

STUDI ABSORPSI CO₂ MENGGUNAKAN KOLOM GELEMBUNG BERPANCARAN JET (*JET BUBBLE COLUMN*)

Setiadi, Nita Tania H., Hantizen, dan Dijan Supramono

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

E-mail: setiadi@che.ui.edu

Abstrak

Penelitian ini dimaksudkan untuk mempelajari hidrodinamika dan kinetika absorpsi CO₂ dalam suatu kolom gelembung pancaran (*jet bubble column*). Proses ini dilakukan secara sinambung dalam loncatan pancaran cairan kolom bergelembung pancaran. Udara dan air diumpankan dari atas kolom dan diikuti terjadinya proses penggelembungan yang berbentuk seperti awan. Proses penggelembungan ini terjadi adanya akibat dari tekanan air yang berkecepatan pancaran bertumbukan dengan air stagnan yang berada dalam kolom. Proses tumbukan tersebut akan mengakibatkan masuknya udara pada celah – celah permukaan pada kedua cairan, dan udara akan terperangkap didalam cairan. Proses tumbukan ini juga akan menimbulkan arus pusaran (*eddy current*) yang terjadi didalam kolom *downcomer* dan dapat sebagai energi pencampuran. Diameter gelembung semakin kecil akan mengakibatkan luas area permukaan sentuhan semakin besar. Variabel yang dipelajari meliputi variabel desain dan variabel proses. Variabel desain meliputi diameter kolom dan diameter *downcomer* yang telah ditetapkan. Sedangkan variabel proses meliputi laju alir volumetrik cairan, diameter nozzle, dan jarak pipa *downcomer* yang tercelup. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menggambarkan pengaruh kecepatan pancaran cairan dengan berbagai diameter *nozzle* terhadap laju *gas entrainment* dan *holdup gas* didalam kolom absorpsi. Disamping hasil uji kinetika absorpsi diharapkan dapat dapat memenuhi formulasi *pseudo first order reaction*.

Abstract

A Study of CO₂ Absorption Using Jet Bubble Column. The phenomenon of plunging jet gas-liquid contact occurs quite often in nature, it's momentum carries small air bubbles with it into the reactor medium. The momentum of the liquid stream can be sufficient to carry small bubbles completely to the bottom of the vessel. A stream of liquid falling toward a level surface of that liquid will pull the surrounding air along with it. It will indent the surface of the liquid to form a trumpet-like shape. If the velocity of the stream is high enough, air bubbles will be pulled down, i.e. entrained into the liquid. This happens for two main reasons: air that is trapped between the edge of the falling stream and the trumpet-shaped surface profile and is carried below the surface. This study investigates the potential of a vertical liquid plunging jet for a pollutant contained gas absorption technique. The absorber consists of liquid jet and gas bubble dispersed phase. The effects of operating variables such as liquid flowrate, nozzle diameter, separator pressure, etc. on gas entrainment and holdup were investigated. The mass transfer of the system is governed by the hydrodynamics of the system. Therefore a clear and precise understanding of the above is necessary : to characterize liquid and gas flow within the system, 2. Variation in velocity of the jet with the use of different nozzle diameters and flow rates, 3. Relationship between the liquid and entrained airflow rate, 4. Gas entrainment rate and gas void fraction.

Keywords: absorption with chemical reaction, jet bubble column, hydrodynamic, absorption kinetic, CO₂

1. Pendahuluan

Fenomena kecepatan pancaran jatuh cukup sering terjadi di alam. Sebagai contoh adalah air terjun. Tenaga dorong dari jatuhnya air secara vertikal menuju permukaan air akan membawa gelembung udara kecil ke dalam medium reaktor. Momentum (tumbukan)

aliran cairan dapat membawa gelembung berikutnya secara lengkap ke dasar *vessel*. Aliran air yang jatuh menuju satu level permukaan cairan tersebut akan menarik udara sekelilingnya sepanjang aliran. Ini akan memancing permukaan cairan untuk membentuk terompet. Jika kecepatan aliran cukup tinggi, gelembung-gelembung udara akan tertarik ke bawah,

yaitu mengikuti gerakan cairan dan kemudian akan naik kepermukaan cairan tersebut. Hal ini terjadi dikarenakan dua alasan :

- ❖ Udara yang terperangkap antara batas aliran jatuh dan profil permukaan berbentuk terompet adalah yang terbawa di bawah permukaan.
- ❖ Turbulensi permukaan dari aliran jatuh akan bercampur dengan udara dalam pusaran eddy (*eddy current*) dan terbawah jauh di bawah permukaan.

