

## **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 Rumusan Masalah**

(Praktikan menentukan sendiri perumusan masalah dalam praktikum hidrodinamika reaktor)

#### **1.3 Tujuan Percobaan**

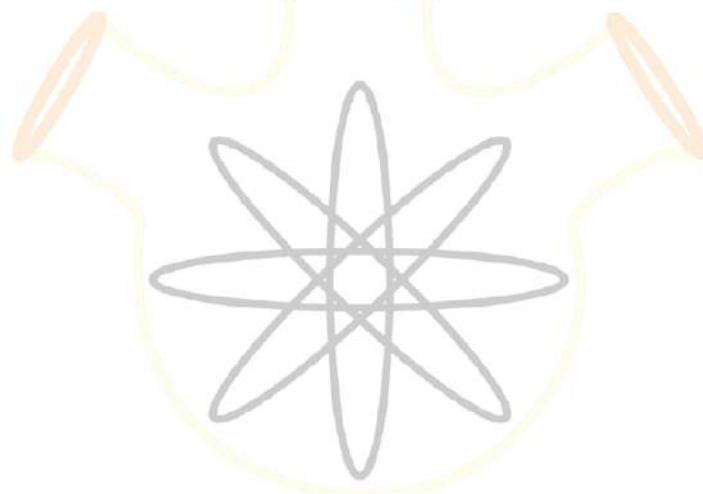
Setelah melakukan percobaan ini, mahasiswa diharapkan dapat

1. Menentukan pengaruh variabel kondisi operasi terhadap *hold-up gas* ( $\varepsilon$ ).
2. Menentukan pengaruh variabel kondisi operasi terhadap laju sirkulasi ( $U_L$ ).

3. Menentukan pengaruh variabel kondisi operasi terhadap koefisien transfer massa gas-cair ( $K_{La}$ ).
4. Menentukan pengaruh waktu tinggal  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  terhadap koefisien transfer massa gas-cair ( $K_{La}$ ).

#### 1.4 Manfaat Percobaan

1. Mahasiswa dapat menentukan pengaruh variabel kondisi operasi terhadap *hold-up gas* ( $\epsilon$ ).
2. Mahasiswa dapat menentukan pengaruh variabel kondisi operasi terhadap laju sirkulasi ( $U_L$ ).
3. Mahasiswa dapat menentukan pengaruh variabel kondisi operasi terhadap koefisien transfer massa gas-cair ( $K_{La}$ ).
4. Mahasiswa dapat menentukan pengaruh waktu tinggal  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  terhadap koefisien transfer massa gas-cair ( $K_{La}$ ).



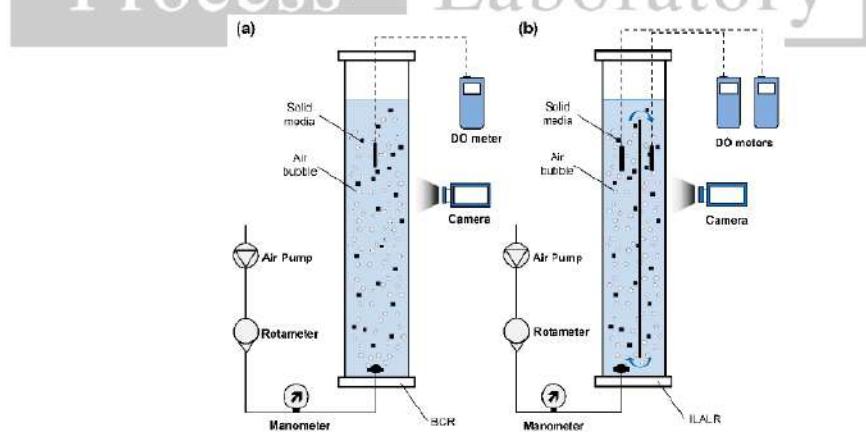
Process Laboratory

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Reaktor Kolom Gelembung dan *Air Lift*

