

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 , formaldehid, 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, pada kondisi ketika konsentrasi ion OH^- berada dalam jumlah berlebih sehingga perubahan konsentrasinya selama proses absorpsi dapat diabaikan, reaksi tersebut dapat didekati sebagai reaksi orde satu semu (*pseudo-first-order*). Pada kondisi ini, konsentrasi OH^- dianggap konstan sehingga konstanta laju semu dapat dinyatakan sebagai $k' = k_2[\text{OH}^-]$ (Sharma & Danckwerts, 1970; Lyu *et al.*, 2017).

Perancangan reaktor kimia dilakukan berdasarkan pada pemodelan 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 variabel operasi terhadap jumlah mol CO_2 yang terserap pada berbagai waktu reaksi?
2. Bagaimana pengaruh variabel operasi terhadap nilai tetapan perpindahan massa CO_2 fase gas (k_{GA})?
3. Bagaimana pengaruh variabel operasi terhadap nilai tetapan perpindahan massa CO_2 fase cair (k_{LA})?
4. Bagaimana pengaruh variabel operasi terhadap nilai tetapan perpindahan massa keseluruhan antara CO_2 dan H_2O (K_{OG})?

1.3 Tujuan Percobaan

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

1. Menyiapkan dan mengoperasikan sistem absorpsi, menganalisis sampel dan mengolah data percobaan.
2. Pengaruh variabel terhadap jumlah mol CO_2 yang terserap pada berbagai waktu reaksi.
3. Pengaruh variabel terhadap nilai tetapan perpindahan massa CO_2 pada fase gas (k_{GA}).
4. Pengaruh variabel terhadap nilai tetapan perpindahan massa CO_2 pada fase cair (k_{LA}).
5. Pengaruh variabel terhadap nilai tetapan perpindahan massa keseluruhan antara CO_2 dengan H_2O (K_{OG}).

1.4 Manfaat Percobaan

(Praktikan harus mencari sendiri informasi mengenai manfaat percobaan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Absorpsi

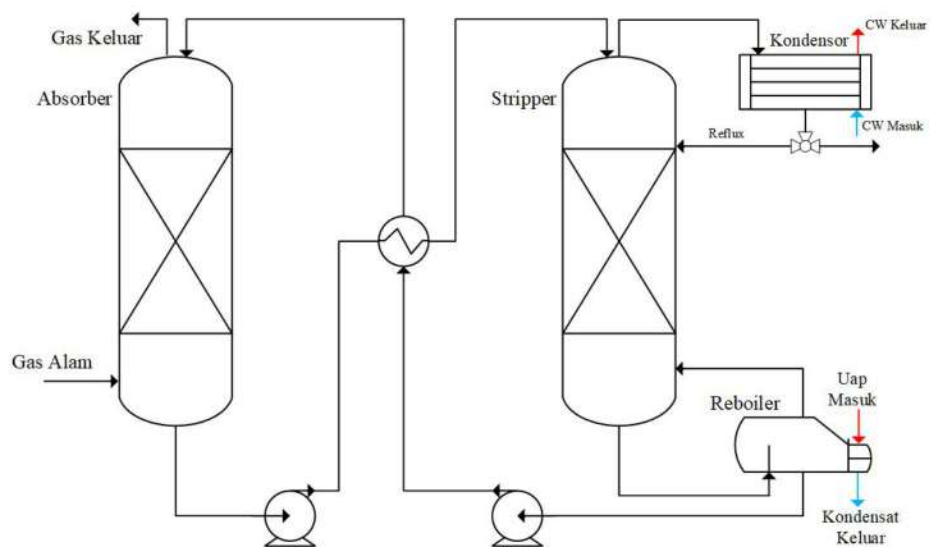
Absorpsi merupakan salah satu proses separasi dalam industri kimia dimana suatu campuran gas dikontakkan dengan suatu cairan penyerap sehingga satu atau lebih komponen gas tersebut larut dalam cairan. Perpindahan komponen gas ke dalam fase cair terjadi karena adanya perbedaan antara konsentrasi (atau tekanan parsial) komponen di dalam fase gas dan kondisi kesetimbangannya terhadap fase cair, sehingga terbentuk *driving force* perpindahan massa. Pada proses absorpsi, komponen gas berdifusi dari badan utama fase gas menuju antarmuka gas-cair, kemudian melewati lapisan film cair hingga mencapai badan utama fase cair. Apabila absorpsi disertai reaksi kimia, komponen gas yang telah terlarut selanjutnya bereaksi dengan *absorbent* di dalam fase cair (McCabe *et al.*, 1993). Absorpsi dapat terjadi melalui dua mekanisme, yaitu absorpsi fisik dan absorpsi kimia.

2.1.1 Absorpsi Fisik

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 karbonat. Penyerapan terjadi karena adanya interaksi fisik antara gas dengan cairan. Mekanisme proses absorpsi fisik dapat dijelaskan dengan beberapa model yaitu: teori dua lapisan (*two films theory*) oleh Whitman (1923), teori penetrasi oleh Danckwerts, dan teori permukaan terbaharui.

