

PERPINDAHAN MASSA GAS –CAIR DALAM PROSES FERMENTASI ASAM SITRAT DENGAN BIOREAKTOR BERGELEMBUNG

Widayat¹⁾,
Abdullah¹⁾,
D. soetrisnanto¹⁾
dan M. Hadi²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Kimia Fakultas
Teknik UNDIP Semarang
Jl Prof Sudarto SH Tembalang E-
mail: yayat_99@yahoo.com

²⁾ Jurusan Biologi fakultas MIPA
UNDIP Semarang

*Proses fermentasi asam sitrat dapat dilangsungkan dalam fase cair. Proses fermentasi ini berlangsung secara aerob, sehingga keberadaan oksigen dalam fase cair sangat menentukan keberhasilan proses fermentasi. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses perpindahan massa gas-cair dalam proses fermentasi asam sitrat, dengan variabel yang dipelajari adalah konsentrasi jamur dan laju alir udara. Penelitian dilakukan pada suhu kamar 30° dan tekanan 1 atm. Laju volumetrik udara divariasikan pada rentang 27.4 – 58.07 cc/detik, dan konsentrasi jamur *Aspergillus niger* 10 x 10⁶ dan 20 x 10⁶ spora. Pengukuran perpindahan massa dengan metode dinamik, yaitu dengan mengukur konsentrasi oksigen terlarut dengan DO meter setiap detik secara langsung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi awal kapang akan mengakibatkan penurunan koefisien transfer massa. Peningkatan laju alir udara akan meningkatkan koefisien transfer massa. Hubungan konstanta perpindahan massa terhadap laju alir volumetrik udara pada fermentasi asam sitrat diperoleh persamaan $k_La = 8.0031.Vg^{0.698}$. Pada penelitian yang dilakukan Shah et al., 1982 diperoleh hubungan : $kLa = 0.467.Vg^{0.82}$.*

Kata kunci: bioreaktor bergelembung, proses perpindahan massa, konsentrasi jamur, laju alir dan konstanta perpindahan massa

Pendahuluan

Bioreaktor bergelembung merupakan salah satu jenis bioreaktor yang banyak digunakan. Bioreaktor ini mempunyai banyak kelebihan jika dibandingkan dengan bioreaktor berpengaduk. Reaktor ini banyak dipakai dalam operasi kontak antar fase gas-cair (transfer massa) dalam proses industri kimia, bioteknologi (sebagai bioreaktor), dan pengolahan limbah secara biologis (aerob) yang menggunakan lumpur aktif. Keuntungan itu diantaranya perancangannya sederhana, tanpa ada bagian yang bergerak, aliran dan pengadukan mudah dikendalikan, waktu tinggal dalam reaktor seragam, kontak area lebih luas dengan energi input yang rendah, dan meningkatkan perpindahan massa (Williams, 2002).

Di dalam perancangan bioreaktor faktor yang sangat berpengaruh adalah hidrodinamika reaktor, transfer massa gas-cair, rheologi proses dan morfologi produktifitas organisme. Hidrodinamika reaktor mempelajari kelakuan dinamik cairan dalam reaktor sebagai akibat laju alir gas masuk reaktor dan karakteristik cairannya. Hidrodinamika reaktor meliputi hold up gas (fraksi gas saat penghamburan) dan laju sirkulasi cairan. Perpindahan massa mempelajari perpindahan massa dari gas ke cair. Kecepatan sirkulasi cairan dikontrol oleh hold up gas, sedang hold up gas

dipengaruhi oleh kecepatan kenaikan gelembung. Sirkulasi juga mempengaruhi turbulensi, koefisien transfer massa dan panas dan juga tenaga yang dikeluarkan.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh laju alir dan konsentrasi awal mikroba terhadap koefisien perpindahan massa (kLa). Transfer massa dapat diperkirakan dengan koefisien perpindahan massa volumetrik (kLa), yang mana kLa dan luas perpindahan massa gas – cair sangat penting digunakan untuk design dan scale up reaktor gas – cair

Penelitian tentang perpindahan massa yang telah dilakukan diantaranya, adalah perpindahan massa pada fluida non-newtonian larutan CMC dan xanthan menggunakan reaktor tangki berpengaduk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bertambahnya laju alir udara akan menaikkan koefisien transfer massa (Martinov dan Vlaev, 2002). Proses perpindahan massa pada cairan organik (methanol, air, toluene dan ligroin) dalam reaktor bergelembung juga telah dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bertambahnya laju alir udara akan meningkatkan koefisien perpindahan massa (Quicker, Schumpe dan Deckwer, 1984). Demikian juga pada proses perpindahan massa larutan CMC juga diperoleh fenomena yang sama (Deckwer 1991, Merchuk

dan Ben-Zvi, 1992). Penelitian lain yang pernah dilakukan yaitu tentang efek keadaan cairan terhadap perpindahan massa pada reaktor bergelembung menunjukkan bahwa semakin tinggi viskositas suatu cairan maka akan menurunkan luas permukaan perpindahan massa gas – cair yang menyebabkan penurunan koefisien transfer massa (Mouza et al, 2005). Proses perpindahan massa gas-cair dalam bioreaktor dengan keberadaan mikroba belum banyak dilakukan. Padahal keberadaan oksigen dalam larutan sangat berpengaruh pada proses fermentasi.