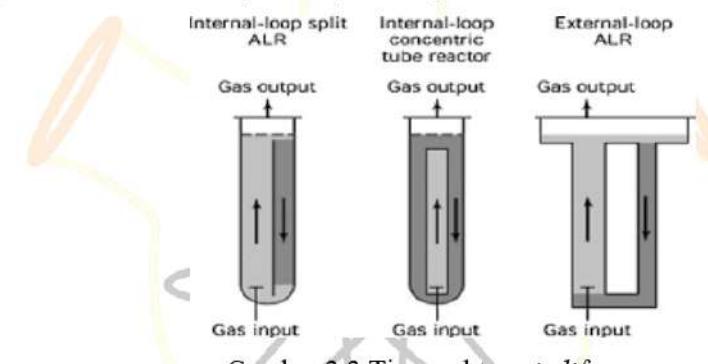
Reaktor adalah suatu alat tempat terjadinya suatu reaksi kimia untuk mengubah suatu bahan menjadi bahan lain yang mempunyai nilai ekonomis lebih tinggi. Reaktor kolom gelembung merupakan reaktor heterogen yang mereaksikan dua zat dengan fase yang berbeda yaitu fase cair-gas. Reaktor *air-lift* adalah jenis spesifik dari reaktor kolom gelembung yang memiliki sirkulasi cairan akibat dari aliran udara yang masuk dalam reaktor tersebut (Im *et al.*, 2019). Reaktor kolom gelembung memiliki desain yang sangat sederhana terdiri dari satu zona dengan *sparger* yang dipasang dibagian bawah reaktor. Keberadaan *sparger* ini menghasilkan gelembung gas halus yang memungkinkan pencampuran dan aerasi. Desain yang sederhana dari reaktor kolom gelembung menjadikan reaktor kolom gelembung memiliki keunggulan dari segi biaya yang lebih murah. Berbeda dengan reaktor kolom gelembung, reaktor *air-lift* terdiri dari dua zona yang saling terhubung. Dua zona ini terdiri dari *riser* yang terdapat *sparger* dimana campuran gas disemburkan dan memiliki aliran ke atas. Sedangkan zona yang satunya disebut *downcomer* yang tidak menerima gas dan memiliki aliran kebawah. Adanya sirkulasi dari reaktor *air-lift* memiliki kelebihan dalam efisiensi pencampuran tanpa adanya agitasi fisik (Uyar *et al.*, 2023). 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).



Gambar 2.1 Reaktor kolom gelembung dan reaktor *air-lift*

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 diubah-ubah 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 2.2 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 ( $\epsilon$ ).

$$\epsilon = \frac{V_G}{V_G + V_L} \quad (2.1)$$

Dimana:

$\epsilon$  = *hold up gas*

$V_G$  = volume gas (cm<sup>3</sup>/s)

$V_L$  = volume cairan (cm<sup>3</sup>/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* ( $\epsilon$ ) pada *riser* dan *downcomer*. Besarnya *hold up gas* pada *riser* dan *downcomer* dapat dihitung dengan persamaan.

$$\epsilon = \frac{\rho_L}{\rho_L - \rho_g} \times \frac{\Delta h}{z} \quad (2.2)$$

$$\epsilon_r = \frac{\rho_L}{\rho_L - \rho_g} \times \frac{\Delta h_r}{z} \quad (2.3)$$

$$\epsilon_d = \frac{\rho_L}{\rho_L - \rho_g} \times \frac{\Delta h_d}{z} \quad (2.4)$$

Dimana:

$\epsilon$  = *hold up gas*

$\epsilon_r$  = *hold up gas riser*

$\epsilon_d$  = *hold up gas downcomer*

$\rho_L$  = densitas cairan (gr/cm<sup>3</sup>)

$\rho_g$  = densitas gas (gr/cm<sup>3</sup>)

$\Delta h_r$  = perbedaan tinggi manometer *riser* (cm)

$\Delta h_d$  = 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.

