dari 50 hingga 75 Cm/detik, memberikan variasi pada bilangan Reynolds aliran dari sekitar 800 hingga 7000. Koefisien perpindahan massa yang diperoleh berdasar hasil eksperimen berkisar antara 0,006 hingga 0,015 Cm/detik. Berdasarkan hasil eksperimen terlihat bahwa koefisien perpindahan massa yang terjadi di dalam kontaktor turun dengan naiknya fraksi kepadatan membran di dalam kontaktor pada kecepatan air yang sama.*

Kata kunci: Membran; Kontaktor; Perpindahan massa.

## Abstract

*Hollow fiber membrane modules have been extensively used as gas-liquid contactor devices to provide a high surface area within a small volume. Differ from conventional membrane processes such as microfiltration, ultrafiltration and reverse osmosis, driving force for the separation in a gas-liquid contactor is concentration gradient instead of pressure gradient. Therefore, only small pressure difference is needed to ensure that gas-liquid interphases remain in the membrane pores. In this study the performance of sealed end hydrophobic microporous hollow fiber membranes contactors were evaluated to remove dissolved oxygen from water via vacuum degassing process. Hollow fibers used in the experiment were hydrophobic microporous polypropylene of MEMCOR CMF-S S10T supplied by MEMCOR Australia. The fibers are 650  $\mu\text{m}$  in outer diameter, 130  $\mu\text{m}$  wall thickness and nominal pore size of 0.2  $\mu\text{m}$ . There are 12 membrane contactors are used in this study with packing fraction varies from 0.04 to 0.30. In the experiment liquid velocities were varied from 50 to 75-Cm/s, to give Reynolds number ranging from 800 to 7000. Based on the experimental results, the*

*mass transfer coefficients of the contactor are in the range of 0.006 to 0.015-Cm/s. The mass transfer coefficients decrease with increasing module-packing fraction for the same water velocity.*

Key words: Membrane; Contactor; Mass transfer.

## 1. Pendahuluan

Modul membran serat berlubang mulai banyak digunakan sebagai peralatan kontaktor gas-cair karena dapat memberikan luas permukaan kontak yang besar. Selain itu, modul membran serat berongga memiliki berbagai kelebihan dibandingkan kontaktor gas-cair konvensional dalam hal instalasinya, pemilihan operasinya dan fleksibilitas dalam pengoperasiannya (Gabelman dan Hwang, 1999). Salah satu aplikasi dari peralatan ini adalah untuk memisahkan oksigen terlarut dari dalam air.

Air proses adalah salah satu utilitas yang amat penting yang digunakan dalam industri. Akan tetapi, air proses (*ultra pure water*) pada tekanan 1 atmosfer dan temperatur 25°C masih mengandung kira-kira 8,5 ppm oksigen terlarut. Sementara itu, ada beberapa industri yang sangat ketat terhadap batas konsentrasi oksigen terlarut dalam air proses yang akan digunakan sehingga memerlukan air proses (*ultra pure water*) dengan kadar oksigen terlarut yang sangat rendah, seperti industri semikonduktor, farmasi, makanan dan pembangkit listrik. Hal ini dikarenakan oksigen bersifat korosif pada kondisi tertentu, terutama pada kelembaban dan suhu yang tinggi. Selain itu kadar oksigen yang tinggi dapat menyebabkan pertumbuhan senyawa tertentu pada produk sehingga nilai jual produk menjadi lebih rendah. Dalam industri pembangkit listrik, misalnya, korosi pada boiler atau sistem perpipaan di dalamnya dapat dicegah jika tingkat oksigen terlarut dalam air di bawah 0,5 ppm (Ito dkk., 1998), sedangkan pada industri semikonduktor, konsentrasi oksigen terlarut harus diturunkan hingga ke level ppb yaitu kurang dari 10 ppb untuk mencegah pembentukan silika oksida (lapisan oksida) dalam sistem *wafer-immersion* (Li dkk., 1995).

