

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Reaksi kimia yang diterapkan dalam industri kimia dapat melibatkan bahan baku yang berbeda wujudnya, baik berupa padatan, gas, maupun cairan. Oleh karena itu, reaksi kimia dalam suatu industri dapat terjadi dalam fase tunggal (homogen) maupun fase ganda (heterogen), misalnya biner atau bahkan tersier (Coulson, 1996). Sebelum reaksi kimia berlangsung, salah satu atau lebih bahan baku (reaktan) akan berpindah dari aliran utamanya menuju ke lapisan antarfase/batas atau menuju aliran utama bahan baku yang lain yang berada di fase yang berbeda.

Absorpsi gas-cair merupakan proses heterogen yang melibatkan perpindahan komponen gas yang dapat larut menuju penyerap yang biasanya berupa cairan yang tidak mudah menguap (Franks, 1967). Reaksi kimia dalam proses absorpsi dapat terjadi di lapisan gas, lapisan antarfase, lapisan cairan, atau bahkan badan utama cairan, tergantung pada konsentrasi dan reaktivitas bahan-bahan yang direaksikan. Untuk memfasilitasi berlangsungnya tahapan-tahapan proses tersebut, biasanya proses absorpsi dijalankan dalam reaktor tangki berpengaduk bersparger (penyembur aliran massa), kolom gelembung (*bubble column*), atau kolom yang berisi tumpukan partikel inert (*packed bed column*). Proses absorpsi gas-cair dapat diterapkan pada pemurnian gas sintesis yang masih bermanfaat dalam gas buang atau bahkan pada industri yang melibatkan pelarutan gas dalam cairan, seperti H_2SO_4 , HCl , HNO_3 , formadehid, dan lain-lain (Coulson, 1996). Absorpsi gas CO_2 dengan larutan hidroksid yang kuat merupakan proses absorpsi yang disertai dengan reaksi kimia order 2 antara CO_2 dan ion OH^- membentuk ion CO_3^{2-} dan H_2O . Sedangkan reaksi antara CO_2 dengan CO_3^{2-} membentuk ion HCO_3^- biasanya diabaikan (Danckwerts 1970; Juvekar & Sharma, 1972). Namun, menurut Rehm *et al.* (1963) proses ini juga biasa dianggap mengikuti reaksi order 1 jika konsentrasi larutan NaOH cukup rendah (encer).

Perancangan reaktor kimia dilakukan berdasarkan pada permodelan hidrodinamika reaktor dan reaksi kimia yang terjadi di dalamnya. Suatu model matematika merupakan bentuk penyederhanaan dari proses sesungguhnya di dalam sebuah reaktor yang biasanya sangat rumit (Levenspiel, 1972). Reaksi kimia biasanya dikaji dalam suatu proses batch berskala laboratorium dengan mempertimbangkan kebutuhan reaktan, kemudahan pengendalian reaksi, peralatan, kemudahan menjalankan reaksi dan analisis, serta ketelitian.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh peubah operasi terhadap jumlah CO_2 yang terserap pada berbagai waktu reaksi?
2. Bagaimana pengaruh peubah operasi terhadap nilai tetapan perpindahan massa CO_2 fase gas (k_{Ga})?
3. Bagaimana pengaruh peubah operasi terhadap nilai tetapan perpindahan massa CO_2 fase cair (k_{La})?
4. Bagaimana pengaruh peubah operasi terhadap nilai tetapan reaksi antara CO_2 dan NaOH (k_2)?

1.3 Tujuan Praktikum

Setelah melakukan percobaan ini mahasiswa mampu menjelaskan mengenai beberapa hal berikut :

1. Pengaruh peubah operasi terhadap jumlah CO_2 yang terserap pada berbagai waktu reaksi
2. Pengaruh peubah operasi terhadap nilai tetapan perpindahan massa CO_2 fase gas (k_{Ga}).
3. Pengaruh peubah operasi terhadap nilai tetapan perpindahan massa CO_2 fase cair (k_{La}).
4. Pengaruh peubah operasi terhadap nilai tetapan reaksi antara CO_2 dan NaOH (k_2) dan membandingkannya dengan data tetapan reaksi di literatur.