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_i}{h_0} \quad (2.5)$$

Dimana:

$\varepsilon$  = *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* ( $\varepsilon_r$ ) dan *downcomer* ( $\varepsilon_d$ ) dapat dinyatakan dengan persamaan 2.6.

$$\varepsilon = \frac{A_r \cdot \varepsilon_r + A_d \cdot \varepsilon_d}{A_r + A_d} \quad (2.6)$$

Dimana:

$A_r$  = luas bidang zona *riser* ( $\text{cm}^2$ )

$A_d$  = luas bidang zona *downcomer* ( $\text{cm}^2$ )

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* ( $U_{Ld}$ ) ditunjukkan oleh persamaan 2.7 dan laju sirkulasi cairan pada *riser* ditunjukkan oleh persamaan 2.8.

$$U_{Ld} = \frac{L_c}{t_c} \quad (2.7)$$

Dimana:

$U_{Ld}$  = laju sirkulasi cairan pada *downcomer* ( $\text{cm/s}$ )

$L_c$  = 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.

$$U_{Lr} \cdot A_r = U_{Ld} \cdot A_d \quad (2.8)$$

Dimana:

$U_{Lr}$  = laju sirkulasi cairan *riser* ( $\text{cm/s}$ )

$U_{Ld}$  = laju sirkulasi cairan *downcomer* ( $\text{cm/s}$ )

$A_r$  = luas bidang zona *riser* ( $\text{cm}^2$ )

$A_d$  = luas bidang zona *downcomer* ( $\text{cm}^2$ )

Waktu tinggal  $t_{Ld}$  dan  $t_{Lr}$  dari sirkulasi *liquid* pada *downcomer* dan *riser* tergantung pada *hold up gas* seperti ditunjukan pada persamaan berikut.

$$\frac{t_{Lr}}{t_{Ld}} = \frac{A_d}{A_r} \frac{1 - \varepsilon_r}{1 - \varepsilon_d} \quad (2.9)$$

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* ( $\text{cm}^2$ )
- $A_d$  = luas bidang zona *downcomer* ( $\text{cm}^2$ )
- $\varepsilon_r$  = *hold up gas riser*
- $\varepsilon_d$  = *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 terabsorpsi per unit waktu, per unit luas kontak, per beda konsentrasi).  $K_{La}$  tergantung pada sifat fisik dari sistem dan dinamika fluida. Terdapat 3 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 2.10.

$$N = K_{La} (C_1 - C_2) \quad (2.10)$$

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 2.11.

$$\frac{dC}{dt} = K_{La}(C_1 - C_2) \quad (2.11)$$

Dimana:

C = konsentrasi udara (gr/L)

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

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

#### 1. Metode OTR-C<sub>d</sub>

Dasar dari metode ini adalah persamaan perpindahan massa (persamaan 2.11) semua variabel kecuali K<sub>0A</sub> 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<sub>0i</sub> 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<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) dengan penambahan bahan kimia pada fase cair (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, KOH). Reaksi ini sering digunakan pada reaksi bagian dimana konsentrasi bulk cairan dalam komponen gas = 0 dan absorpsi dapat mempertinggi perpindahan kimia.

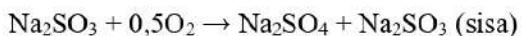
#### 4. Metode Kimia OTR-C<sub>0i</sub>

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

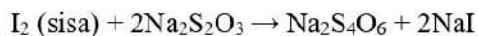
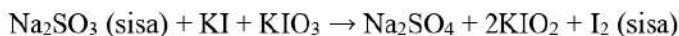
#### 5. Metode Sulfit

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

Reaksi dalam reaktor:



Reaksi saat analisa:



Mol Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> mula-mula (a)

$$= \frac{\text{N Na}_2\text{SO}_3}{\text{eq}} \times V \text{ reaktor} \quad (2.12)$$

Mol I<sub>2</sub> excess (b)

$$= \frac{\text{N KI}}{\text{eq}} \times V \text{ KI} \quad (2.13)$$

Mol Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> sisa (c)

$$= b - \frac{1}{2} \left( \frac{\text{N Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}{\text{eq}} \times V \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \right) \quad (2.14)$$

Mol O<sub>2</sub> yang bereaksi (d)

$$= \frac{1}{2} \times (a - c) \quad (2.15)$$

O<sub>2</sub> yang masuk reaktor (e)

$$= \frac{d \times BM \text{ O}_2}{t \times 60} \quad (2.16)$$

Koefisien transfer massa gas-cair (K<sub>La</sub>)

$$= \frac{e}{0,008} \quad (2.17)$$

Nilai konstanta 0,008 pada persamaan K<sub>La</sub> diperoleh dari persamaan *volumetric O<sub>2</sub> transfer coefficient* sebagai berikut:

$$K_{La} = \frac{nO_2}{\Delta C} \quad (2.18)$$

Dimana:

nO<sub>2</sub> = Fluks perpindahan massa O<sub>2</sub>

ΔC = Concentration driving force kedua fase

Reaksi:



Massa Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> yang dibutuhkan untuk 1 gram O<sub>2</sub>:

$$\frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \text{ g O}_2} \times \frac{1 \text{ mol Na}_2\text{SO}_3}{0,5 \text{ mol O}_2} \times \frac{126 \text{ g Na}_2\text{SO}_3}{\text{mol Na}_2\text{SO}_3} = \frac{7,875 \text{ g Na}_2\text{SO}_3}{\text{mol Na}_2\text{SO}_3}$$

$$\Delta C = \frac{7,875 \text{ g Na}_2\text{SO}_3}{L} = 0,007875 \frac{\text{g Na}_2\text{SO}_3}{L} = 0,008 \frac{\text{g Na}_2\text{SO}_3}{L}$$

Jadi, nilai K<sub>La</sub> adalah:

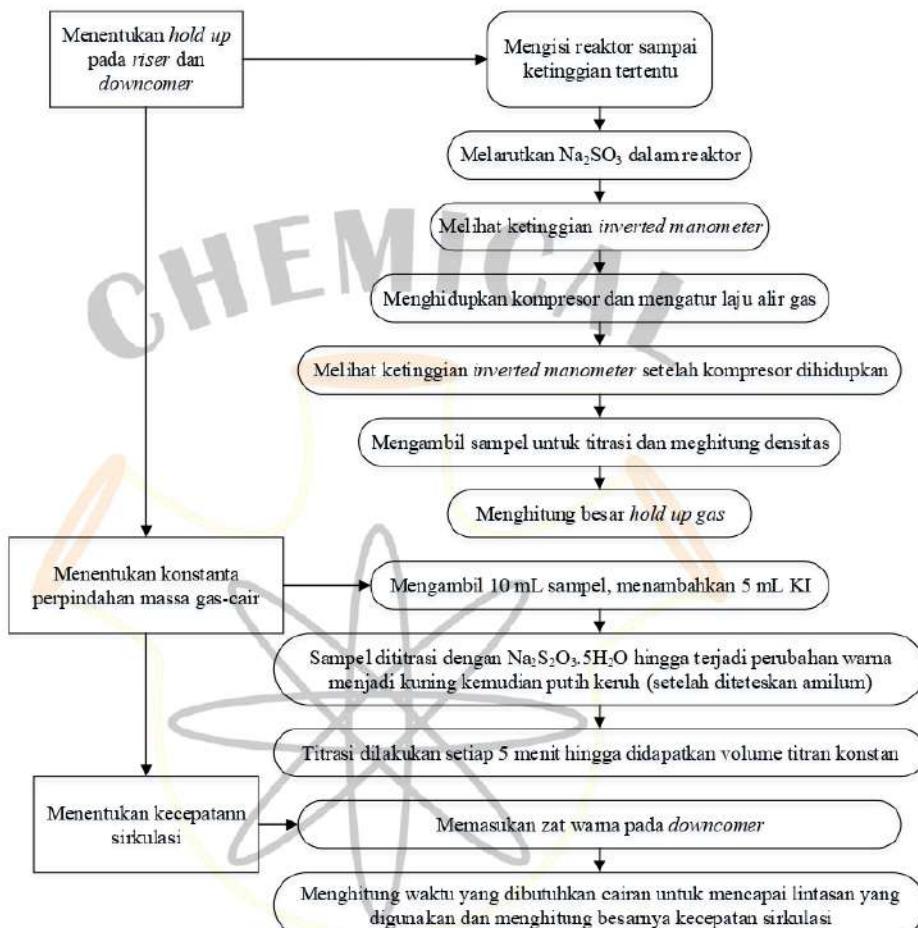
$$K_{La} = \frac{nO_2}{\Delta C} = \frac{e}{0,008} \quad (2.19)$$

## BAB III

### METODE PRAKTIKUM

#### 3.1 Rancangan Percobaan

##### 3.1.1 Rancangan Praktikum



Gambar 3.1 Skema rancangan praktikum

##### 3.1.2 Penetapan Variabel

Variabel tetap :