Makalah ini mengkaji kinerja kontaktor membran serat berongga lepas untuk memisahkan oksigen terlarut dari dalam air melalui proses degasing vakum. Penelitian ini menggunakan peralatan utama modul membran serat berlubang dan pompa vakum untuk memisahkan oksigen terlarut dari dalam air. Tujuan dari kajian ini adalah untuk:

- Mengevaluasi efektivitas kontaktor membran serat berongga lepas lepas untuk memisahkan oksigen terlarut dari dalam air melalui proses vakum pada berbagai fraksi kepadatan membran dari 0.04 hingga 0.3, dan
- Membuat model yang sederhana untuk mengkarakterisasi kinerja perpindahan massa yang terjadi di dalam kontaktor.

## 2. Fundamental

Perpindahan massa oksigen terlarut dari air pada sisi selongsong kontaktor ke sisi gas di dalam serat membran melalui tiga langkah yaitu: perpindahan oksigen di fasa cair; difusi oksigen melalui dinding serat membran; dan difusi oksigen ke fasa gas dari permukaan dalam dinding serat membran. Gaya penggerak untuk perpindahan oksigen dalam proses vakum di dalam kontaktor adalah gradien konsentrasi oksigen di fasa cair dan di fasa gas yang berada dalam kondisi vakum. Ada tiga tahanan seri yang menentukan perpindahan massa di dalam kontaktor membran serat berlubang yang terdiri dari tahanan pada lapisan film cairan, tahanan pada fasa membran dan tahanan pada fasa gas. Jumlah ketiga tahanan ini merupakan tahanan keseluruhan untuk perpindahan gas di dalam sistem kontaktor membran yang berhubungan dengan koefisien perpindahan massa seperti diekspresikan pada Persamaan (1).

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{Hk_g} + \frac{1}{k_m} + \frac{1}{k_l} \quad (1)$$

Beberapa studi yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti, yang menggunakan membran berpori mikro hidrofobik untuk pemisahan atau penyerapan gas dari atau ke dalam air melalui kontaktor membran, menunjukkan bahwa kinerja perpindahan massanya dikendalikan oleh tahanan perpindahan massa yang ada di fasa cair (Gabelman dan Hwang, 1999). Gas ditransfer melalui dinding serat membran yang berpori mikro melalui difusi gas dikarenakan pori-pori membran kering dan terisi oleh gas. Dengan demikian gas berpindah dengan cara mengalir melalui dinding serat membran dan bukannya melalui proses pelarutan di dalam membran. Perpindahan gas melalui membran dengan cara difusi melalui fasa gas puluhan ribu kali lebih besar dibandingkan dengan cara difusi melalui fasa cair (Ahmed dan Semmens, 1992). Oleh karenanya, pada membran berpori mikro hidrofobik tahanan film pada fasa gas dan tahanan membran sangat kecil dibandingkan tahanan pada film cairan, sehingga perpindahan gas di dalam kontaktor tersebut hanya dikendalikan oleh tahanan di fasa cair, dan Persamaan (1) dapat disederhanakan menjadi,

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{k_f} \quad (2)$$

Persamaan untuk menggambarkan kinerja perpindahan panas sangat diperlukan dalam merancang kontaktor membran dan sering kali digambarkan dengan korelasi empirik. Variabel-variabel yang terlibat pada perpindahan massa keseluruhan adalah kecepatan air  $v_L$ , viskositas kinematik air  $\nu$ , densitas air  $\rho$ , difusivitas  $D$ , diameter kontaktor  $d_p$  dan koefisien perpindahan massa di fasa cair  $k_f$ .