1.4 Manfaat Praktikum

Mahasiswa dapat memahami reaksi yang terjadi pada reaktan yang berupa gas dan cair (heterogen) dan menerapkannya dalam penelitian perancangan reaktor dan alat proses yang terkait.

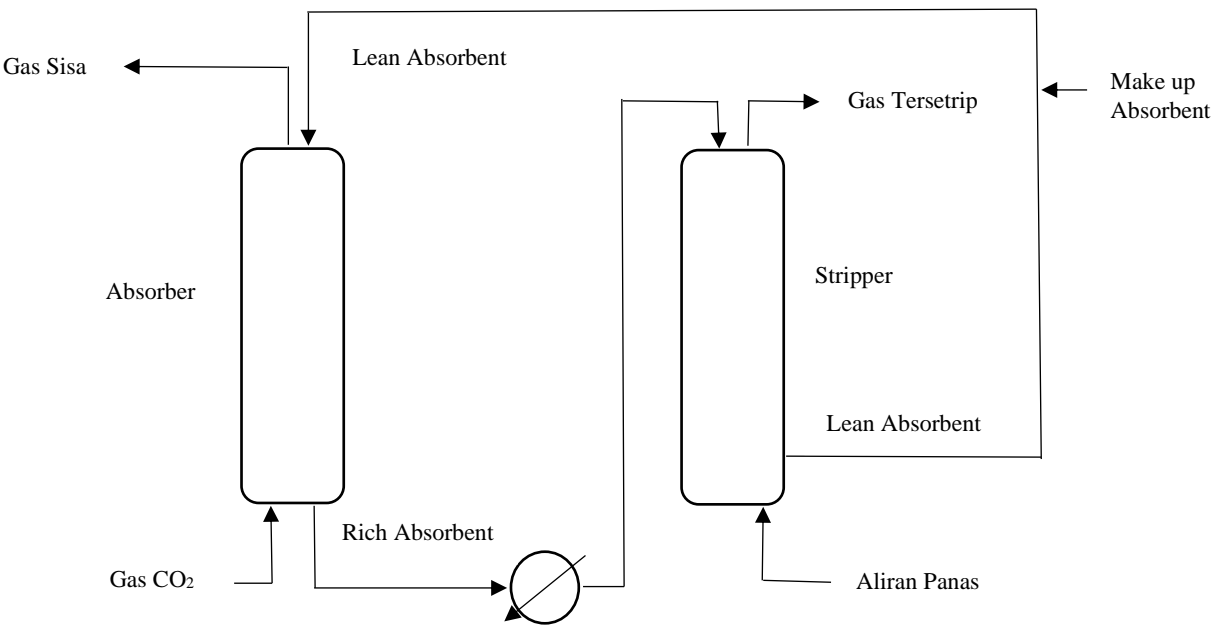
BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Absorpsi

Absorpsi merupakan salah satu proses separasi dalam industri kimia dimana suatu campuran gas dikontakkan dengan suatu cairan penyerap sehingga satu atau lebih komponen gas tersebut larut dalam cairan. Absorpsi dapat terjadi melalui dua mekanisme, yaitu absorpsi fisik dan absorpsi kimia.

Absorpsi fisik merupakan suatu proses yang melibatkan peristiwa pelarutan gas dalam larutan penyerap, namun tidak disertai dengan reaksi kimia. Contoh proses ini adalah absorpsi gas H_2S dengan air, metanol, dan propilen karbonase. Penyerapan terjadi karena adanya interaksi fisik. Mekanisme proses absorpsi fisik dapat dijelaskan dengan beberapa model yaitu: teori dua lapisan (*two films theory*) oleh Whiteman (1923), teori penetrasi oleh Dankcwerfs, dan teori permukaan terbaharui.