2.1.2 Absorpsi Kimia

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 (Kalium Karbonat) 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 CO₂ dengan pelarut MEA di pabrik amonia

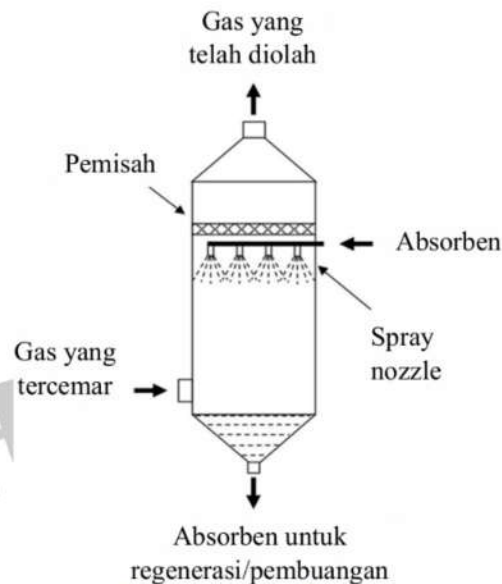
Proses absorpsi dapat dilakukan dalam tangki berpengaduk yang dilengkapi dengan *sparger*, kolom gelembung (*bubble column*), kolom yang berisi *packing* yang *inert* (*packed column*), atau piringan (*tray column*). Pemilihan peralatan proses absorpsi biasanya didasarkan pada reaktivitas reaktan (gas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

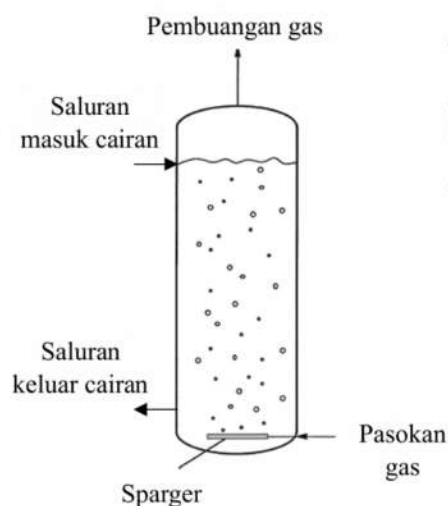
Dalam menara *spray* (Gambar 2.2) fasa gas mengalir naik melalui sebuah ruang terbuka berukuran besar dan fasa cairnya dimasukkan dengan menggunakan *nozzle* atau dengan alat-alat penyemprot lainnya. Cairan yang diumpankan dalam wujud tetesan halus (*droplet*), jatuh dengan arus yang berlawanan arah dengan arus gas yang naik ke atas.



Gambar 2.2 Menara sembur

2.2.2 Menara Gelembung (*bubble column*)

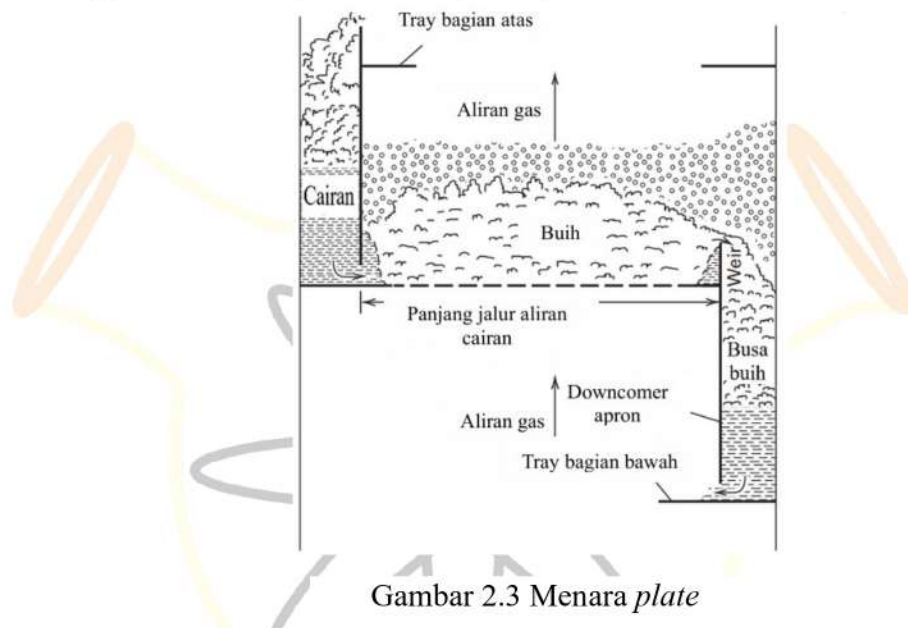
Menara gelembung (Gambar 2.3) terdiri dari ruang-ruang terbuka berukuran besar yang dilalui oleh fasa cair yang mengalir kedalam ruang-ruang ini, dan gas akan disebarkan ke dalam fasa cair melalui sparger yang berada pada bagian bawah kolom dalam bentuk gelembung-gelembung halus. Gelembung-gelembung gas kecil akan memberikan luas kontak yang diinginkan, dan gelembung-gelembung yang naik akan menimbulkan aksi pencampuran di dalam fasa cair, sehingga mengurangi resistensi fasa cair tersebut terhadap perpindahan massa. Menara gelembung umumnya digunakan pada sistem yang resistensi perpindahan massanya didominasi oleh fase cair sehingga peningkatan pencampuran di fase cair menjadi salah satu faktor penting.



