

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Reaktor merupakan alat utama pada industri yang digunakan untuk proses kimia yaitu untuk mengubah bahan baku menjadi produk. Reaktor dapat diklasifikasikan atas dasar cara operasi, geometrinya, dan fase reaksinya. Berdasarkan cara operasinya dikenal reaktor *batch*, *semi batch*, dan kontinyu. Jika ditinjau dari geometrinya dibedakan menjadi reaktor tangki berpengaduk, reaktor kolom, dan reaktor fluidisasi. Sedangkan bila ditinjau berdasarkan fase reaksi yang terjadi di dalamnya, reaktor diklasifikasikan menjadi reaktor homogen dan reaktor heterogen.

Reaktor heterogen adalah reaktor yang digunakan untuk mereaksikan komponen yang terdiri dari minimal 2 fase, seperti fase gas-cair. Reaktor yang digunakan untuk kontak fase gas-cair, diantaranya dikenal reaktor kolom gelembung (*bubble column* reaktor) dan reaktor *air-lift*. Reaktor jenis ini banyak digunakan pada proses industri kimia dengan reaksi yang sangat lambat, proses produksi yang menggunakan mikroba (bioreaktor) dan juga pada unit pengolahan limbah secara biologis menggunakan lumpur aktif.

Pada perancangan reaktor pengetahuan kinetika reaksi harus dipelajari secara komprehensif dengan peristiwa-peristiwa perpindahan massa, panas dan momentum untuk mengoptimalkan kinerja reaktor. Fenomena hidrodinamika yang meliputi *hold up* gas dan cairan, laju sirkulasi merupakan faktor yang penting yang berkaitan dengan laju perpindahan massa. Pada percobaan ini akan mempelajari hidrodinamika pada reaktor *air-lift*, terutama berkaitan dengan pengaruh laju alir udara, viskositas, dan densitas terhadap *hold up*, laju sirkulasi dan koefisien perpindahan massa gas-cair pada sistem *sequential batch*.

1.2 Tujuan Percobaan

Setelah melakukan percobaan ini, mahasiswa diharapkan dapat :

1. Menentukan pengaruh variabel kondisi operasi terhadap *hold-up gas* (ϵ).
2. Menentukan pengaruh variabel kondisi operasi terhadap laju sirkulasi (V_L).
3. Menentukan pengaruh variabel kondisi operasi terhadap koefisien transfer massa gas-cair (K_{La}).
4. Menentukan pengaruh waktu tinggal Na_2SO_3 terhadap K_{La} .

1.3 Manfaat Percobaan

1. Mahasiswa dapat menentukan pengaruh variabel kondisi operasi terhadap *hold-up gas* (ϵ).
2. Mahasiswa dapat menentukan pengaruh variabel kondisi operasi terhadap laju sirkulasi (V_L).
3. Mahasiswa dapat menentukan pengaruh variabel kondisi operasi terhadap koefisien transfer massa gas-cair (K_{La}).
4. Mahasiswa dapat menentukan pengaruh waktu tinggal Na_2SO_3 terhadap K_{La} .

BAB II

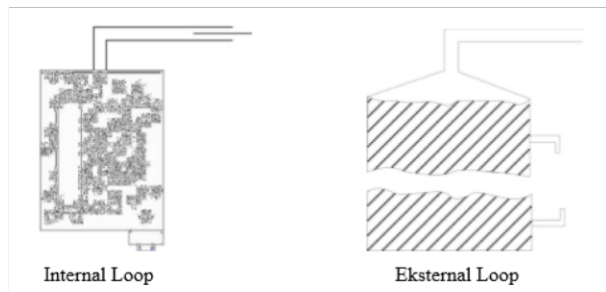
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Reaktor Kolom Gelembung dan *Air Lift*