Absorpsi kimia merupakan suatu proses yang melibatkan peristiwa pelarutan gas dalam larutan penyerap yang disertai dengan reaksi kimia. Contoh peristiwa ini adalah absorpsi gas CO_2 dengan larutan MEA (Mono Etanol Amin), $NaOH$, K_2CO_3 dan sebagainya. Aplikasi dari absorpsi kimia dapat dijumpai pada proses penyerapan gas CO_2 pada pabrik Amonia seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Proses absorpsi dan desorpsi CO_2 dengan pelarut MEA di pabrik Amonia

Proses absorpsi dapat dilakukan dalam tangki berpengaduk yang dilengkapi dengan sparger, kolom gelembung (*bubble column*), dengan kolom yang berisi *packing* yang inert (*packed column*), atau piringan (*tray column*). Pemilihan peralatan proses absorpsi biasanya didasarkan pada reaktivitas reaktan (gas dan cairan), suhu, tekanan, kapasitas, dan ekonomi.

2.2 Kolom Absorpsi

Kolom absorpsi adalah suatu kolom atau tabung tempat terjadinya proses absorpsi (penyerapan) dari zat yang dilewatkan di kolom/tabung tersebut. Secara umum ada empat jenis kolom absorpsi yaitu: menara sembur (*spray column*), menara gelembung (*bubble column*), menara *plate* (*tray column*), dan menara *packing* (*packed bed column*).

2.2.1 Menara Sembur (*spray column*)

Dalam menara *spray* fasa gas mengalir naik melalui sebuah ruang terbuka berukuran besar dan fasa cairnya dimasukkan dengan menggunakan *nozzle* atau dengan alat-alat penyemprot lainnya. Cairan yang diumpankan dalam wujud tetes tetes halus, jatuh dengan arus yang berlawanan arah dengan arus gas yang naik ke atas.

2.2.2 Menara Gelembung (*bubble column*)

Menara gelembung terdiri dari ruang-ruang terbuka berukuran besar yang dilalui oleh fasa cair yang mengalir kedalam ruang-ruang ini pula gas akan disebarkan ke dalam fasa cair dalam bentuk gelembung-gelembung halus. Gelembung-gelembung gas kecil akan memberikan luas kontak yang diinginkan, gelembung-gelembung yang naik menimbulkan aksi pencampuran di dalam fasa cair, sehingga mengurangi resistensi fasa cair tersebut terhadap transfer massa. Menara gelembung digunakan dengan sistem dimana fasa cair biasanya mengontrol laju transfer massa.

2.2.3 Menara *Plate* (*tray column*)

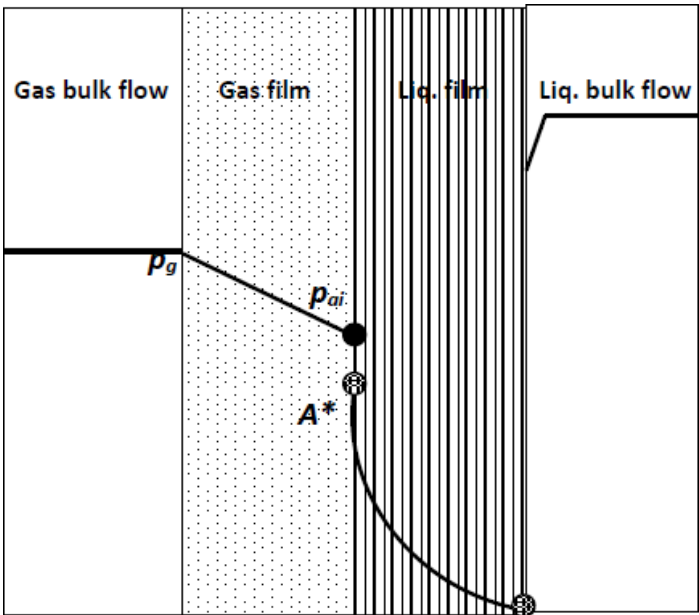
Menara *Plate* atau *tray column* adalah menara yang secara luas telah digunakan dalam industri. Menara ini terdiri dari beberapa tipe, yaitu: *Sieve Tray*, *Valve Tray* dan *Bubble Cup Tray*.