Gambar 2.3 Menara gelembung

2.2.3 Menara Plate (tray column)

Menara Plate atau *tray column* (Gambar 2.4) adalah menara yang secara luas telah digunakan dalam industri. Menara ini terdiri dari beberapa tipe, yaitu: *Sieve Tray*, *Valve Tray*, dan *Bubble Cup Tray*. Pada menara *plate*, cairan akan mengalir melintasi setiap *tray*, melewati bendungan keluar atau *weir*, dan masuk ke *downcomer*, yang akan membawa cairan ke *tray* di bawahnya secara gravitasi. Gas akan mengalir ke atas melalui lubang-lubang pada setiap *tray* dan membentuk gelembung saat melewati cairan di *tray* sehingga menghasilkan buih (Seader *et al.*, 1997).



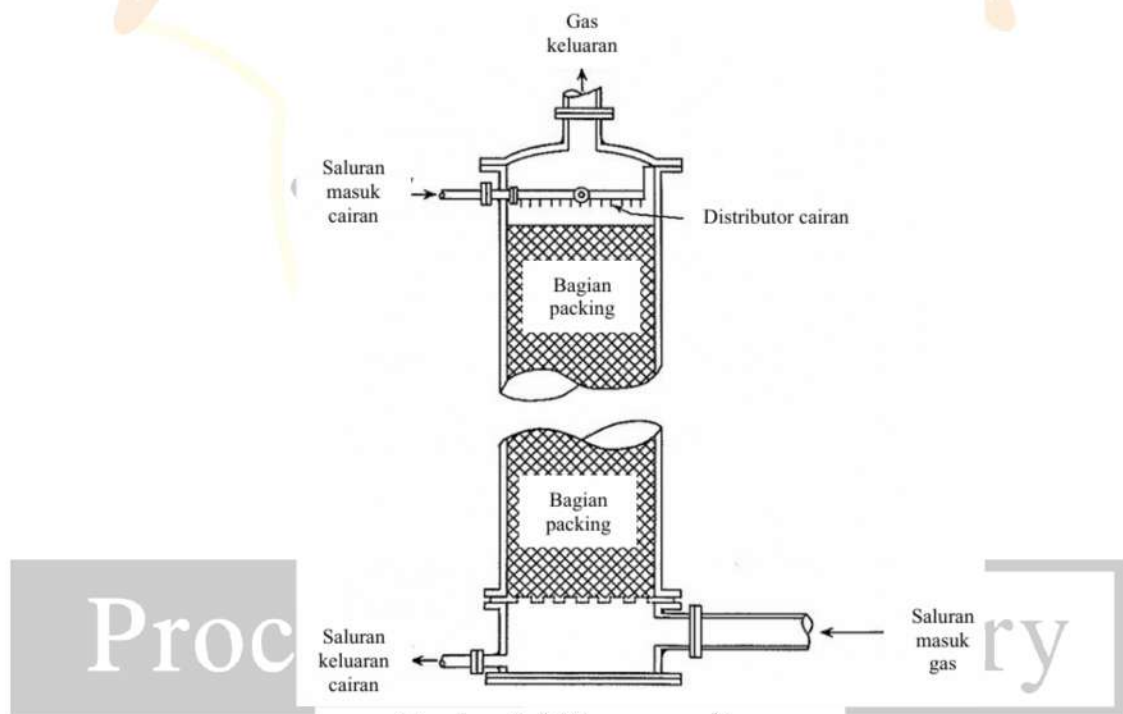
2.2.4 Menara Packing (packed bed column)

Menara *packing* (Gambar 2.5) merupakan kolom absorpsi yang diisi dengan bahan pengisi (*packing*) untuk memperbesar luas bidang kontak antara fase gas dan fase cair sehingga meningkatkan efisiensi perpindahan massa. Di dalam menara ini, cairan mengalir ke bawah melalui permukaan pengisi, sedangkan gas akan mengalir ke atas secara arus berlawanan, melalui ruang kosong yang ada diantara bahan pengisi. Pada menara *packing* terdapat dua jenis bahan pengisi, yaitu pengisi acak (*random packing*) dan pengisi terstruktur (*structured packing*).

Pada pengisi acak, bahan pengisi akan mengambil posisi acak di dalam kolom. Pengisi acak tersedia dalam berbagai material, yaitu keramik, logam, plastik, dan karbon. Pemilihan material pada bahan pengisi acak didasarkan pada sifat cairan dan suhu operasi. Material keramik umumnya digunakan untuk cairan yang bersifat korosif, namun tidak sesuai apabila digunakan dengan alkali yang kuat. Material

plastik umumnya rentan terhadap beberapa pelarut organik dan hanya dapat digunakan pada suhu sedang (Towler & Sinnott, 2008). Sementara itu, material logam lebih disarankan untuk penggunaan pada kondisi operasi yang cenderung tidak stabil seperti adanya perubahan tekanan, aliran, dan suhu secara drastis, karena material keramik dan plastik cenderung mengalami kerusakan di bawah kondisi ini (Ludwig, 1997; Towler & Sinnott, 2008).