Reaktor adalah suatu alat tempat terjadinya suatu reaksi kimia untuk mengubah suatu bahan menjadi bahan lain yang mempunyai nilai ekonomis lebih tinggi. Reaktor *air-lift* adalah reaktor yang berbentuk kolom dengan sirkulasi aliran. Kolom berisi cairan atau *slurry* yang terbagi menjadi 2 bagian yaitu *riser* dan *downcomer*. *Riser* adalah bagian kolom yang selalu disemprotkan gas dan mempunyai aliran ke atas. Sedangkan *downcomer* adalah daerah yang tidak disemprotkan gas dan mempunyai aliran ke bawah. Pada zona *downcomer* atau *riser* memungkinkan terdapat *plate* penyaringan pada dinding, terdapat satu atau dua buah *baffle*. Jadi banyak sekali kemungkinan bentuk reaktor dengan keuntungan penggunaan dan tujuan yang berbeda-beda (Widayat, 2004).

Secara umum reaktor *air-lift* dikelompokkan menjadi 2, yaitu reaktor *air-lift* dengan *internal loop* dan *eksternal loop* (Christi, 1989; William, 2002). Reaktor *air-lift* dengan *internal loop* merupakan kolom bergelembung yang dibagi menjadi 2 bagian, *riser* dan *downcomer* dengan *internal baffle* dimana bagian atas dan bawah *riser* dan *downcomer* terhubung. Reaktor *air-lift* dengan *eksternal loop* merupakan kolom bergelembung dimana *riser* dan *downcomer* merupakan 2 tabung yang terpisah dan dihubungkan secara horizontal antara bagian atas dan bawah reaktor. Selain itu reaktor *air-lift* juga dikelompokkan berdasarkan *sparger* yang dipakai, yaitu statis dan dinamis. Pada reaktor *air lift* dengan *sparger* dinamis, *sparger* ditempatkan pada *riser* dan atau *downcomer* yang dapat diubahubah letaknya (Christi, 1989; William, 2002).

Secara teoritis reaktor *air-lift* digunakan untuk beberapa proses kontak gas cairan atau *slurry*. Reaktor ini sering digunakan untuk beberapa fermentasi aerob, pengolahan limbah, dan operasi-operasi sejenis.



Gambar 2.1 Tipe reaktor *air-lift*

Keuntungan penggunaan reaktor *air-lift* dibanding reaktor konvensional lainnya, diantaranya :

1. Perancangannya sederhana, tanpa ada bagian yang bergerak.
2. Aliran dan pengadukan mudah dikendalikan.
3. Waktu tinggal dalam reaktor seragam.
4. Kontak area lebih luas dengan input yang rendah.
5. Meningkatkan perpindahan massa.
6. Memungkinkan tangki yang besar sehingga meningkatkan produk.

Kelemahan reaktor *air lift* antara lain:

1. Biaya investasi awal mahal terutama skala besar.
2. Membutuhkan tekanan tinggi untuk skala proses yang besar.
3. Efisiensi kompresi gas rendah.
4. Pemisahan gas dan cairan tidak efisien karena timbul busa (*foaming*).

Dalam aplikasi reaktor *air-lift* terdapat 2 hal yang mendasari mekanisme kerja dari reaktor tersebut, yaitu hidrodinamika dan transfer gas-cair.

2.2 Hidrodinamika Reaktor

Di dalam perancangan bioreaktor, faktor yang sangat berpengaruh adalah hidrodinamika reaktor, transfer massa gas-cair, rheologi proses, dan morfologi produktifitas organisme. Hidrodinamika reaktor mempelajari perubahan dinamika cairan dalam reaktor sebagai akibat laju alir yang masuk reaktor dan karakteristik cairannya. Hidrodinamika reaktor meliputi *hold up gas* (fraksi gas saat penghamburan) dan laju sirkulasi cairan. Kecepatan sirkulasi cairan

dikontrol oleh *hold up gas*, sedangkan *hold up gas* dipengaruhi oleh kecepatan kenaikan gelembung. Sirkulasi juga mempengaruhi turbulensi, koefisien perpindahan massa dan panas serta tenaga yang dihasilkan.