Perpindahan massa adalah perpindahan massa antar fase gas-cair terjadi karena adanya beda konsentrasi antar kedua fase. Perpindahan massa terjadi yaitu oksigen dari fase gas ke fase cair. Kecepatan perpindahan massa ini dapat ditentukan dengan koefisien perpindahan massa. Koefisien perpindahan massa oksigen dapat diukur dengan metode dinamik. Koefisien perpindahan massa secara dinamik telah diuraikan oleh Benyahia and Jones (1997). Metode ini berdasar pada konsentrasi oksigen terlarut (Dissolved Oxygen) dalam media cair sebagai fungsi waktu.

Penelitian yang dilakukan oleh Shah et al. (1982) dengan menggunakan bubble column reaktor. Fluida yang digunakan adalah tap water, dan pengukuran transfer massa adalah dengan metode dinamis. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut berupa persamaan matematika yang menghubungkan konstanta laju perpindahan massa gas-cair dengan laju alir volumetric udara. Persamaan tersebut seperti disajikan dalam Persamaan 1:

$$kLa = 0.467.Vg^{0.82} \dots\dots\dots (1)$$

Lewis and Whitman (1924) dalam Riet dan Tramper, 1991 menggambarkan bahwa transfer massa sebagai proses difusi pada reaktor bubble column dengan ketebalan film yang dinotasikan dengan diameter gelembung (d_b) dan kecepatan gelembung gas (V_{bs}) dan dengan asumsi profil konsentrasi yang linier, dapat dinyatakan :

$$k_{il} = \sqrt{\frac{4 D_{il} V_{bs}}{\pi d_b}} \dots\dots\dots (2)$$

Persamaan ini adalah perkiraan pertama untuk harga k_{il} pada dinamika gelembung pada film cair.

Sedangkan pada permukaan gas - cair dimana seluruh permukaan tersebut tidak terdapat tranport konvektif dapat dikalkulasikan sebagai berikut :

$$\frac{k_{il} d_b}{D_{il}} = Sh = 2 \dots\dots\dots (3)$$

keadaan ini biasanya tidak akan berlangsung lama karena meningkatnya kecepatan gelembung udara pada film cair dan adanya transport konvektif pada jarak tertentu pada permukaan. Peneletian yang dilakukan oleh Calderbank dan Moo-Youbng-1961 menyatakan bahwa :

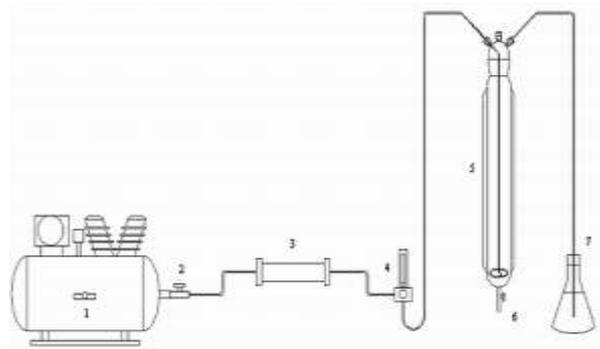
$$Sh = \frac{k_{il} d_b}{D_{il}} = 2 + 0,3 \left(\frac{d_b^3 \cdot \Delta\rho_{gl} \cdot g}{\mu_i \cdot D_{il}} \right)^{0,33} \dots\dots\dots (4)$$

$$Sh = f(Re, Sc)$$

Metodologi Penelitian

Reaktor bergelembung berdimensi diameter 10 cm dan ketinggian 85 cm. Fluida non Newtonian yang digunakan adalah larutan nanas dan udara yang diperoleh dari kompresor. Percobaan dilakukan pada suhu kamar 30°C dan tekanan 1 atm. Laju volumetrik udara divariasi pada skala rotameter 1 - 3. Peralatan yang digunakan untuk penelitian seperti disajikan dalam gambar 1.