Sedangkan pada pengisi terstruktur, posisi bahan pengisi sudah pasti dan tersusun rapi di dalam kolom. Bahan pengisi pada pengisi terstruktur terbuat dari jaring kawat atau lembaran logam berlubang. Bahan tersebut dilipat dan disusun dengan geometri yang teratur untuk memberikan luas area permukaan yang tinggi. Material pada pengisi terstruktur tersedia dalam logam, plastik, dan keramik. Biaya pengisi terstruktur umumnya jauh lebih tinggi daripada pengisi acak, namun memiliki efisiensi yang lebih tinggi (Towler & Sinnott, 2008).

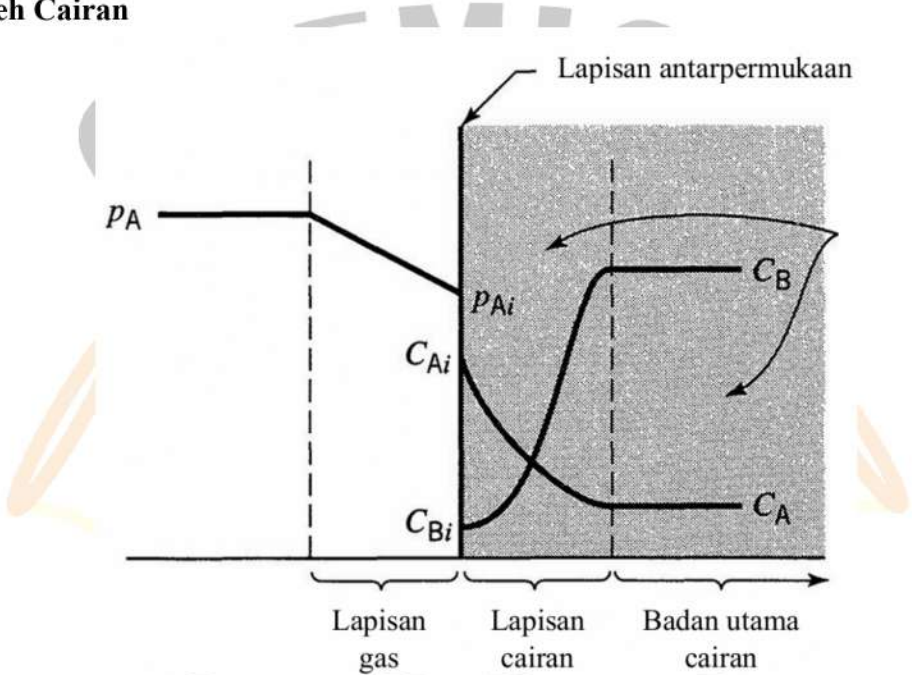


Gambar 2.4 Menara *packing*

Menara *packing* yang dioperasikan pada kecepatan gas yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya pencampuran balik (*back mixing*). Apabila kecepatan gas terus ditingkatkan, gaya dorong gas menjadi lebih besar daripada gaya gravitasi yang mengalirkan cairan ke bawah sehingga terjadi penumpukan cairan di dalam kolom (*flooding*). Kondisi ini menyebabkan operasi kolom menjadi tidak stabil dan menurunkan efisiensi perpindahan massa. Sebaliknya, apabila kecepatan gas terlalu rendah, kontak antara fase gas dan cair menjadi

kurang efektif karena permukaan bahan pengisi tidak terbasahi secara optimal oleh cairan (*poor wetting*), sehingga luas bidang kontak antarfasa berkurang dan laju perpindahan massa menjadi lebih rendah (Silla, 2003).

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



Gambar 2.5 Mekanisme absorpsi gas CO₂ dalam larutan NaOH

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 2.6.

Laju perpindahan massa CO₂ melalui lapisan gas:

$$R_a = k_{GA} (p_A - p_{Ai}) \tag{2.1}$$

Kesetimbangan antara CO₂ dalam fase gas dan dalam fase larutan:

$$C_{Ai} = H \times p_{Ai} \tag{2.2}$$

- p_{Ai} = Tekanan parsial gas A di *interface* gas-cair (atm)
 - p_A = Tekanan parsial gas A di fase gas (atm)
 - k_{GA} = Koefisien perpindahan masa di fase gas (mol/atm.menit)
 - H = *Henry's law solubility coefficient* (g.mol/cm³.atm)
 - C_{Ai} = Konsentrasi A di fase cair pada interfase gas-cair
- dengan H pada suhu 30°C = 2,88 × 10⁻⁵ g.mol/cm³. atm.

Laju absorpsi CO₂ ke dalam larutan NaOH yang disertai reaksi kimia di fase cair dinyatakan sebagai:

$$R_a = [A^*] a \sqrt{D_A k_2 [\text{OH}^-]} \quad (2.3)$$

dengan A* adalah konsentrasi kesetimbangan CO₂ pada antarmuka gas-cair (*interface*). Besaran ini menunjukkan konsentrasi CO₂ terlarut pada kondisi ketika fase gas dan fase cair berada dalam keadaan setimbang sesuai dengan Hukum Henry.

Keadaan batas :

$$\frac{\sqrt{D_A k_2 [\text{OH}^-]}}{k_L} \gg 1$$

$$\frac{\sqrt{D_A k_2 [\text{OH}^-]}}{k_L} \ll \frac{[\text{OH}^-]}{z A^*} \sqrt{\frac{D_B}{D_A}}$$

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 karena merupakan reaksi ionik, sehingga proses absorpsi biasanya dikendalikan oleh peristiwa pelarutan CO₂ ke dalam larutan NaOH terutama jika CO₂ diumpungkan dalam bentuk campuran dengan gas lain atau dikendalikan bersama-sama dengan reaksi kimia pada langkah c (Juvekar & Sharma, 1973).