2.2.4 Menara *Packing* (*packed bed column*)

Menara *packing* adalah menara yang diisi dengan bahan pengisi. Adapun fungsi bahan pengisi ialah untuk memperluas bidang kontak antara kedua fase. Di dalam menara ini, cairan akan mengalir ke bawah melalui permukaan bawah pengisi, sedangkan gas akan mengalir ke atas secara arus berlawanan, melalui ruang kosong yang ada diantara bahan pengisi.

2.3 Analisis Perpindahan Massa dan Reaksi dalam Proses Absorpsi Gas Oleh Cairan

Secara umum, proses absorpsi gas CO₂ ke dalam larutan NaOH yang disertai reaksi kimia berlangsung melalui empat tahap, yaitu perpindahan massa CO₂ melalui lapisan gas menuju lapisan antarfase gas-cairan, kesetimbangan antara CO₂ dalam fase gas dan dalam fase larutan, perpindahan massa CO₂ dari lapisan gas ke badan utama larutan NaOH, dan reaksi antara CO₂ terlarut dengan gugus hidroksil (OH⁻). Skema proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Mekanisme absorpsi gas CO₂ dalam larutan NaOH

Laju perpindahan massa CO₂ melalui lapisan gas:

$$R_a = k_{ga} (p_g - p_{ai}) \tag{2.1}$$

Kesetimbangan antara CO₂ dalam fase gas dan dalam fase larutan :

$$P_{Ai} = H C_{Ai} \tag{2.2}$$

dengan H pada suhu 30 °C = 2,88.10⁻⁵ g mol/cm³. atm.

Laju perpindahan massa CO₂ dari lapisan gas ke badan utama larutan NaOH dan reaksi antara CO₂ terlarut dengan gugus hidroksil :

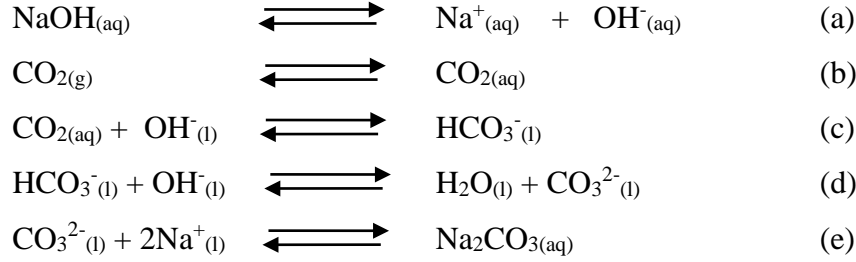
$$R_a = [A^*] a \sqrt{D_A k_a [OH^-]} \tag{2.3}$$

Keadaan batas :

$$(a) \frac{\sqrt{D_A k_a [OH^-]}}{k_L} \gg 1$$

$$(b) \frac{\sqrt{D_A k_a [OH^-]}}{k_L} \ll \frac{[OH^-]}{z A^*} \sqrt{\frac{D_A}{D_B}}$$

dengan z adalah koefisien reaksi kimia antara CO₂ dan [OH⁻], yaitu = 2. Di fase cair, reaksi antara CO₂ dengan larutan NaOH terjadi melalui beberapa tahapan proses :



Langkah d dan e biasanya berlangsung dengan sangat cepat, sehingga proses absorpsi biasanya dikendalikan oleh peristiwa pelarutan CO_2 ke dalam larutan NaOH terutama jika CO_2 diumpankan dalam bentuk campuran dengan gas lain atau dikendalikan bersama-sama dengan reaksi kimia pada langkah c (Juvekar & Sharma, 1973).