Perbedaan banyaknya udara yang terbawa pada setiap aliran dapat dilihat jika mereka dibiarkan jatuh pada permukaan air yang tenang. Aliran yang pelan tidak akan membentuk sejumlah gelembung-gelembung yang signifikan, tetapi aliran yang lebih cepat akan membentuk gelembung-gelembung yang dapat menimbulkan awan gelembung. Pada fenomena tersebut akan terjadinya suatu proses perpindahan massa, dimana akan terjadi perpindahan massa gas kedalam fasa cair. Dalam perpindahan massa dikenal dua cara perpindahan, yaitu konveksi dan difusi. Massa berpindah secara konveksi karena terbawa aliran dan aliran disebabkan oleh gaya dari luar sistem. Dalam difusi molekul-molekul bergerak satu terhadap yang lain karena adanya gaya penggerak didalam sistem, yaitu perbedaan konsentrasi. Molekul-molekul gas bergerak ke satu arah di antara molekul-molekul cairan, sedangkan molekul-molekul cairan mungkin diam atau bergerak dengan arah yang berlawanan. Gerakan molekul-molekul ini ditimbulkan oleh adanya perbedaan konsentrasi, yaitu dari konsentrasi tinggi ke tempat dengan konsentrasi rendah [1].

Keuntungan kolom gelembung pancaran diantaranya adalah sederhana dalam perancangan, mudah dalam pengoperasian dan pemeliharannya, volume reaktor yang dibutuhkan kecil, ukuran diameter gelembung yang terdispersi kedalam cairan kecil, luas area spesifik antar fasa besar, serta dapat memperoleh koefisien perpindahan massa yang sangat besar apabila dibandingkan dengan jenis kolom gelembung konvensional lainnya [2,3]. Selain itu pencampuran yang terjadi antar fasa gas-cair diperoleh sendiri dari gerakan tumbukan cairan yang menumbuk cairan stagnan yang terdapat didalam kolom, tumbukan tersebut akan membentuk lubang seperti terompet serta gas akan terhisap dan akan terperangkap diantara celah lubang tersebut. Tumbukan tersebut dapat membentuk pusaran eddy [4,5], sehingga demikian tidak diperlukan lagi alat pengaduk. Kemampuan pusaran *eddy* ini tergantung pula pada diameter kolom *downcomer* yang akan didisain. Pada Tabel.1 ditampilkan perbandingan khas harga dari kla , ϵ_G , V_R (volume kontaktor) dan ϵ_V (Energi yang hilang per satuan volume) pada beberapa jenis alat kontak cair-gas [3].

Bentuk alat pada eksperimen ini adalah jenis *Jet (loop)*, pada Tabel.1 diatas akan memiliki harga koefisien

Tabel 1. Berbagai kontak gas – cair secara umum

Contactor	$k_1 a_1^*$ l/s	a_1 m ² /m ³	ϵ_G	V_R m ³	ϵ_G kW/m ³
Bubble column excluding jet (loop)	0.005-0.01	~20	<0.2	0.002-300	0.01-1
Spray column	0.0007-0.015+	10-100+	>0.8	-	-
Packed column, countercurrent	0.005-0.02	~200	>0.95	0.005-300	0.01-0.2
Plate column	0.01-0.05	100-400+	>0.8	0.005-300	0.01-0.2
Pipe/tube	0.01-0.7**	50-2,000+	0.05-0.95	-	0.1-100**
Mechanically agitated tank	0.02-2.2	~200	<0.1	0.002-100	0.5-4
Jet (loop)	0.01-2.2	200-2,000	<0.5	0.02-100	0.8-90
Tubular/venturi ejector and motionless mixer	0.1-3	1,000- 7,000	~0.5++	<10	10-700

* Typical for O₂ (air)/water unless noted otherwise.