Konsentrasi larutan NaOH berpengaruh terhadap mekanisme absorpsi yang terjadi. Pada larutan NaOH dengan konsentrasi tinggi, reaksi antara CO₂ dan ion OH⁻ berlangsung sangat cepat sehingga laju absorpsi cenderung dikendalikan oleh perpindahan massa. Sebaliknya, pada larutan NaOH yang lebih encer dapat terjadi penurunan konsentrasi ion OH⁻ di sepanjang lapisan film akibat reaksi (Juvekar & Sharma, 1973).

Eliminasi A* dari persamaan 2.1, 2.2, dan 2.3 menghasilkan:

$$R_a = \frac{a.H.pA.\sqrt{D_A k_2 [\text{OH}^-]}}{1 + \frac{a.H.\sqrt{D_A k_2 [\text{OH}^-]}}{k_{GA}}} \quad (2.9)$$

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

$$R_a = \frac{a \cdot H \cdot p_A \cdot \sqrt{D_A \cdot k_2 \cdot [\text{OH}^-] + k_L^2}}{1 + \frac{a \cdot H \cdot \sqrt{D_A \cdot k_2 \cdot [\text{OH}^-] + k_L^2}}{k_{GA}}} \quad (2.10)$$

Jika keadaan batas (b) tidak dipenuhi, maka akan terjadi pelucutan $[\text{OH}^-]$ dalam larutan. Hal ini berakibat:

$$\frac{\sqrt{D_A \cdot k_2 \cdot [\text{OH}^-]}}{k_L} \approx \frac{[\text{OH}^-]}{z \cdot A^*} \sqrt{\frac{D_B}{D_A}} \quad (2.11)$$

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

$$R_a = \frac{a \cdot H \cdot p_A \cdot \phi \cdot k_L}{1 + \frac{a \cdot H \cdot \phi \cdot k_L}{k_{GA}}} \quad (2.12)$$

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

$$\phi = \frac{\sqrt{D_A \cdot k_2 \cdot [\text{OH}^-]}}{k_L} \cdot \left[1 + \frac{[\text{OH}^-] D_B}{z \cdot A^* D_A} - \phi \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.13)$$

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

Nilai k_{GA} dapat dihitung berdasarkan pada absorpsi fisik dengan meninjau perpindahan massa keseluruhan 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):

$$\text{Sh} = a \times \text{Re}^b \times \text{Sc}^c \quad (2.14)$$

$$\frac{k_{GA} \cdot dp^2}{D_{AB}} = 4,0777 \times \left(\frac{\rho_{\text{CO}_2} \cdot v \cdot dp}{\mu_{\text{CO}_2}} \right)^{1,4003} \times \left(\frac{\mu_{\text{CO}_2}}{\rho_{\text{CO}_2} \cdot D_{AB}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.15)$$

$$\frac{k_{GA} \cdot dp^2}{D_{AB}} = 4,0777 \times \left(\frac{\rho_{\text{CO}_2} \cdot Q \cdot dp}{A \cdot \mu_{\text{CO}_2}} \right)^{1,4003} \times \left(\frac{\mu_{\text{CO}_2}}{\rho_{\text{CO}_2} \cdot D_{AB}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.16)$$

$$\text{Dengan } A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

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

$$k_{GA} = \frac{\text{mol}(\text{CO}_2, \text{liq})}{A \cdot Z \cdot \epsilon \cdot P_{lm}} = \frac{\text{mol}(\text{CO}_3^{2-})}{A \cdot Z \cdot \epsilon \cdot P_{lm}} \quad (2.17)$$

Jika tekanan operasi cukup rendah, maka P_{lm} dapat didekati dengan:

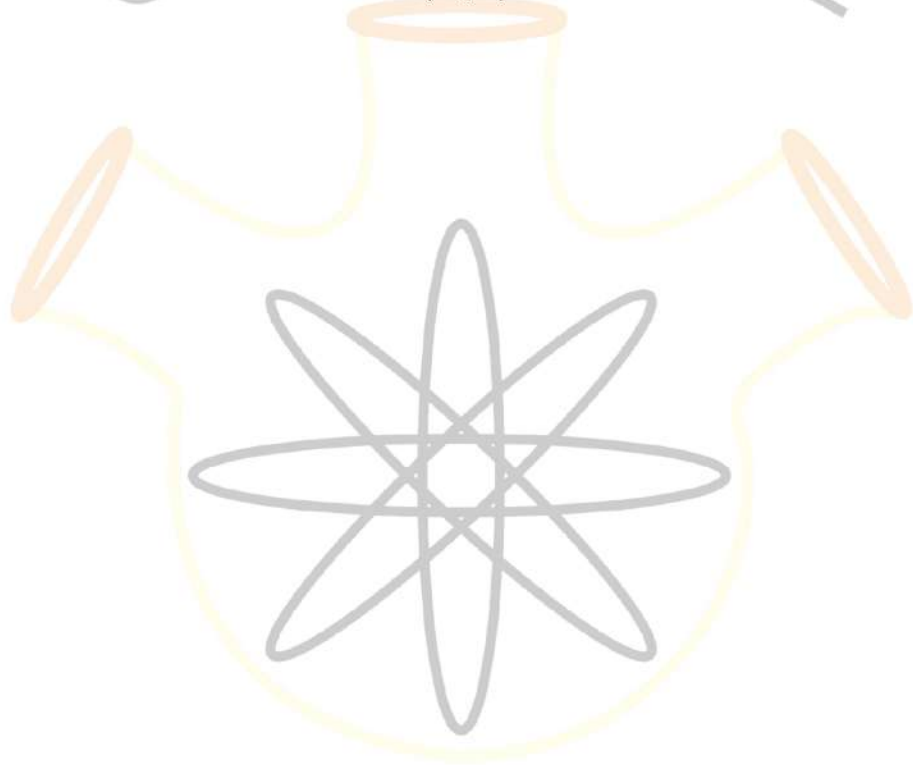
$$\Delta P = P_{in} - P_{out} \quad (2.18)$$