Eliminasi A^* dari persamaan 1, 2, dan 3 menghasilkan :

$$R_a = \frac{a.H.p.g.\sqrt{D_A.k_2.[OH^-]}}{a.H.\sqrt{D_A.k_2.[OH^-]} + k_{Ga}} \quad (2.4)$$

Jika nilai k_L sangat besar, maka : $\frac{\sqrt{D_A.k_2.[OH^-]}}{k_L} \approx 1$ sehingga persamaan di atas menjadi :

$$R_a = \frac{a.H.p.g.\sqrt{D_A.k_2.[OH^-] + k_L^2}}{a.H.\sqrt{D_A.k_2.[OH^-] + k_L^2} + k_{Ga}} \quad (2.5)$$

Jika keadaan batas (b) tidak dipenuhi, berarti terjadi pelucutan $[OH^-]$ dalam larutan. Hal ini berakibat:

$$\frac{\sqrt{D_A.k_2.[OH^-]}}{k_L} \approx \frac{[OH^-]}{z.A^*} \sqrt{\frac{D_A}{D_B}} \quad (2.6)$$

Dengan demikian, maka laju absorpsi gas CO_2 ke dalam larutan NaOH akan mengikuti persamaan:

$$R_a = \frac{a.H.p.g.\phi k_L}{1 + \frac{a.H.\phi k_L}{k_{Ga}}} \quad (2.7)$$

Dengan ϕ adalah *enhancement* faktor yang merupakan rasio antara koefisien transfer massa CO_2 pada fase cair jika absorpsi disertai reaksi kimia dan tidak disertai reaksi kimia seperti dirumuskan oleh Juvekar dan Sharma (1973):

$$\phi = \frac{\sqrt{D_A.k_2.[OH^-]}}{k_L} \cdot \left[1 + \frac{[OH^-]D_B}{z.A^*D_A} \phi \right]^{1/2} \quad (2.8)$$

Nilai difusivitas efektif (D_A) CO_2 dalam larutan NaOH pada suhu 30 °C adalah $2,1 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{det}$ (Juvekar & Sharma, 1973).

Nilai k_{Ga} dapat dihitung berdasarkan pada absorpsi fisik dengan meninjau perpindahan massa total CO_2 ke dalam larutan NaOH yang terjadi pada selang waktu tertentu di dalam alat absorpsi. Dalam bentuk bilangan tak berdimensi, k_{Ga}

dapat dihitung menurut persamaan (Kumoro & Hadiyanto, 2000):

$$\frac{k_{Ga} dp^2}{D_A} = 4,0777 \times \left(\frac{\rho_{CO_2} \cdot Q_{CO_2}}{\mu_{CO_2} a} \right)^{1,4003} \times \left(\frac{\mu_{CO_2}}{\rho_{CO_2} D_A} \right)^{1/3} \quad (2.9)$$

$$\text{Dengan } a = \frac{6(1-\epsilon)}{dp} \text{ dan } \epsilon = \frac{V_{void}}{V_T}$$

Secara teoritik, nilai k_{Ga} harus memenuhi persamaan:

$$k_{Ga} = \frac{\text{mol}(\text{CO}_2, \text{liq})}{A \cdot Z \cdot \epsilon \cdot p_{Im}} = \frac{\text{mol}(\text{CO}_3^{2-})}{A \cdot Z \cdot \epsilon \cdot p_{Im}} \quad (2.10)$$

Jika tekanan operasi cukup rendah, maka p_{im} dapat didekati dengan $\Delta p = p_{in} - p_{out}$

Sedangkan nilai k_{La} dapat dihitung secara empirik dengan persamaan (Zheng & Xu, 1992) :

$$\frac{k_{La} \cdot dp}{D_A} = 0,2258 \times \left(\frac{\rho_{NaOH} \cdot Q_{NaOH}}{\mu \cdot a} \right) \times \left(\frac{\mu}{\rho \cdot D_A} \right)^{0,5} \quad (2.11)$$