$$Sh \propto Re^\alpha Sc^\beta f(\text{geometry}) \quad (3)$$

$Sh$ ,  $Re$  and  $Sc$ , yang tidak bersatuan, adalah bilangan-bilangan Sherwood, Reynolds dan Schmidt. Dari studi mekanika fluida dan perpindahan panas diperlihatkan bahwa bilangan Sherwood untuk perpindahan massa analog dengan bilangan Nusselt pada perpindahan panas konvektif. Sementara itu bilangan Schmidt mempunyai hubungan yang sama dengan bilangan Prandtl yang sering digunakan pada perpindahan panas dan momentum. Bilangan-bilangan Sherwood, Reynolds dan Schmidt didefinisikan sebagai:

$$Sh = k_f \frac{d_e}{D} \quad (4)$$

$$Re = \frac{\rho v d_e}{\mu} \quad (5)$$

$$Sc = \frac{\mu}{\rho D} \quad (6)$$

dimana  $d_e$  merupakan diameter ekuivalen dari kontaktor membrane yang didefinisikan sebagai:

$$d_e = \frac{d_p^2 - n d_f^2}{d_p + n d_f} \quad (7)$$

dimana  $d_f$  dan  $n$  adalah diameter dan jumlah serat yang terdapat di dalam kontaktor.

### 3. Metodologi

Kinerja perpindahan massa pada kontaktor membran serat berlubang akan bergantung pada serat membran dan modulnya, sifat-sifat fluida, karakteristik aliran di dalam modul membran dan media yang digunakan (Ahmed dkk., 2004). Membran serat berlubang yang digunakan dalam penelitian ini adalah polipropilen berpori mikro MEMCOR CMF-S S10T yang disuplai oleh MEMCOR Australia. Seratnya berukuran 650  $\mu\text{m}$  diameter luarnya, tebal dindingnya 130  $\mu\text{m}$  dan ukuran pori nominalnya 0.2  $\mu\text{m}$ . Modul membrannya dibuat dengan merekatkan salah satu ujungnya pada nipel berukuran 1.5 cm menggunakan epoksi (Araldite) dan ujung yang lainnya dibiarkan bergerak bebas. Modul ini dihubungkan dengan pipa eksternal pleksi glass dan pada salah satu ujung pipa dihubungkan dengan pompa vakum.

Ada 12 buah kontaktor membran dengan panjang sekitar 40-Cm dan Jumlah serat yang bervariasi dari 19 hingga 140 sehingga memberikan fraksi kepadatan membran di dalam kontaktor berkisar dari 0,04 sampai 0,30. Dalam eksperimen kecepatan air divariasikan dari 50 hingga 75 Cm/detik, memberikan variasi pada bilangan Reynolds aliran dari sekitar 800 hingga

7000. Skema konfigurasi eksperimen seperti Gambar 1 digunakan utk mengukur kinerja perpindahan massa di dalam kontaktor membran serat berlubang.

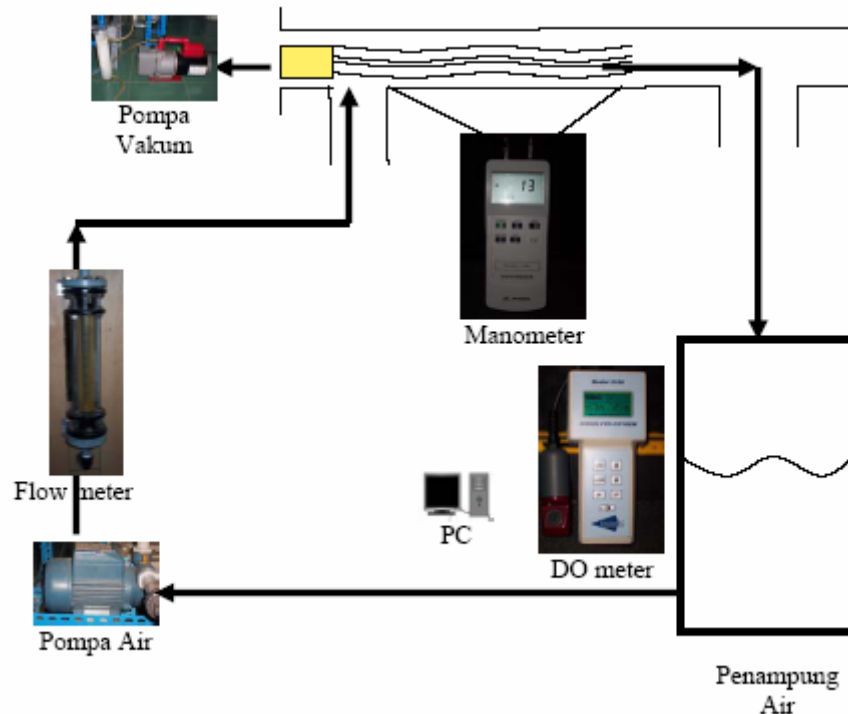
Neraca massa pada penampung air pada keadaan tunak dapat diekspresikan sebagai:

$$\ln \frac{C_t}{C_0} = \frac{Q_L}{V} \left( \exp \left( -Ka \frac{l}{v_L} \right) - 1 \right) t \quad (8)$$

Dengan demikian koefisien perpindahan massa keseluruhan dapat dihitung melalui Persamaan (9).

$$K = -\frac{v_L}{al} \ln \left( \text{slope} \frac{V}{Q_L} + 1 \right) \quad (9)$$

Nilai slope adalah gradien dari plot  $\ln \frac{C_t}{C_0}$  terhadap  $t$  yang diperoleh dari hasil eksperimen untuk setiap laju alir air yang mengalir di dalam kontaktor membran serat berlubang.



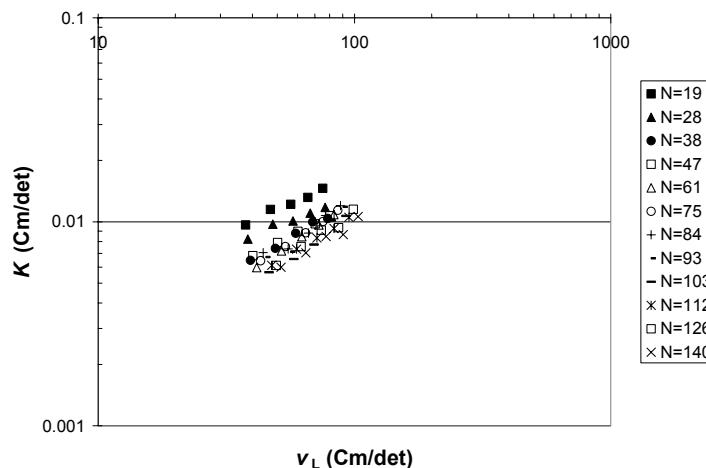
Gambar 1. Skema eksperimen untuk mengukur koefisien perpindahan massa

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Eksperimen telah dilakukan untuk memindahkan oksigen terlarut dari air melalui kontaktor membran serat berongga dengan proses vakum. Koefisien perpindahan massa kontaktor membran berdasar hasil eksperimen dihitung menggunakan Persamaan (9) yang merupakan fungsi slope yaitu profil perubahan konsentrasi oksigen terlarut di bak penampung terhadap waktu, volume air di dalam bak penampung  $V$ , laju alir air volumetrik  $Q_L$ , laju alir air linear  $v_L$ , luas permukaan membran spesifik  $a$ , dan panjang serat  $l$  di dalam kontaktor. Jumlah serat yang terdapat di dalam kontaktor berkisar dari 19 hingga 140 yang memberikan nilai fraksi kepadatan modul  $\phi$ , dari 0,04 hingga 0,30. Koefisien perpindahan massa keseluruhan diperoleh pada kecepatan alir air dari 50 hingga 75-Cm/detik yang memberikan angka Reynolds dari 800 hingga 7000.