Variabel berubah :

Process Laboratory

#### 3.2 Bahan dan Alat yang Digunakan

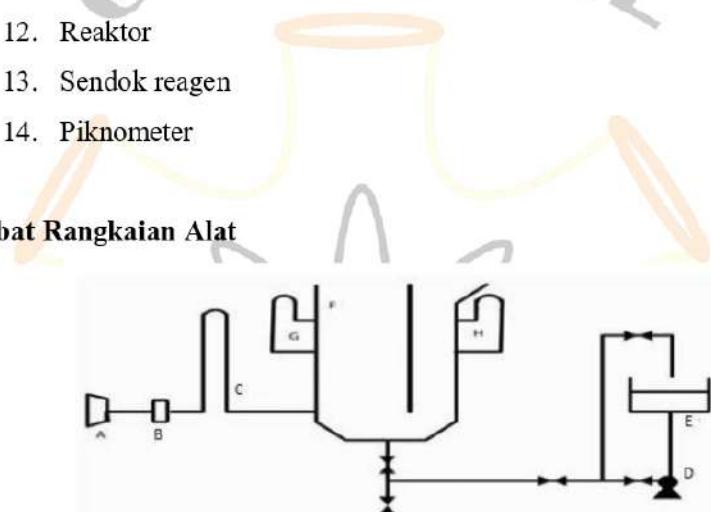
##### 3.2.1 Bahan

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.  $\text{Na}_2\text{SO}_3$
4. Larutan amilum
5. Zat wama
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. Pliknometer

### 3.3 Gambat Rangkaian Alat



Gambar 3.2 Rangkaian alat hidrodinamika reaktor

Keterangan :

- A. Kompresor  
B. *Sparger*  
C. Rotameter daerah *riser*  
D. Pompa  
E. Tangki penampung cairan  
F. Reaktor  
G. *Inverted manometer area riser*  
H. *Inverted manometer area downcomer*

### 3.4 Prosedur Praktikum

1. Menentukan *hold-up* pada *riser* dan *downcomer*
  - a. Mengisi reaktor dengan air dan menghidupkan pompa, setelah reaktor terisi air ... cm maka pompa dimatikan.
  - b. Menambahkan  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  ... N ke dalam reaktor, ditunggu 5 menit agar larutan  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  larut dalam air.
  - c. Melihat ketinggian *inverted manometer*.
  - d. 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 dan diakhiri setalah titrasi tiga kali konstan.
  - i. Mengulangi langkah-langkah tersebut untuk variabel operasi lainnya.
3. Menentukan kecepatan sirkulasi
  - a. Merangkai alat yang digunakan.
  - b. Mengisi reaktor dengan air dan  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  ... N.
  - c. Menghidupkan kompresor.
  - d. Memasukkan zat warna secukupnya 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.
  - g. Mengulangi langkah-langkah tersebut untuk variabel operasi lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Chisti, Y., Wenge, F., & Moo-Young, M. (1995). Relationship between riser and downcomer gas hold-up in internal-loop airlift reactors without gas-liquid separators. *The Chemical Engineering Journal and The Biochemical Engineering Journal*, 57(1), B7-B13.
- Christi, M. Y. (1989). *Air-lift Bioreactor*. El Sevier Applied Science: London.
- Haryani, K. (2011). Studi kinetika pertumbuhan Aspergillus niger pada fermentasi asam sitrat dari kulit nanas dalam reaktor air-lift external loop. *Momentum*, 7(1), 48-52.
- Im, H., Park, J., & Lee, J. W. (2019). Modeling and experiment of gas desorption of bubble column with an external loop in the heterogeneous flow regime. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 36(10), 1680-1687. 10.1007/s11814-019-0368-x
- Popovic, M. K., & Robinson, C. W. (1989). Mass transfer studies of external-loop airlifts and a bubble column. *AIChE journal*, 35(3), 393-405. <https://doi.org/10.1002/aic.690350307>
- Uyar, B., Ali, M. D., & Uyar, G. E. O. (2024). Design parameters comparison of bubble column, airlift and stirred tank photobioreactors for microalgae production. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 47(2), 195-209. <https://doi.org/10.1007/s00449-023-02952-8>
- 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.
- Williams, J. A. (2002). Keys to bioreactor selections. *Chemical engineering progress*, 98(3), 34-41.