Jika laju reaksi pembentukan Na_2CO_3 jauh lebih besar dibandingkan dengan laju difusi CO_2 ke dalam larutan NaOH , maka konsentrasi CO_2 pada batas film cairan dengan badan cairan adalah nol. Hal ini disebabkan oleh konsumsi CO_2 yang sangat cepat selama reaksi sepanjang film. Dengan demikian tebal film (x) dapat ditentukan persamaan :

$$x = \frac{D_A \cdot (\rho_{in} - \rho_{out})}{\text{mol}(\text{CO}_3^{2-}) \cdot R \cdot T} \quad (2.12)$$

BAB III

METODE PRAKTIKUM

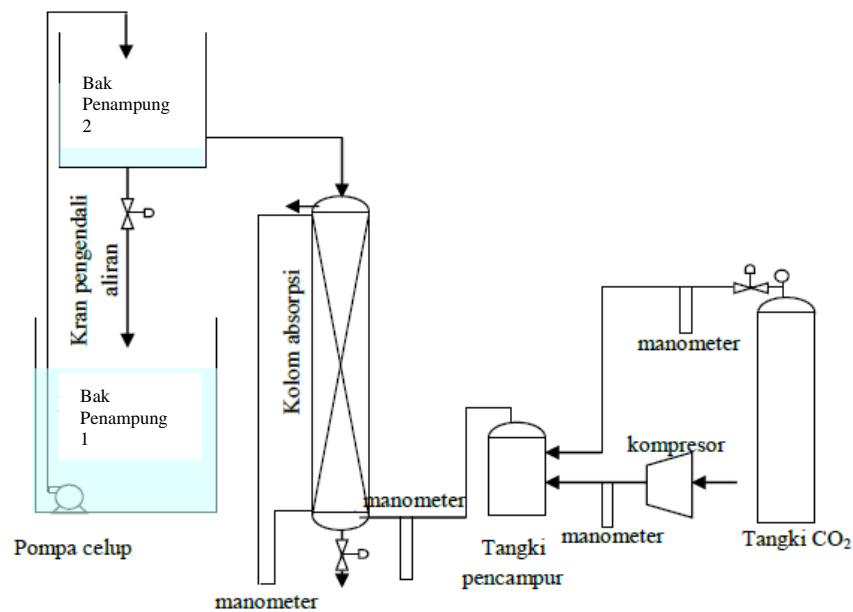
3.1 Bahan dan Alat yang Digunakan

1. Bahan yang digunakan

1. Kristal natrium hidroksida (NaOH)
2. Gas karbondioksida (CO₂) yang disimpan di tabung bertekanan
3. Udara
4. Akuades (H₂O)
5. Reagent untuk analisis yaitu larutan HCl, indikator PP, dan MO

2. Alat yang digunakan

Rangkaian alat praktikum absorpsi terlihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Rangkaian alat utama

3.2 Respon Uji Hasil

Konsentrasi ion CO₃²⁻ dalam larutan sampel dan CO₂ yang terserap.

3.3 Prosedur Praktikum

1. Membuat larutan induk NaOH

Larutan NaOH dibuat dengan cara menimbang NaOH seberat ... gram dan dilarutkan dalam aquadest 10 L, kemudian larutan NaOH ditampung dalam tangki untuk digunakan.

2. Menentukan fraksi ruang kosong pada kolom absorpsi

Pertama, kran di bawah kolom absorpsi dalam posisi tertutup. Setelah itu, mengalirkan larutan NaOH dari bak penampung 2 ke dalam kolom absorpsi.