perpindahan massa (kla) berada pada range 0,02 – 2,2 s¹, luas area spesifik antarfasa (a) 200 – 2000 m²/m³, *holdup* fasa gas < 0,5 , volume kontaktor (V_R) berada pada range 0,02 – 100 m³, serta energi yang hilang persatuan volume (ϵ_V) berada pada range 10 – 700 kW/m³. Pada Tabel 1 diatas terlihat nilai koefisien perpindahan massa untuk jenis Tubular/venturi dan jenis *Jet* memiliki nilai yang tinggi apabila dibandingkan dengan jenis alat kontak lainnya. Apabila harga kla pada alat jenis *Jet* dibandingkan dengan jenis *Tubular/venturi ejector* akan memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan, tetapi apabila kita membandingkan dari segi energi yang hilang persatuan volume maka alat *jet* akan memiliki keunggulan dari pada jenis *Tubular*. Adapun keunggulan tersebut memiliki perbedaan yang cukup signifikan.

Dalam pemakaian kolom gelembung pancaran, diperlukan pemahaman yang baik mengenai peristiwa perpindahan massa yang terkait dengan masalah *mixing* (pengadukan) dan hidrodinamika. Dalam membahas perpindahan massa di dalam kolom gelembung yang melibatkan suatu reaksi kimia, masalah yang menarik untuk diteliti adalah menentukan konstanta/tetapan laju reaksi yaitu suatu besaran yang diperoleh atau bergantung dari ordo suatu reaksi kimia dan dapat menentukan reaksi tersebut cepat atau lambat [6]. Perpindahan massa dari fasa gas ke fasa cair akibat adanya gradien konsentrasi pada film cairan, dipengaruhi oleh sifat fisis bahan, pola alir dan resim pola aliran. Atas dasar fenomena itu, maka koefisien perpindahan massa merupakan fungsi multiple variable. Penelitian perpindahan massa selalu dimaksudkan untuk memperoleh model matematik yang menyatakan hubungan fungsional antara koefisien perpindahan massa fasa cair dengan variable-variabel perancangan yang dipandang relevan yaitu diameter kolom, laju sirkulasi cairan dan gas, *diameter nozzle* dan jarak *nozzle* dengan permukaan air [7].

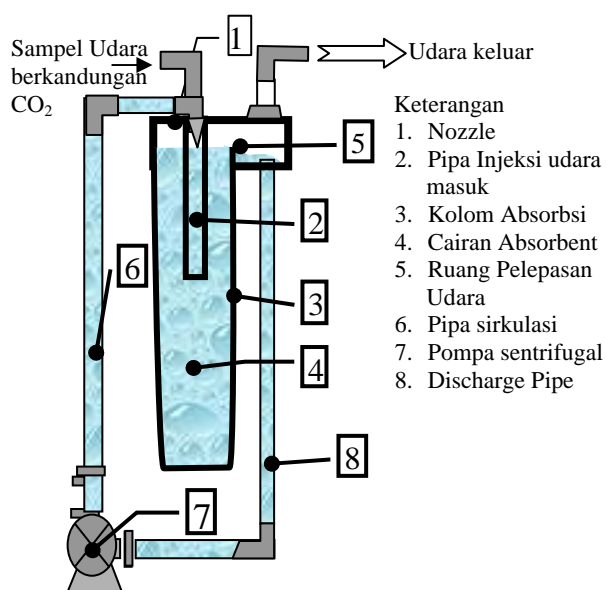
Dalam proses perpindahan massa gas kedalam fasa cair yang melibatkan suatu reaksi di dalam suatu kolom

gelembung pancaran, salah satu hal yang penting untuk diketahui adalah laju reaksi kimia untuk proses tersebut, yaitu besaran yang menyatakan jumlah mol reaktan persatuan volume yang bereaksi dalam satuan waktu tertentu. Harga konstanta laju reaksi (k) didalam suatu kolom gelembung pancaran dapat ditentukan melalui percobaan profil perubahan konsentrasi larutan NaOH dalam kolom gelembung persatuan waktu tertentu. Selain itu juga untuk pemahaman hidrodinamikanya kita akan menghitung *holdup* fasa gas,. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah melihat pengaruh laju alir volumetrik cairan (Q_L) terhadap laju alir volumetrik gas yang terhisap (Q_G) pada panjang pipa *downcomer* tercelup (Z) yang konstan,,menghitung *holdup* fasa gas, serta kinetika reaksi absorpsi gas CO_2 .