Hold up gas atau fraksi kekosongan gas adalah fraksi volume fase gas pada *disperse* gas-cair atau *slurry*. *Hold up gas* keseluruhan (ε).

$$\varepsilon = \frac{V_{\varepsilon}}{V_L - V_{\varepsilon}} \quad \dots (1)$$

dimana :

- ε = *hold up gas*
- V_{ε} = volume gas (cc/s)
- V_L = volume cairan (cc/s)

Hold up gas digunakan untuk menentukan waktu tinggal gas dalam cairan. *Hold up gas* dan ukuran gelembung mempengaruhi luas permukaan gas cair yang diperlukan untuk perpindahan massa. *Hold up gas* tergantung pada kecepatan kenaikan gelembung, luas gelembung dan pola aliran. *Inverted manometer* adalah manometer yang digunakan untuk mengetahui beda tinggi cairan akibat aliran gas, yang selanjutnya dipakai pada perhitungan *hold up gas* (ε) pada *riser* dan *downcomer*. Besarnya *hold up gas* pada *riser* dan *downcomer* dapat dihitung dengan persamaan :

$$\varepsilon = \frac{\rho_L}{\rho_L - \rho_{\varepsilon}} \times \frac{\Delta h}{z} \quad \dots (2)$$

$$\varepsilon_r = \frac{\rho_L}{\rho_L - \rho_g} \times \frac{\Delta h_r}{z} \quad \dots (3)$$

$$\varepsilon_d = \frac{\rho_L}{\rho_L - \rho_g} \times \frac{\Delta h_d}{z} \quad \dots (4)$$

dimana :

- ε = *hold up gas*
- ε_r = *hold up gas riser*
- ε_d = *hold up gas downcomer*
- ρ_L = densitas cairan (gr/cc)
- ρ_g = densitas gas (gr/cc)
- Δh_r = perbedaan tinggi manometer *riser* (cm)

Δh_d = perbedaan tinggi manometer *downcomer* (cm)

z = perbedaan antara taps tekanan

Hold up gas total dalam reaktor dapat dihitung dari keadaan tinggi dispersi pada saat aliran gas masuk reaktor sudah mencapai keadaan tunak (*steady state*). Persamaan untuk menghitung *hold up gas* total adalah sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_i}{h_0} \quad \dots (5)$$

dimana : ε = *hold up gas*

h_0 = tinggi campuran gas setelah kondisi tunak (cm)

h_i = tinggi cairan mula-mula dalam reaktor (cm)

Hubungan antara *hold up gas riser* (ε_r) dan *downcomer* (ε_d) dapat dinyatakan dengan persamaan 6 :

$$\varepsilon = \frac{A_r \cdot \varepsilon_r + A_d \cdot \varepsilon_d}{A_r + A_d} \quad \dots (6)$$

dimana : A_r = luas bidang zona *riser* (cm²)

A_d = luas bidang zona *downcomer* (cm²)

Sirkulasi cairan dalam reaktor *air lift* disebabkan oleh perbedaan *hold up gas riser* dan *downcomer*. Sirkulasi fluida ini dapat dilihat dari perubahan fluida, yaitu naiknya aliran fluida pada *riser* dan menurunnya aliran pada *downcomer*. Besarnya laju sirkulasi cairan pada *downcomer* (ULd) ditunjukkan oleh persamaan 7 dan laju sirkulasi cairan pada *riser* ditunjukkan oleh persamaan 8 :

$$U_{ld} = \frac{L_c}{t_c} \quad \dots (7)$$

dimana :

U_{ld} = laju sirkulasi cairan pada *downcomer* (cm/s)

L_c = panjang lintasan dalam reaktor (cm)

t_c = waktu (s)

Dikarenakan tinggi dan *volumetric* aliran *liquid* pada *riser* dan *downcomer* sama, maka hubungan antara laju aliran cairan pada *riser* dan *downcomer* yaitu:

$$U_{lr} \cdot A_r = U_{ld} \cdot A_d \dots (8)$$

dimana :

- U_{lr} = laju sirkulasi cairan *riser* (cm/s)
- U_{ld} = laju sirkulasi cairan *downcomer* (cm/s)
- A_r = luas bidang zona *riser* (cm²)
- A_d = luas bidang zona *downcomer* (cm²)