Selanjutnya, menghentikan aliran jika tinggi cairan di dalam kolom tepat setinggi tumpukan *packing*. Mengeluarkan aliran di dalam kolom dengan membuka kran di bawah kolom, cairan tersebut ditampung di dalam erlenmeyer atau gelas ukur, kemudian kran ditutup jika cairan dalam kolom tepat berada pada *packing* bagian paling bawah. Mencatat volume cairan sebagai volume ruang kosong dalam kolom absorpsi = V_{void} . Menentukan volume total kolom absorpsi, yaitu dengan mengukur diameter kolom (D) dan $V_T = \frac{\pi D^2 \cdot H}{4}$ tinggi tumpukan *packing* (H). Kemudian menghitung fraksi ruang kosong kolom absorpsi $\varepsilon = \frac{V_{\text{void}}}{V_T}$.

3. Operasi absorpsi

Operasi absorpsi dilakukan dengan memompa larutan NaOH sesuai variabel ke dalam kolom melalui bagian atas kolom dengan laju alir tertentu hingga keadaan mantap tercapai. Selanjutnya mengalirkan gas CO₂ melalui bagian bawah kolom dan ukur beda ketinggian cairan dalam manometer. Kemudian mengambil 10 mL sampel cairan dari dasar kolom absorpsi tiap 1 menit selama 10 menit dan dianalisis kadar ion karbonat atau kandungan NaOH bebasnya.

4. Menganalisis sampel

Mula-mula mengambil 10 mL sampel cairan yang ditempatkan dalam erlenmeyer. Selanjutnya menambahkan indikator PP 3 tetes dan sampel dititrasi dengan larutan HCl sesuai variabel sampai warna merah hampir hilang (kebutuhan titran = a mL). Kemudian menambahkan 2-3 tetes indikator metil jingga (MO) dan titrasi dilanjutkan lagi sampai warna jingga berubah menjadi merah (kebutuhan titran=b mL).

3.4 Lembar Pengamatan

3.4.1 Variabel Operasi

a. Variabel tetap

1. Tekanan CO₂ : 6,5 bar
2. Suhu : 30°C
3. Konsentrasi HCl :

b. Variabel berubah

Konsentrasi NaOH :
Laju alir NaOH :

3.4.2 Data

- Vvoid

:
- ΔZ2

:
- ΔZ1

:
- ΔZ3

:

Variabel 1		
T (menit)	Va (mL)	Vb (mL)
0		
1		
....		
10		

Variabel 2		
T (menit)	Va (mL)	Vb (mL)
0		
1		
....		
10		

Variabel 3		
T (menit)	Va (mL)	Vb (mL)
0		
1		
....		
10		

Mencari laju reaksi

$$\int_{C_{NO}}^{C_{nx}} \frac{dC_N}{C_N} = \int_0^z \frac{-k_2 C_{CO_2} \varepsilon \pi D^2}{4 Q}$$

IDENTIFIKASI BAHAYA DAN ANALISA RESIKO
MATERI: ABSORPSI GAS CO2 DENGAN LARUTAN NaOH

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/tetes/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				
1. PREPARASI/TAHAP AWAL								
		√			Resiko iritasi jika terkena larutan NaOH	- Gunakan APD	- Jika tertelan, bilas mulut. Jangan memaksakan muntah - Jika mengenai kulit (atau rambut), segera lepas semua pakaian yang terkontaminasi dan bilas kulit dengan air atau pancuran - Jika terkena mata, bilas secara hati-hati dengan air selama beberapa menit	
2. PERCOBAAN UTAMA								
		√			Saat menghidupkan pompa ada resiko tersengat listrik/konslet	- Pastikan kabel/colokan tidak basah, pastikan/cek kipas pada pompa dapat memutar dengan baik sehingga pompa tidak terbakar - Gunakan APD & sepatu karet	- Matikan sumber arus listrik - Dorong tubuh korban dengan benda isolator - Cari pertolongan medis - Obati luka bakar	
		√			Saat menghidupkan kompresor ada resiko tersengat listrik/konslet	- Pastikan kabel/colokan tidak basah - Gunakan APD & sepatu karet	- Matikan sumber arus listrik - Dorong tubuh korban dengan benda isolator - Cari pertolongan medis	