Koefisien perpindahan massa  $K$ , dari eksperimen diperlihatkan pada Gambar 2 pada berbagai jumlah serat sebagai fungsi dari laju alir air linear  $v_L$ . Koefisien perpindahan massa

yang diperoleh berdasar hasil eksperimen berkisar antara 0.006 hingga 0.015 Cm/detik. Koefisien perpindahan massa turun dengan naiknya fraksi kepadatan membran di dalam kontaktor untuk laju alir air yang sama. Semakin rendah fraksi kepadatan membran di dalam kontaktor semakin baik kontak yang terjadi antara serat dengan air karena pergerakan serat di dalam kontaktor juga semakin dinamis. Efek ini dikenal sebagai *renewal effect* yang dapat menyebabkan peningkatan koefisien perpindahan massa di dalam kontaktor membran serat berongga (Lipnizki dan Field, 2001). Fenomena ini menjelaskan bahwa pada kontaktor dengan fraksi kepadatan membran rendah maka aliran transversal dan *surface renewal effect* lebih berpengaruh terhadap kemampuan perpindahan massa, sementara pada fraksi kepadatan membran yang tinggi efek *channelling* lebih dominan (Wu and Chen, 2000). Dari sudut pandang yang lain, ketergantungan geometri dari profil lapisan interfasa dapat juga meningkatkan koefisien perpindahan massa dari kontaktor dengan fraksi kepadatan membran yang lebih rendah. Kenaikan ini berbanding langsung dengan kondisi lapisan perpindahan massa dimana lapisan tahanan perpindahan massanya jadi semakin tipis dengan naiknya derajat kurvatur, semisal turunnya diameter luar serat dengan kondisi lainnya yang tetap. Lebih jauh lagi efek ini diperkuat dengan serat yang bergerak di dalam kontaktor untuk menciptakan lapisan perpindahan massa yang baru. Dengan demikian berdasarkan teori ini koefisien perpindahan massa naik dengan turunnya fraksi kepadatan membran di dalam kontaktor, khususnya pada laju alir air yang besar. Fenomena serupa juga pernah dikemukakan oleh Ebadian dan Dong (1998) untuk perpindahan panas dimana angka Nusselt naik dengan naiknya fraksi kekosongan dari alat penukar panas.



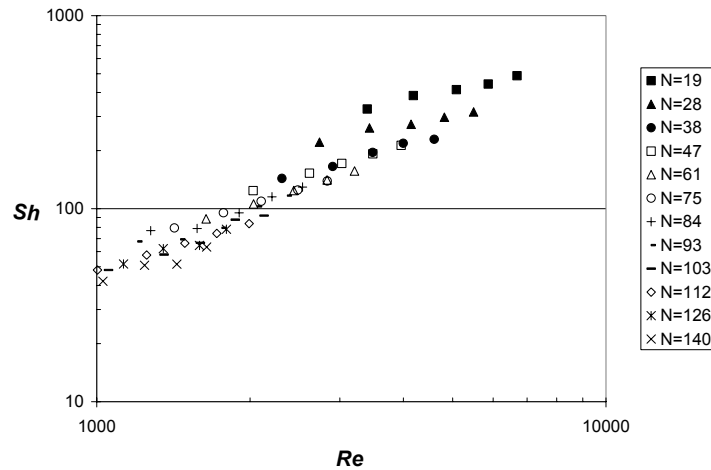
**Gambar 2. Variasi koefisien perpindahan massa terhadap kecepatan air di dalam kontaktor membran serat berlubang.**

Korelasi perpindahan massa yang terjadi di dalam kontaktor membran secara umum dapat ditulis sebagai,

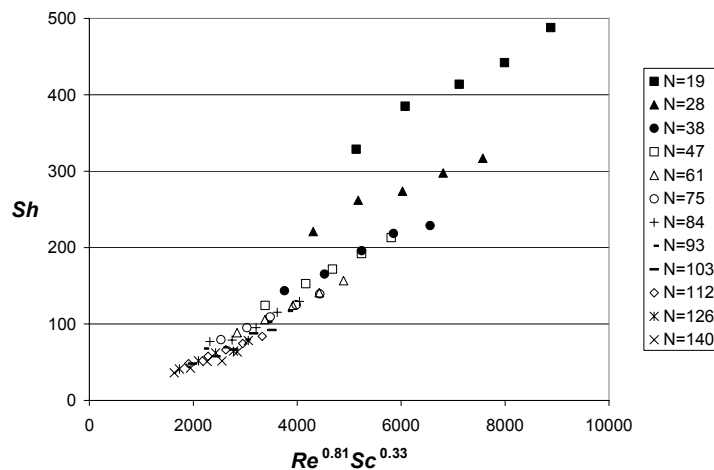
$$Sh = f(\phi) Re^\alpha Sc^\beta \quad (10)$$