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

$$\frac{k_{LA} \cdot dp}{D_A} = 0,2558 \times \left(\frac{\rho_{NaOH} \cdot Q_{NaOH} \cdot 4 \cdot dp}{\pi \cdot \mu_{NaOH} \cdot D_c^2 \cdot \varepsilon} \right) \times \left(\frac{\mu_{NaOH}}{\rho \cdot D_A} \right)^{0,5} \quad (2.19)$$

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 (δ) dapat ditentukan persamaan :

$$\delta = \frac{D_A(P_{in} - P_{out})}{\text{mol}(CO_3^{2-}) \cdot R \cdot T} \quad (2.20)$$

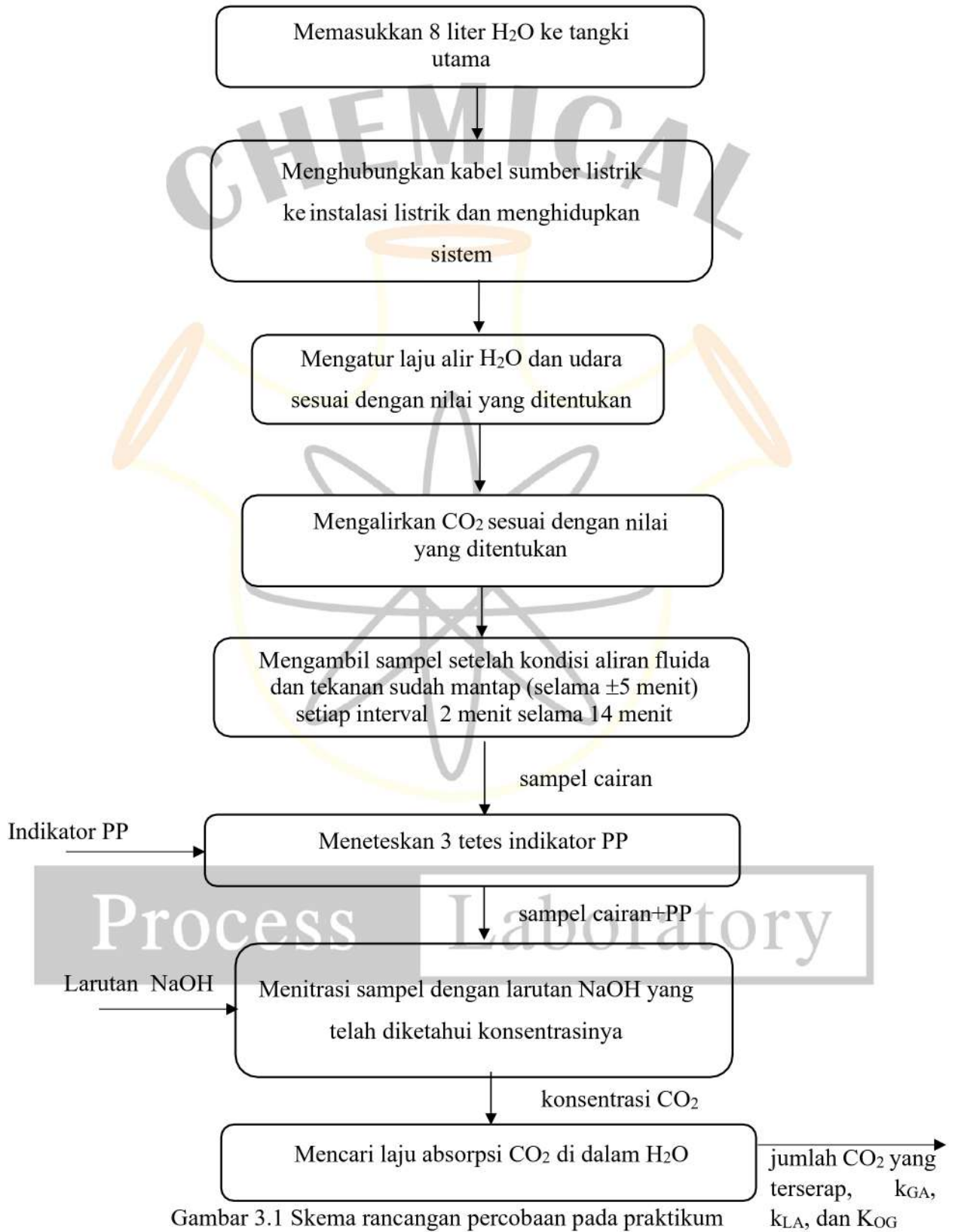


Process

Laboratory

BAB III
METODE PRAKTIKUM

3.1 Rancangan Percobaan



Gambar 3.1 Skema rancangan percobaan pada praktikum

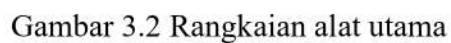
A. Variabel tetap:

B. Variabel berubah:

1. Bahan yang digunakan

1. Kristal natrium hidroksida (NaOH) dengan kemurnian 98% b/b
2. Karbondioksida (CO₂) dalam fase cair yang disimpan di tabung bertekanan
3. Udara
4. Akuades (H₂O)
5. Indikator *phenolphthalein* (PP)

Rangkaian alat praktikum absorpsi terlihat pada Gambar 3.2



Konsentrasi ion CO_3^{2-} dalam larutan sampel dan CO_2 yang terserap

3.4 Prosedur Praktikum

A. Persiapan alat

Pertama-tama kabel power pada sumber listrik ditancapkan dilanjutkan tombol ON/OFF diputar dan monitor alat akan menyala. Suplai air utama ke tangki bak dinyalakan dan biarkan tangki terisi. Memastikan saluran keluar air dari kolom dipasangkan ke pipa yang mengembalikan air ke tangki. Dengan *valve* aliran gas V_1 dan V_2 tertutup, pompa cairan dihidupkan. Lalu, aliran air melalui kolom pada *flowmeter* F_1 disesuaikan menggunakan katup V_{10} . Kompresor dinyalakan dan *valve* V_2 disesuaikan untuk memberikan aliran udara. *Valve* pengatur tekanan pada silinder CO_2 dibuka, dan katup V_1 disesuaikan untuk memberi nilai pada pengukur aliran F_3 . Setelah 5 menit (kondisi aliran fluida dan tekanan sudah mantap), sebanyak 25 mL sampel cairan diambil melalui kran *outlet* pada bagian bawah kolom absorber dengan interval 2 menit selama 14 menit, dan catat perbedaan tekanan yang tersedia pada *display*. Sampel cairan dianalisis kadar karbon dioksida terlarut sebagai ion karbonat sesuai dengan prosedur pada tahap B.

B. Penentuan CO_2 terlarut

Sebanyak 2-3 tetes indikator PP ditambahkan ke dalam sampel cairan. Jika terbentuk warna merah dengan segera, maka tidak ada CO_2 bebas pada sampel. Selanjutnya, sampel dititrasi dengan larutan NaOH standar sesuai variabel sampai terbentuk warna merah muda yang tidak hilang selama 30 detik. Volume titran yang dibutuhkan pada langkah titrasi dicatat dan digunakan untuk menghitung jumlah karbon dioksida yang terlarut di dalam sampel.

Jumlah CO_2 yang terlarut dalam sampel air dihitung dari:

$$\text{gmol/liter } CO_2 = \frac{V_{\text{titran}} \times N_{\text{titran}}}{\text{volume sampel}} = Cd$$

3.5 Lembar Pengamatan

3.5.1 Variabel Operasi

- Variabel tetap:
- Variabel berubah:

3.5.2 Data

Tabel 3.1 Data pada variabel 1

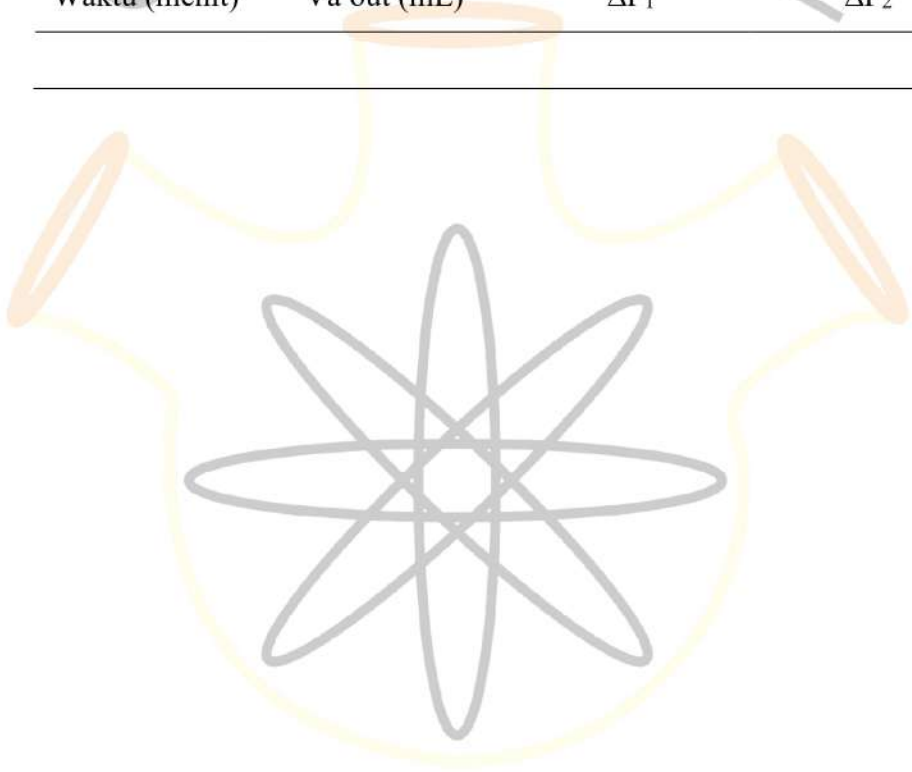
Waktu (menit)	Va out (mL)	ΔP_1	ΔP_2
---------------	-------------	--------------	--------------