DETAIL RESIKO							
IB	Resiko (setelah tindakan pengendalian)				Identifikasi resiko	Tindakan pengendalian untuk meminimalisir resiko	Tindakan pertolongan pertama
	Tinggi	Sedang	Rendah	Minimal			
			√		Kebisingan akibat kompresor	- Gunakan APD earplug	- Obati luka bakar - Matikan sumber kebisingan - Rehatkan telinga
		√			Resiko terhadap kesehatan jika gas CO ₂ yang dialirkan terlalu besar	- Pastikan mengalirkan gas CO ₂ sesuai dengan tekanan yang sudah ditetapkan dipraktikum - Gunakan APD	- Cari udara segar dan matikan aliran gas CO ₂ - Lakukan CPR jika perlu
		√			Raksa yang terdapat pada manometer ada resiko keluar dari selang jika gas CO ₂ yang dialirkan terlalu besar	- Pastikan mengalirkan gas CO ₂ sesuai dengan tekanan yang sudah ditetapkan dipraktikum - Gunakan APD	- Jika raksa kontak dengan kulit, terkena mata, atau tertelan segera bilas dengan air berlebih
3. ANALISA/TAHAP AKHIR							
		√			Resiko iritasi jika terkena larutan HCl saat melakukan titrasi	- Gunakan APD	- Jika tertelan, bilas mulut. Jangan memaksakan muntah - Jika mengenai kulit (atau rambut),

DETAIL RESIKO							
IB	Resiko (setelah tindakan pengendalian)				Identifikasi resiko	Tindakan pengendalian untuk meminimalisir resiko	Tindakan pertolongan pertama
	Tinggi	Sedang	Rendah	Minimal			
							segera lepas semua pakaian yang terkontaminasi dan bilas kulit dengan air atau pancuran - Jika terkena mata, bilas secara hati-hati dengan air selama beberapa menit

DAFTAR PUSTAKA

- Ardhiany, S. (2018). Proses Absorpsi Gas CO₂ Dalam Biogas Menggunakan Alat Absorber Tipe *Packing* Dengan Analisa Pengaruh Laju Alir Absorben NaOH. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 9(02), 55-64.
- Coulson, J. M.. & Richardson. J. F. (1996). *Chemical Engineering: Volume 1: Fluid flow. heat transfer and mass transfer* (5th ed.). London: Butterworth Heinemann, 32.
- Danckwerts, P. V. (1970). *Gas Liquid Reactions* (5th ed.). New York: McGraw- Hill Book Company. Inc, 45.
- Danckwerts, P. V.. & Kennedy. B. E. (1954). Kinetics of liquid-film process in gas absorption. Part I: Models of the absorption process. *Transaction of the Institution of Chemical Engineers*, 32, S49–S52.
- Franks, R. G. E. (1967). *Mathematical modeling in chemical engineering*. New York: John Wiley and Sons. Inc, 55.
- Juvekar, V. A. dan Sharma, M. (1972). Absorption of CO. in suspension of lime. *Chemical Engineering Science*, 28, 825–837.
- Kumoro, A. C. dan Hadiyanto. (2000). Absorpsi Gas Karbondioksida dengan Larutan Soda Api dalam Ungun Tetap, *Forum Teknik*, 24(2). 186–195.
- Levenspiel, O. (1972). *Chemical Reaction Engineering. Chemical Engineering Science* (2nd ed.. Vol. 19). New York: John Wiley and Sons. Inc, 44
- Rehm, T. R., Moll, A. J. dan Babb, A. L. (1963). Unsteady State Absorption of Carbon Dioxide by Dilute Sodium Hydroxide Solutions. *American Institute of Chemical Engineers Journal*. 9(5). 760–765.
- Zheng, Y. and Xu, X. (1992). Study on catalytic distillation processes. Part I. Mass transfer characteristics in catalyst bed within the column. *Transaction of the Institution of Chemical Engineers*. (Part A) 70. 459–464.