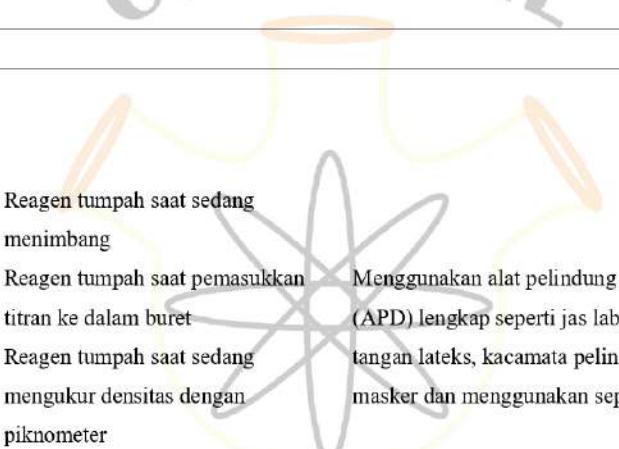
## IDENTIFIKASI BAHAYA DAN ANALISA RESIKO

### MATERI : HIDRODINAMIKA REAKTOR

#### IDENTIFIKASI BAHAYA (IB)

A	Mekanik	D	Lingkungan	E	Bahan Kimia	G	Bahaya Lainnya
A1	Penanganan manual	✓	D1 Kebisingan	✓	E1 Racun	✓	G1 Gas Terkompresi ✓
A2	Bagian yang bergerak	✓	D2 Getaran	✓	E2 Iritan	✓	G2 Radiasi Pengion
A3	Bagian yang berputar	✓	D3 Penerangan		E3 Korosif	✓	G3 Radiasi UV
A4	Pemotongan		D4 Kelembaban		E4 Karsinogenik		G4 Kelelahan
B	Biologi		D5 Temperatur		E5 Mudah Terbakar		G5 Ruang Sempit
B1	Bakteri		D6 Bahaya Perjalanan		E6 Mudah Meledak		G6 Penuh Sesak
B2	Virus		D7 Permukaan yang Licin	✓	E7 Cryogenics		G7 Termometer
B3	Jamur		D8 Limbah Padat		F Peralatan		
C	Listrik		D9 Kualitas Udara		F1 Bejana Tekan		
C1	Voltase Tinggi		D10 Pekerjaan Soliter		F2 Peralatan Panas		
C2	Listrik Statis	✓	D11 Percikan/ Tetesan/ Banjir	✓	F3 Laser		
C3	Kabel	✓	D12 Tumpahan Serbuk		F4 Pembuluh Kaca		

#### DETAIL RESIKO

IB	Resiko (setelah tindakan pengendalian)				Identifikasi Resiko	Tindakan Pengendalian Untuk Meminimalisir Resiko	Tindakan Pertolongan Pertama
	Tinggi	Sedang	Rendah	Minimal			
<b>1. PREPARASI/TAHAP AWAL</b>							
✓					<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reagen tumpah saat sedang menimbang</li> <li>- Reagen tumpah saat pemasukan titran ke dalam buret</li> <li>- Reagen tumpah saat sedang mengukur densitas dengan piknometer</li> <li>- Terkena paparan reagen</li> </ul> 	<p>Menggunakan alat pelindung diri (APD) lengkap seperti jas lab, sarung tangan lateks, kacamata pelindung, masker dan menggunakan sepatu.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menghentikan sumber tumpahan</li> <li>- Menjauh dari tumpahan reagen</li> <li>- Membersihkan tumpahan reagen</li> <li>- Apabila terhirup, pergi ke tempat dengan udara segar</li> <li>- Apabila terkena kulit dan mata, bilaslah dengan air yang banyak</li> <li>- Apabila tertelan, minum air putih sebanyak 2 gelas</li> <li>- Melepaskan pakaian yang terkontaminasi reagen</li> </ul>