Tabel 3.2 Data pada variabel 2

Waktu (menit)	Va out (mL)	ΔP_1	ΔP_2
---------------	-------------	--------------	--------------

Tabel 3.3 Data pada variabel 3

Waktu (menit)	Va out (mL)	ΔP_1	ΔP_2
---------------	-------------	--------------	--------------



Process

Laboratory

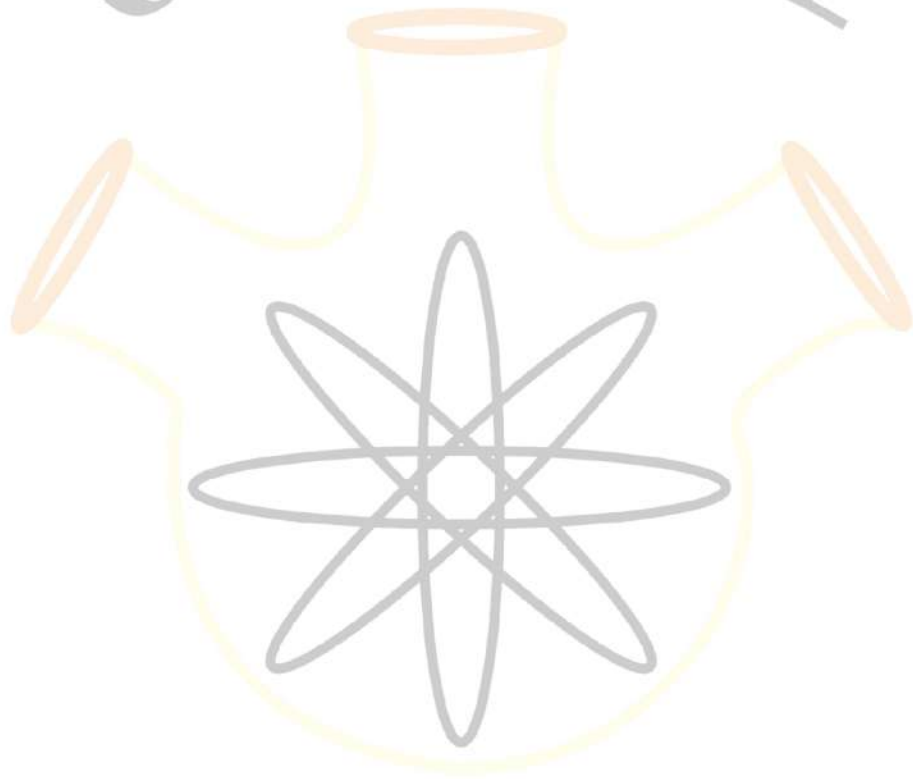
DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Doran, P.M. (2013). *Bioprocess Engineering Principle* (2nd ed.). Elsevier.
- 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 CO₂ in suspension of lime. *Chemical Engineering Science*, 28, 825–837.
- Kumoro, A. C. dan Hadiyanto. (2000). Absorpsi gas karbondioksida dengan larutan soda api dalam unggun 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.
- Ludwig, E. E. (1997). *Applied Process Design For Chemical And Petrochemical Plant* (2nd. ed.. Vol.2). Gulf Professional Publishing.
- Lyu, Y., Brusseau, M. L., El Ouni, A., Araujo, J. B., & Su, X. (2017). *The Gas-Absorption/Chemical-Reaction Method for Measuring Air-Water Interfacial Area in Natural Porous Media*. *Water Resources Research*, 53(11), 9519–9527.
- McCabe, W.L., Smith, J.C., & Harriott, P. (1993). *Unit Operation of Chemical Engineering* (5th ed.). McGraw-Hill.Inc.
- Rehm, T. R., Moll, A. J. dan Babb, A. L. (1963). Unsteady state absorption of carbondioxide by dilute sodium hydroxide solutions. *American Institute of Chemical Engineers Journal*, 9(5). 760–765.
- Seader, J.D., Henley, E.J., & Roper, D.K. (1997). *Separation Process Principles With Application Using Process Simulator* (2nd ed.). Wiley.
- Sharma, M. M., & Danckwerts, P. V. (1970). Chemical methods of measuring interfacial area and mass transfer coefficients in two-fluid systems. *British Chemical Engineering*, 15(4), 522–528.
- Silla, H. (2003). *Chemical Process Engineering Design and Economics*. New York : Marcell Dekker. Inc.

Towler, G., & Sinnott, R. (2008). *Chemical Engineering Design Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design*. Elsevier.

Wysocka, I., Gębicki, J., & Namieśnik, J. (2019). Technologies for deodorization of malodorous gases. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 9409-9434.

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.



Process

Laboratory