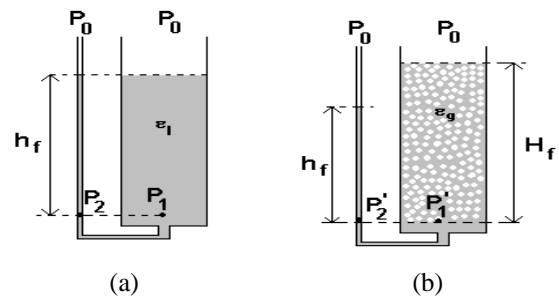
2. Metode Penelitian

Metode absorpsi dengan menggunakan alat Jet seperti terlihat pada Gambar 1. Pancaran cairan jet dibentuk dengan menggunakan *nozzle* dan pompa sentrifugal. Pancaran cairan jet tersebut dipasang pipa *downcomer* untuk mengatur penyedotan udara (*gas entrainment*) serta tingkat kedalaman penetrasi pancaran cairan. Variabel yang menjadi batasan adalah diameter *downcomer* ($2''$), panjang *downcomer*, diameter kolom absorpsi.

Teknik menghitung *Holdup* Fasa Gas. Dalam menghitung *holdup* fasa gas untuk model desain ini dapat menggunakan prinsip dasar tekanan pada suatu bejana yang diperhitungkan dengan adanya tambahan dari saluran peralatan tambahan (pipa tambahan) dan mengacu persamaan aksi tekanan statik pada desain,



Gambar 1. Kesetimbangan tekanan statik kolom gelembung pancaran



Gambar 2. Kesetimbangan tekanan statik kolom gelembung pancaran

dimana ketinggian merupakan suatu derajat penurunan akhir pada kolom gelembung pancaran yang ditampilkan pada Gambar 2.

Sesuai gambar point (a) dapat kita turunkan persamaan matematikanya sebagai berikut :

$$P_2 = P_0 + \rho \cdot g \cdot h_f \cdot \epsilon_1 \tag{1}$$

$$P_1 = P_0 + \rho \cdot g \cdot h_f \cdot \epsilon_1 \tag{2}$$

Dimana nilai ϵ_1 berharga 1, ini dikarenakan belum adanya *holdup* fasa gas.

Sehingga persamaan (1) dan (2) akan menjadi :

$$P_2 = P_0 + \rho \cdot g \cdot h_f \tag{3}$$

$$P_1 = P_0 + \rho \cdot g \cdot h_f \tag{4}$$

Pada Gambar point (b) kita juga dapat menurunkan persamaan matematikanya sebagai berikut :

$$P_1' = P_0 + \rho \cdot g \cdot H_f \tag{5}$$

$$P_2' = P_0 + \rho \cdot g \cdot h_f \cdot \epsilon_1 \tag{6}$$

dimana nilai $\epsilon_1 = 1 - \epsilon_g$, ini dikarenakan sudah adanya *holdup* fasa gas.

Sehingga persamaan (6) akan menjadi :

$$P_1' = P_0 + \rho \cdot g \cdot H_f \cdot (1 - \epsilon_g) \tag{7}$$

Pada Gambar 1 point (b) tekanan statik P_1' sama dengan P_2' maka akan kita peroleh nilai *holdup* fasa gas sebagai berikut,

$$P_2' = P_1'$$

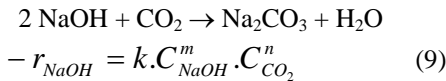
$$P_0 + \rho \cdot g \cdot h_f = P_0 + \rho \cdot g \cdot H_f \cdot (1 - \epsilon_g)$$

$$h_f = H_f \cdot (1 - \epsilon_g)$$

$$\epsilon_g = 1 - \frac{h_f}{H_f} \tag{8}$$

Teknik Menentukan Harga Konstanta Laju Reaksi (K_{obs})

Untuk menentukan koefisien kinetika reaksi (k_{obs}) absorpsi CO_2 dalam larutan absorbent NaOH dapat ditentukan dari persamaan kinetika reaksi berikut ini:



Dipandang bahwa :