Plot bilangan Sherwood  $Sh$ , terhadap bilangan Reynolds  $Re$ , diperlihatkan pada Gambar 3. Seperti halnya koefisien perpindahan massa keseluruhan  $K$ , bilangan Sherwood  $Sh$ , turun dengan naiknya jumlah serat yang ada di dalam kontaktor untuk bilangan Reynolds  $Re$ , yang sama. Ketergantungan bilangan Sherwood terhadap bilangan Reynolds  $\alpha$  berkisar antara 0,5 hingga 0,98 dengan rata-rata sekitar 0,81, yang mengindikasikan perpindahan massa terjadi pada daerah turbulen (Costello dkk., 1992). Dalam studi ini bilangan Schmidt  $Sc$ , terhadap kinerja perpindahan massa tidak divariasikan, sehingga ketergantungan perpindahan massa pada angka schmid  $\beta$ , diambil berdasarkan literatur yaitu 0.33 (Gabelman dan Hwang, 1999).

Selanjutnya Gambar 4 memperlihatkan plot bilangan Sherwood  $Sh$  terhadap  $Re^{0.81}Sc^{0.33}$  untuk mendapatkan nilai faktor geometri  $f(\phi)$  berdasarkan Persamaan (10).



**Gambar 3. Variasi bilangan Sherwood  $Sh$  terhadap bilangan Reynolds  $Re$  pada berbagai kontaktor dengan jumlah serat dari 19 hingga 140.**



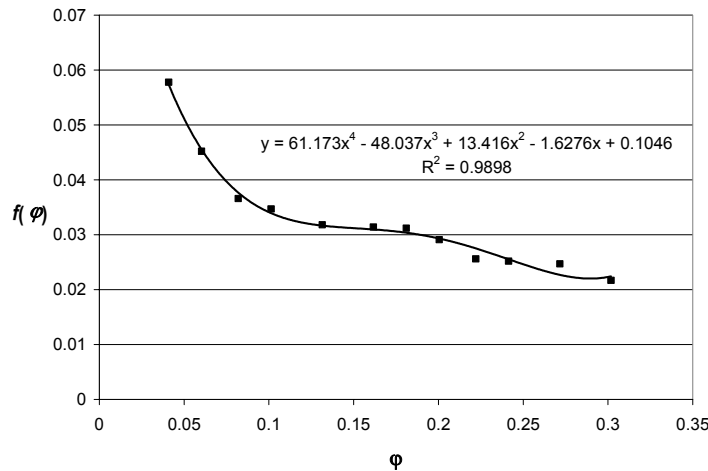
**Gambar 4. Variasi bilangan Sherwood  $Sh$  terhadap  $Re^{0.81}Sc^{0.33}$  pada berbagai kontaktor dengan jumlah serat dari 19 hingga 140.**