Percobaan pendahuluan dilakukan dengan proses kalibrasi flowmeter. Proses kalibrasi untuk mengetahui laju alir udara yang terukur dalam alat flowmeter. Untuk mempelajari perpindahan massa gas-cair dengan mengukur oksigen terlarut dengan DO meter. Media fermentasi dan suspensi *Aspergillus niger* dimasukkan kedalam reaktor. Sampel diambil untuk diukur konsentrasi oksigen terlarut dengan DO meter, densitas dan viskositas larutannya.



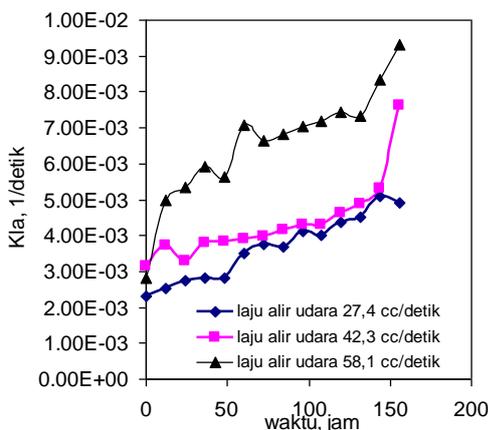
Gambar 1. rangkaian alat percobaan

Hasil dan Pembahasan

Studi perpindahan massa dengan adanya kapang *Aspergillus niger* diamati konsentrasi oksigen dengan DO meter, setiap waktunya. Selanjutnya untuk memperoleh diskripsi yang jelas

setelah diolah konstanta perpindahan massa gas-cair (Kla) dibuat grafik hubungan Kla dengan waktu. Hasil yang diperoleh seperti disajikan dalam Gambar 5.8.

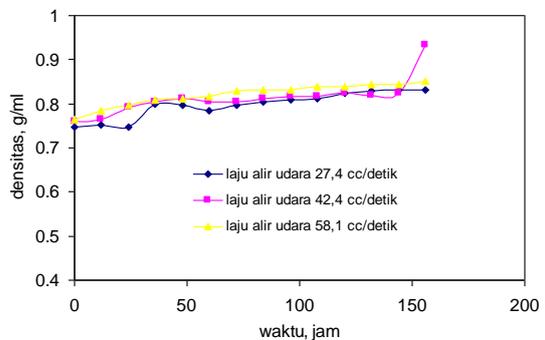
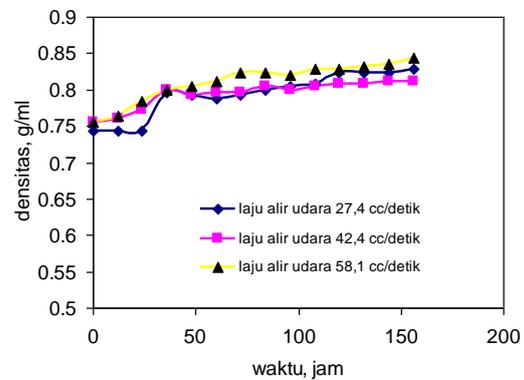
Gambar 2. menunjukkan bahwa setiap terjadi kenaikan laju alir diperoleh nilai konstanta perpindahan massa gas-cair (Kla) semakin bertambah dan juga dengan bertambahnya waktu nilai konstanta perpindahan massa gas-cair (Kla) juga bertambah. Hasil lain yang diperoleh bahwa konsentrasi jamur juga berpengaruh terhadap nilai konstanta perpindahan massa. Hal ini dikarenakan bahwa laju alir udara yang bertambah maka konsentrasi oksigen dalam medium juga bertambah, dengan demikian akan terjadi perpindahan massa oksigen secara cepat. Hal ini terjadi karena perbedaan konsentrasi oksigen yang cukup besar. Dengan demikian konstanta perpindahan massa gas-cair (Kla) juga bertambah. Proses fermentasi berlangsung akan menyebabkan terjadinya konsumsi oksigen oleh kapang *Aspergillus niger* untuk pertumbuhan atau metabolisme. Hal ini berakibat konsentrasi oksigen terlarut menjadi berkurang, sehingga dengan bertambahnya waktu perpindahan massa juga mengalami kenaikan. Untuk konsentrasi biomassa atau kapang akan mempengaruhi densitas (seperti terlihat pada Gambar 3) bahwa konsentrasi kapang yang tinggi densitas lebih besar, sehingga perpindahan massa menjadi lebih kecil. Hal ini juga ditunjukkan oleh Gambar 2 bahwa konstanta perpindahan massa nilai lebih kecil pada medium dengan jumlah kapang 2×10^6 spora dibandingkan medium dengan kapang 10×10^6 spora.