Waktu tinggal tld dan tlr dari sirkulasi *liquid* pada *downcomer* dan *riser* tergantung pada *hold up gas* seperti ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\frac{t_{lr}}{t_{ld}} = \frac{A_d}{A_r} \frac{1 - \epsilon_r}{1 - \epsilon_d} \dots (9)$$

dimana :

- t_{lr} = waktu tinggal sirkulasi *liquid* pada *riser* (s)
- t_{ld} = waktu tinggal sirkulasi *liquid* pada *downcomer* (s)
- A_r = luas bidang zona *riser* (cm²)
- A_d = luas bidang zona *downcomer* (cm²)
- ϵ_r = *hold up gas riser*
- ϵ_d = *hold up gas downcomer*

2.3 Perpindahan Massa

Perpindahan massa antar fase gas-cair terjadi karena adanya beda konsentrasi antara kedua fase. Perpindahan massa yang terjadi yaitu oksigen dari fase gas ke fase cair. Kecepatan perpindahan massa ini dapat ditentukan dengan koefisien perpindahan massa.

Koefisien perpindahan massa *volumetric* (K_{La}) adalah kecepatan spesifik dari perpindahan massa (gas teradsorpsi per unit waktu, per unit luas kontak, per beda konsentrasi). K_{La} tergantung pada sifat fisik dari sistem dan dinamika fluida. Terdapat 2 istilah tentang koefisien transfer massa *volumetric*, yaitu:

1. Koefisien transfer massa K_{La} , dimana tergantung pada sifat fisik dari cairan dan dinamika fluida yang dekat dengan permukaan cairan.
2. Luas dari gelembung per unit volum dari reaktor.
3. Ketergantungan K_{La} pada energi masuk adalah kecil, dimana luas kontak adalah fungsi dari sifat fisik design geometri dan hidrodinamika.

Luas kontak adalah parameter gelembung yang tidak bisa ditetapkan. Di sisi lain koefisien transfer massa pada kenyataannya merupakan faktor yang proposional antara fluks massa dan substrat (atau bahan kimia yang ditransfer), N_s , dan gradien yang mempengaruhi fenomena beda konsentrasi. Hal ini dapat dirumuskan dengan persamaan 10 :

$$N = K_{La} (C_1 - C_2) \dots (10)$$

dimana :

- N = fluks massa
- K_{La} = koefisien transfer massa gas-cair (1/detik)
- C_1 = konsentrasi O_2 masuk (gr/L)
- C_2 = konsentrasi O_2 keluar (gr/L)

Untuk perpindahan massa oksigen ke dalam cairan dapat dirumuskan sebagai kinetika proses, seperti di dalam persamaan 11 :

$$\frac{dC}{dt} = K_{La} (C_1 - C_2) \dots (11)$$

dimana: C = konsentrasi udara (gr/L)

Koefisien perpindahan gas-cair merupakan fungsi dari laju alir udara atau kecepatan *superfital* gas, viskositas, dan luas area *riser*, dan *downcomer/geometric* alat.

Pengukuran konstanta perpindahan massa gas-cair dapat dilakukan dengan metode sebagai berikut:

1. Metode OTR-Cd

Dasar dari metode ini adalah persamaan perpindahan massa (persamaan 11) semua variabel kecuali K_0A dapat terukur. Ini berarti bahwa dapat digunakan dalam sistem kebutuhan oksigen, konsentrasi oksigen dari fase gas yang masuk dan meninggalkan bioreaktor dapat dianalisa.

2. Metode Dinamik

Metode ini berdasarkan pengukuran C_{0i} dari cairan, deoksigenasi sebagai fungsi waktu, setelah aliran udara masuk. Deoksigenasi dapat diperoleh dengan mengalirkan oksigen melalui cairan atau menghentikan aliran udara, dalam hal ini kebutuhan oksigen dalam fermentasi.