Regresi Gambar 4 melalui titik asal memberikan nilai  $f(\phi)$  untuk berbagai jumlah serat dalam kontaktor membran yang juga berhubungan langsung dengan fraksi kepadatan membran  $\phi$ . Akhirnya Gambar 5 memperlihatkan variasi nilai faktor geometri  $f(\phi)$  terhadap fraksi kepadatan membran di dalam kontaktor  $\phi$ . Dari gambar terlihat bahwa nilai faktor geometri  $f(\phi)$  turun dengan naiknya fraksi kepadatan membran di dalam kontaktor  $\phi$ , disebabkan turunnya nilai koefisien perpindahan massa yang terjadi di dalam kontaktor tersebut. Dengan demikian korelasi perpindahan massa yang terjadi di dalam kontaktor membran yang digunakan dalam penelitian ini dapat dinyatakan sebagai,

$$Sh = f(\phi) Re^{0.81} Sc^{0.33} \quad (11)$$

Lebih jauh lagi nilai faktor geometri  $f(\varphi)$  dapat dituliskan sebagai fungsi fraksi kepadatan membran di dalam kontaktor  $\varphi$ , pada daerah  $\varphi = 0,04$  hingga  $0,30$ , yang didapatkan dari regresi polinomial kurva  $f(\varphi)$  terhadap  $\varphi$  pada Gambar 5 yaitu,

$$f(\varphi) = 61.173\varphi^4 - 48.037\varphi^3 + 13.416\varphi^2 - 1.628\varphi + 0.1046 \quad (12)$$



Gambar 5. Variasi nilai faktor geometri  $f(\varphi)$  terhadap  $\varphi$ .

## 5. Kesimpulan

Penelitian telah dilakukan untuk melihat pengaruh jumlah serat di dalam kontaktor membran serat berlubang dalam memisahkan oksigen terlarut dari dalam air melalui proses vakum. Di dalam eksperimen fraksi kepadatan membran bervariasi dari 0,04 hingga 0,30, sementara laju alir air di dalam kontaktor divariasikan dari 50 hingga 75 Cm/detik yang memberikan nilai koefisien perpindahan massa keseluruhan berkisar antara 0,006 hingga 0,015 Cm/detik. Koefisien perpindahan massa keseluruhan yang terjadi di dalam kontaktor turun dengan naiknya jumlah serat di dalam kontaktor tersebut, dimana perpindahan massa yang terjadi berada di daerah turbulen.

## Ucapan terima kasih

Penulis berterima kasih sekali pada Dikti yang telah membiayai penelitian ini melalui program Penelitian Hibah Bersaing.

## Daftar Notasi

**Error!** Luas permukaan spesifik kontaktor [ $\text{Cm}^2\text{Cm}^{-3}$ ]

**Error!** Konsenttrasi awal oksigen di dalam air yang terdapat di penampung air [ppm]

**Objects**

**cannot**

**be**

**created**

**from**

**editing**

**field**

**codes.=**

**Error!** Konsenttrasi oksigen di dalam air yang terdapat di penampung air pada saat **Error!**

**Objects** **Objects cannot be created from editing field codes.** [ppm]

**cannot**

**be**

**created**

**from**

editing  
field  
codes.=  
Error! Diameter ekivalen kontaktor [Cm]  
Objects  
cannot  
be  
created  
from  
editing  
field  
codes.=  
 $d_p =$  Diameter selongsong kontaktor [Cm]  
Error! Difusivitas oksigen di dalam air [Cm<sup>2</sup>det<sup>-1</sup>]  
Objects  
cannot  
be  
created  
from  
editing  
field  
codes.=  
Error! Konstanta Hukum Henry untuk oksigen  
Objects  
cannot  
be  
created  
from  
editing  
field  
codes.=  
Error! Koefisien perpindahan massa keseluruhan fasa gas, membran dan cairan [Cm<sup>3</sup>det<sup>-1</sup>]  
Objects  
cannot  
be  
created  
from  
editing  
field  
codes., $k$   
 $k_G$ ,  $k_M$   
dan  $k_L$   
=  
Error! Panjang serat [Cm]  
Objects  
cannot  
be  
created  
from  
editing  
field  
codes. =  
Error! Jumlah serat  
Objects



cannot  
be  
created  
from  
editing  
field  
codes. =

$Q_1$  = Laju alir air di dalam kontaktor [ $\text{Cm}^3\text{det}^{-1}$ ]

$Re$  = Bilangan Reynolds **Error! Objects cannot be created from editing field codes.**