**Process Laboratory**

- |   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| √ | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Air tumpah pada saat pengisian ke ember penampungan sehingga dapat menyebabkan terpeleset</li> <li>- Air tumpah pada saat pengisian ke reaktor sehingga dapat menyebabkan terpeleset</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Melakukan pengisian air dengan hati – hati</li> <li>- Membuka keran secara perlahan agar air mengalir dengan kecepatan rendah</li> </ul>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Menjauh dari tumpahan air</li> <li>- Membersihkan tumpahan air</li> <li>- Apabila terluka, bersihkan dan obati dengan P3K</li> </ul>  |
| √ | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Terjatuh pada saat pemasukan reagen</li> <li>- Terjatuh pada saat pengambilan sampel</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Menaiki kursi dengan hati – hati</li> <li>- Memastikan kursi yang akan digunakan kokoh dan tidak rapuh</li> <li>- Meminta bantuan orang lain untuk memegangi kursi</li> </ul> | <p>Apabila terluka, bersihkan dan obati dengan P3K</p>   |
| √ | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Saat menyalakan pompa terdapat resiko tersengat listrik atau pompa terbakar</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Memastikan kabel dan colokan sumber listrik tidak basah ataupun terkelupas</li> <li>- Memakai APD lengkap</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mematikan sumber arus listrik</li> <li>- Dorong tubuh korban dengan benda isolator</li> <li>- Cari pertolongan medis jika terdapat luka bakar</li> <li>- Gunakan APAR apabila terjadi kebakaran pada pompa</li> </ul> |

## 2. PERCOBAAN UTAMA

# Process Laboratory

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Saat menyalakan kompresor terdapat resiko tersengat listrik/korslet atau kompresor terbakar</li> <li>- Saat menyalakan kompor listrik terdapat resiko tersengat listrik</li> <li>- Kebisingan akibat suara kompresor</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Memastikan kabel dan colokan sumber listrik tidak basah ataupun terkelupas</li> <li>- Memakai APD lengkap</li> <li>- Menggunakan ear plug</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mematikan sumber arus listrik</li> <li>- Dorong tubuh korban dengan benda isolator</li> <li>- Cari pertolongan medis jika terdapat luka bakar</li> <li>- Gunakan APAR apabila terjadi kebakaran pada pompa</li> <li>- Mematikan sumber kebisingan</li> <li>- Mengistirahatkan telinga</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Terjatuh pada saat pemasukkan zat warna</li> <li>- Terjatuh pada saat pengambilan sampel</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Menaiki kursi dengan hati – hati</li> <li>- Memastikan kursi yang akan digunakan kokoh dan tidak rapuh</li> <li>- Meminta bantuan orang lain untuk memegangi kursi</li> </ul> | <p>Apabila terluka, bersihkan dan obati dengan P3K</p>  |

### 3. ANALISA/TAHAP AKHIR

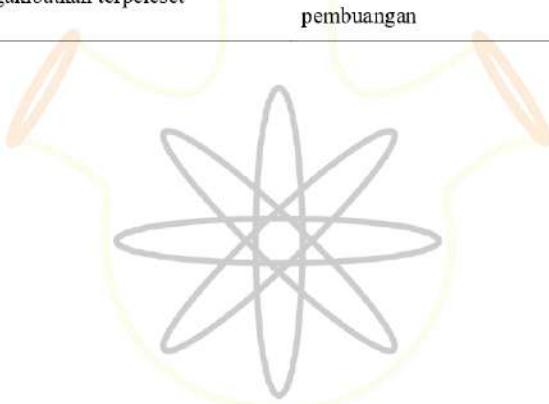
- |   |  |   |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Terkena tetesan titran saat melakukan titrasi</li> </ul> | <p>Menggunakan alat pelindung diri (APD) lengkap seperti jas lab, sarung tangan lateks, kacamata pelindung, masker dan menggunakan sepatu.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Apabila terkena kulit dan mata, bilaslah dengan air yang banyak</li> <li>- Apabila tertelan, minum air putih sebanyak 2 gelas</li> </ul> |
|---|--|---|

✓

- Terjadi tumpahan air pada saat proses drainase yang dapat mengakibatkan terpeleset

Melakukan pembukaan valve sesuai prosedur agar air yang keluar maksimal dan langsung ke tempat pembuangan

- Melepaskan pakaian yang terkontaminasi reagen
- Menjauh dari tumpahan air
- Membersihkan tumpahan air
- Apabila terluka, bersihkan dan obati dengan P3K



Process Laboratory