3. Metode Serapan Kimia

Metode ini berdasarkan reaksi kimia dari absorpsi gas (O_2 , CO_2) dengan penambahan bahan kimia pada fase cair (Na_2SO_3 , KOH). Reaksi ini sering digunakan pada reaksi bagian dimana konsentrasi bulk cairan dalam komponen gas = 0 dan absorpsi dapat mempertinggi perpindahan kimia.

4. Metode Kimia OTR- C_{0i}

Metode ini pada dasarnya sama dengan metode OTR-Cd. Namun, seperti diketahui beberapa sulfit secara terus-menerus ditambahkan pada cairan selama kondisi reaksi tetap dijaga pada daerah dimana nilai C_{0i} dapat diketahui. C_{0i} dapat diukur dari penambahan sulfit. Juga reaksi konsumsi oksigen yang lain dapat digunakan.

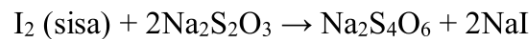
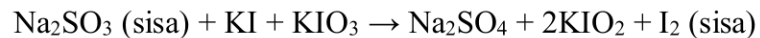
5. Metode Sulfit

Metode ini berdasarkan pada reaksi reduksi natrium sulfit. Mekanisme reaksi yang terjadi:

Reaksi dalam reaktor:



Reaksi saat analisa:



Mol Na_2SO_3 mula-mula (a)

$$= \frac{N \text{ } Na_2SO_3}{eq} \times V \text{ reaktor}$$

Mol I_2 excess (b)

$$= \frac{N \text{ } KI}{eq} \times V \text{ KI}$$

Mol Na_2SO_3 sisa (c)

$$= b - \frac{1}{2} \left(\frac{N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}{\text{eq}} \times V \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \right)$$

Mol O_2 yang bereaksi (d)

$$= \frac{1}{2} \times (a - c)$$

O_2 yang masuk reaktor (e)

$$= \frac{d \times \text{BM } \text{O}_2}{t \times 60}$$

Koefisien transfer massa gas-cair (K_{La})

$$K_{La} = \frac{e}{0,008}$$

2.4 Kegunaan Hidrodinamika Reaktor dalam Industri

Berikut ini beberapa proses yang dasar dalam perancangan dan operasinya menggunakan prinsip hidrodinamika reaktor:

1. *Bubble Column* Reaktor

Contoh aplikasi *bubble column reactor* antara lain:

- Absorpsi polutan dengan zat tertentu (misal CO_2 dengan KOH)
- Untuk bioreaktor

2. *Air-lift* Reaktor

Contoh aplikasi *air-lift* reaktor antara lain:

- Proses produksi laktase (enzim lignin analitik yang dapat mendegradasi lignin) dengan mikroba
- Proses produksi glukon (polisakarida yang tersusun dari monomer glukosa dengan ikatan 1,3 yang digunakan sebagai bahan baku obat kanker dan tumor) menggunakan mikroba
- Water treatment* pada pengolahan air minum
- Pengolahan limbah biologis

BAB III

METODE PRAKTIKUM

3.1 Rancangan Percobaan

3.1.1 Rancangan Praktikum

3.1.2 Penetapan Variabel

Variabel tetap :

Variabel berubah :

3.2 Bahan dan Alat yang Digunakan

3.2.1 Bahan

1. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,1 N
2. KI 0,1 N
3. Na_2SO_3
4. Larutan amylum
5. Zat warna
6. Aquadest

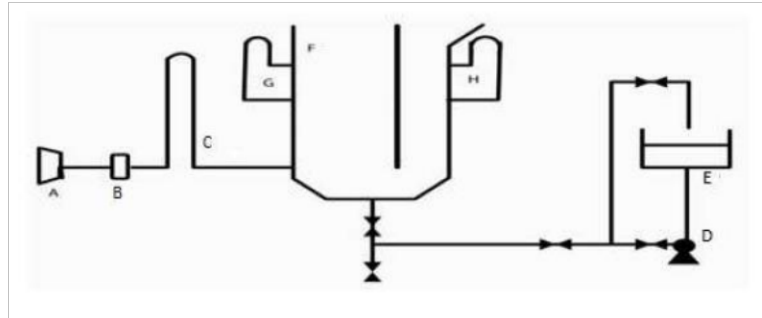
3.2.2 Alat

1. Buret, statif, klem
2. Gelas arloji
3. Beaker glass
4. Rotameter
5. Erlenmeyer
6. Inverted manometer
7. Gelas ukur
8. Sparger
9. Pipet tetes
10. Tangki cairan
11. Kompresor
12. Reaktor