- a. jumlah kapang 10×10^6 spora
- b. jumlah kapang 20×10^6 spora

Gambar 2. Grafik Hubungan waktu fermentasi terhadap konstanta perpindahan massa gas cair (Kla)

Gambar 3 menunjukkan kenaikan densitas dengan bertambahnya waktu fermentasi. Kenaikan terjadi secara linier dengan slope yang kecil. Hal ini terjadi dengan dihasilkan produk-produk dari proses fermentasi seperti asam sitrat, asam oksalat dan asam malat. Dengan terbentuknya produk ini kenaikan densitas hanya kecil.



- a. jumlah kapang 10×10^6 spora
- b. jumlah kapang 20×10^6 spora

Gambar 3. Grafik hubungan waktu fermentasi terhadap densitas

Persamaan (Shah et al., 1982) pada percobaan dengan reaktor bergelembung menggunakan air diperoleh persamaan :

$$k_{la} = 0,467 V_g^{0,82}$$

Pada percobaan kali ini dengan menggunakan larutan nanas pada laju alir 27,4 cc/det, 42,37 cc/det, dan 58,07 cc/det pada reaktor bergelembung didapatkan hubungan persamaan :

$$k_{la} = 8,0031V_g^{0,698}$$

Dari penelitian ini didapat kecenderungan yang sama yaitu semakin besar laju alir udara maka koefisien perpindahan massa gas-cair semakin besar. Perbedaan pada konstanta yang ada dalam model tersebut, cukup signifikan.

Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut; Konstanta perpindahan massa (Kla) semakin bertambah dengan berlangsungnya proses fermentasi, dengan bertambahnya laju alir. Bertambahnya konsentrasi kapang menyebabkan penurunan konstanta perpindahan massa. Densitas mengalami kenaikan namun dengan slope kecil, dengan bertambahnya waktu fermentasi. Model matematika hubungan konstanta perpindahan massa dengan laju alir volumetrik adalah $k_{la} = 8,0031V_g^{0,698}$.

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Tinggi Nasional, sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah penugasan Penelitian Desentralisasi Tahun Anggaran 2007, Nomor : 014/SP2H/PP/DP2M/III/2007 tanggal 29 Maret 2007 yang telah membiayai penelitian dalam program Hibah Bersaing.

Daftar Notasi

$\Delta \rho_{gl}$ = perbedaan antara spesifik density fase cair dan gas (kg m^{-3})

μ = viskositas dinamik pada fase cair (N s m^{-2})

d_b = diameter gelembung

D_{il} = koefisien difusi komponen i pada fase cair.

g = percepatan gravitasi (m s^{-2})

kLa = koefisien perpindahan massa gas-cair

V_{bs} = kecepatan gelembung gas

V_g = laju alir volumetrik udara

Daftar Pustaka

- A.A. Mouza et al. 2005. "Effect of liquid properties on the performance of bubble column reactors with fine pore spargers". Chemical Engineering Science 60, hal :1465 – 1475 .
- Grund, G, A. Schumpe dan W.D.Deckwer, 1992, "Gas-Liquid Mass Transfer in A Bubble Column with Organic Liquids", Chem Eng.Sci., hal 3509-3516, Pergamin Press Ltd.
- Krishna R, Van Baten JM.2003." Mass transfer in bubble columns." CatalToday.hal;79–80:67–75.
- Mandal. A et all. 2003" Interfacial Area and Liquid-Side Volumetric Mass Transfer Coefficient in a Downflow Bubble Column". The Canadian Journal of Chemical Engineering, Volume 81.
- Merchuk, J.C. dan S. Ben-Zvi (Yona), 1992, "A Novel Approach to The Correlation of Mass Transfer Rates in Bubble Column with Non-Newtonian Liquids", Chem. Eng. Sci., hal 3517-3523, Pergamon Press Ltd.
- Merchuk, J.C. dan Asenjo, J.A. , 1995, "Fundamental of Bioreactor Design", New York, Marcell Dekker Inc.
- Moucha T, Linek V, Prokopova E. 2003." Gas hold-up, mixing time and gas-liquid volumetric mass transfer coefficient of various multi-impeller configurations: Rushton turbine, pitched blade and techmix impeller and their combinations". Chem Eng Sci 2, hal:1839–1846.
- Prakash A, Margaritis A, Li H.2001." Hydrodynamics and local heat transfer measurements in a bubble column with suspension of yeast". Biochem Eng J; hal 9:155–63.
- Quicker G, Schumpe A, Deckwer WD. 1984. "Gas-liquid interfacial areas in a bubble column with suspended solids". Chem Eng Sci. hal :39-179.
- Shah, Y. T., Kelkar, B. G., Godbole, S. P., & Deckwer, W. -D. 1982. "Design Parameters Estimations for Bubble Column Reactor", American Institute of Chemical Engineering Journal, 28, 353 – 379.
- Williams, J.A., 2002, "Keys To Bioreactor Selections", Chem. Eng. Prog, hal 34-41.