$Sc$  = Bilangan Schmidt

**Error!** Bilangan Sherwood

**Objects**  
cannot  
be  
created  
from  
editing  
field  
codes.=

**Error!** Waktu [det]

**Objects**  
cannot  
be  
created  
from  
editing  
field  
codes.=

$v_L$  = Kecepatan air [ $\text{Cm}\text{det}^{-1}$ ]

**Error!** Volume air di dalam bak penampung [ $\text{Cm}^3$ ]

**Objects**  
cannot  
be  
created  
from  
editing  
field  
codes.=

$\alpha$  = Eksponen bilangan Reynolds

$\beta$  = Eksponen bilangan Schmidt

$\varphi$  = Fraksi kepadatan membran di dalam kontaktor

$\nu$  = Viskositas kinematik [ $\text{Cm}^2\text{det}^{-1}$ ]

$\rho$  = densitas [ $\text{gCm}^{-3}$ ]

#### Daftar Pustaka

- [1] T. Ahmed, M.J. Semmens, M.A. Voss, (2004),” Oxygen transfer characteristics of hollow-fiber, composite Membranes”, *Advances in Environmental Research* 8, hal 637-646.
- [2] T. Ahmed, M. J. Semmens, (1992),”Used of sealed end hollow fibre for bubbleless membrane aeration: experimental studies”, *Journal of Membrane Science* 69, hal 1-10.
- [3] Costello, M.J., Fane, A.G., Hogan, P.A., and Schofield, R.W., 1993. The effect of shell side hydrodynamics on the performance of axial flow hollow fibre modules, *Journal of Membrane Science* 80, 1-11.

- [4] M.A. Ebadian, Z.F. Dong, (1998), "*Force convection, internal flow in ducts*", in: W.M. Rohsenow, J.P. Hartlet, Y.I Cho (Eds.), *Handbook of Heat Transfer*, 3rd Edition, McGraw-Hill, New York, 1998, hal 5.1-5.137.
- [5] Gabelman, A., and Hwang, S.T., (1999), Hollow fibre membrane contactors, *Journal of Membrane Science* 159, 61-106.
- [6] A. Ito, K. Yamagiwa, M. Tamura, M. Furusawa, (1998), "Removal of dissolved oxygen using non-porous hollow-fibre membranes", *Journal of Membrane Science* 145, hal 111-117.
- [7] Leiknes, T., and Semmens, M.J., 2001. Vacuum degassing using microporous hollow fibre membranes, *Separation and Purification Technology* 22-23, 287-294.
- [8] K. Li, I. Chua, W. J. Ng, W.K. Teo, (1995), "Removal of dissolved oxygen in ultra pure water production using a membrane reactor", *Chemical Engineering Science* 50(22), hal 3547-3556.
- [9] F. Lipnizki, R.W. Field, (2001), "Mass transfer performance for hollow fibre modules with shell-side axial feed flow: using an engineering approach to develop a framework", *Journal of Membrane Science* 193, hal 195-208.
- [10] Wu, J., dan Chen, V., (2000), Shell-side mass transfer performance of randomly packed hollow fiber modules, *Journal of Membrane Science* 172, 59-74.



Filename: Makalah Lengkap Pak Sutrasno  
Directory: C:\Documents and Settings\bundo\My Documents\My Documents  
Template: C:\Documents and Settings\bundo\Application Data\Microsoft\Templates\Normal.dot  
Title: KETENTUAN/FORMAT MAKALAH  
Subject:  
Author: koor\_pen  
Keywords:  
Comments:  
Creation Date: 20/11/2006 13:00:00  
Change Number: 4  
Last Saved On: 02/12/2006 13:15:00  
Last Saved By: bundo  
Total Editing Time: 9 Minutes  
Last Printed On: 02/12/2006 13:15:00  
As of Last Complete Printing  
Number of Pages: 10  
Number of Words: 3.058 (approx.)  
Number of Characters: 17.433 (approx.)