13. Sendok reagen

14. Picnometer

3.3 Gambat Rangkaian Alat



Gambar 3.1 Rangkaian alat hidrodinamika reaktor

Keterangan :

A. Kompresor

B. *Sparger*

C. Rotameter daerah riser

D. Pompa

E. Tangki penampung cairan

F. Reaktor

G. *Inverted manometer*

H. *Inverted manometer*

3.4 Prosedur Praktikum

1. Menentukan *hold-up* pada *riser* dan *downcomer*

- Mengisi reaktor dengan air dan menghidupkan pompa, setelah reaktor terisi air ... cm maka pompa dimatikan.
- Menambahkan Na_2SO_3 ... N ke dalam reaktor, ditunggu 5 menit agar larutan Na_2SO_3 larut dalam air.
- Melihat ketinggian *inverted manometer*.
- Hidupkan kompresor kemudian melihat ketinggian *inverted manometer* setelah kompresor dihidupkan.

- e. Ambil sampel untuk titrasi dan menghitung densitasnya.
 - f. Menghitung besarnya *hold-up gas*.
 - g. Mengulangi langkah-langkah tersebut untuk variabel operasi lainnya.
2. Menentukan konstanta perpindahan massa gas-cair
- a. Mengambil sampel sebanyak 10 ml.
 - b. Menambahkan KI sebanyak 5 ml ke dalam sampel.
 - c. Menitrasi dengan $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$... N sampai terjadi perubahan warna dari coklat tua menjadi kuning jernih.
 - d. Menambahkan 3 tetes amilum.
 - e. Menitrasi sampel kembali dengan larutan $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$... N.
 - f. TAT didapat setelah warna putih keruh.
 - g. Mencatat kebutuhan titran.
 - h. Ulangi sampai volume titran tiap 5 menit konstan.
3. Menentukan kecepatan sirkulasi
- a. Merangkai alat yang digunakan.
 - b. Mengisi reaktor dengan air dan Na_2SO_3 ... N.
 - c. Menghidupkan kompresor.
 - d. Memasukkan zat warna pada reaktor *downcomer*.
 - e. Mengukur waktu yang dibutuhkan oleh cairan dengan indikator zat warna tertentu untuk mencapai lintasan yang telah digunakan.
 - f. Menghitung besarnya kecepatan sirkulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Christi, M. Y., 1989, *Air-lift Bioreactor*, El Sevier Applied Science, London.
- Christi, Y, Fu, Wengen and Young, M.M., 1994, *Relationship Between Riser and Downcomer Gas Hold-Up In Internal-Loop Airlift Reactors Without Gas-Liquid Separator*, The Chemical Engineering Journal, 57 (1995), pp. B7-B13, Canada.
- Haryani dan Widayat, 2011, *Pengaruh Viskositas dan Laju Alir terhadap Hidrodinamika dan Perpindahan Massa dalam Proses Produksi Asam Sitrat dengan Bioreaktor Air-Lift dan Kapang Aspergillus Niger*, Reaktor, 13(3), pp. 194 - 200.
- Popovic, M.K. and Robinson, C.W., 1989, *Mass Transfer Stuy of External Loop Airlift and a Buble Column*. AIChEJ, 35(3), pp. 393-405
- Widayat, 2004, *Pengaruh Laju Alir dan Viskositas Terhadap Perpindahan Massa Gas-Cair Fluida Non Newtonian Dalam Reaktor Air Lift Rectangular*, Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, 21-22 Juli 2004, Semarang, ISSN : 1411-4216, I-9-1 s.d. I-9-4
- William, J. A., 2002, *Keys To Bioreactor Selections*, Chem. Eng.