- Kadar CO_2 di fasa gas dibuat konstan dan tidak ada komponen CO_2 didalam fasa cair, karena CO_2 habis bereaksi.
- Cairan NaOH homogen, karena adanya pengadukan dari sirkulasi pompa dan efek arus pusaran dalam kolom *downcomer*.
- Reaktan NaOH tidak mungkin berdifusi kedalam fasa film gas, karena alat bekerja pada suhu kamar sehingga larutan NaOH tidak mungkin terjadi penguapan langsung.

apabila $r_{\text{NaOH}} = \frac{dC_{\text{NaOH}}}{dt}$ dan $k_{\text{obs}} = k \cdot C_{\text{CO}_2}^n$

maka persamaan (9) akan menjadi,

$$\frac{dC_{\text{NaOH}}}{dt} = -k_{\text{obs}} \cdot C_{\text{NaOH}}^m \quad (10)$$

$$\frac{dC_{\text{NaOH}}}{C_{\text{NaOH}}^m} = -k_{\text{obs}} \cdot dt \quad (11)$$

atau

$$\int_{C=0}^{C=C_0} \frac{dC_{\text{NaOH}}}{C_{\text{NaOH}}^m} = -k_{\text{obs}} \int_{t=0}^{t=t_f} dt \quad (12)$$

Kondisi batas integrasi :

$$t = 0 \Rightarrow C = C_0$$

$$t = t_f \Rightarrow C = 0 \text{ (tercapainya kesetimbangan absorpsi)}$$

$$\frac{C_0^{1-m}}{1-m} = k_{\text{obs}} \cdot t_f \quad (13)$$

$$\ln\left(\frac{C_0^{1-m}}{1-m}\right) = \ln(k_{\text{obs}} \cdot t_f) \quad (14)$$

$$(1-m) \ln C_0 - \ln(1-m) = \ln k_{\text{obs}} + \ln t_f \quad (15)$$

$$\ln C_0 = \frac{\ln k_{\text{obs}} + \ln(1-m)}{(1-m)} + \frac{1}{(1-m)} \ln t_f \quad (16)$$

$$\ln C_0 = \frac{\ln\{k_{\text{obs}} \cdot (1-m)\}}{(1-m)} + \frac{1}{(1-m)} \ln t_f \quad (17)$$

3. Hasil dan Pembahasan

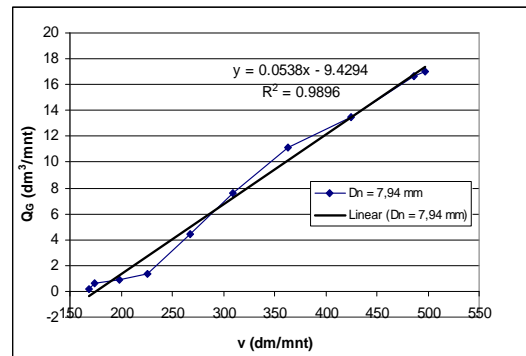
Awal mula terbentuk gelembung adalah di dalam pipa *downcomer*, karena kecepatan pancaran cairan (*jet*) yang mengenai permukaan cairan didalam pipa *downcomer* akan terbentuk permukaan yang menyerupai terompet, karena terjadinya tumbukan antara permukaan cairan dengan kecepatan pancaran cairan tersebut. Disamping itu juga terjadi arus pusaran akibat tumbukan tersebut yang mengakibatkan gelembung maupun cairan tidak segera mengalir keluar dari pipa *downcomer*. Semakin panjang pipa *downcomer* tercelup maka semakin lama tinggal cairan

maupun gas berada dalam pipa tersebut. Dan juga apabila laju kecepatan cairan pada rentang laju yang rendah terlihat gas yang terbentuk cenderung terlepas lagi pada permukaan cairan dalam pipa *downcomer*. Hal ini menyebabkan gas yang terhisap maupun *gas holdup* mengecil (kinerja alat kolom gelembung pancaran tidak optimal). Apabila kecepatan pancaran cairan diperbesar maka akan menyebabkan kedalaman penetrasi semakin dalam yang mengakibatkan peningkatan arus pusaran semakin intensif. Oleh karenanya penelitian ini divariasikan ukuran diameter nozzle dan ketinggian permukaan cairan dengan ujung pelepasan kolom *downcomer* (Z) atau panjang pipa *downcomer* yang tercelup.

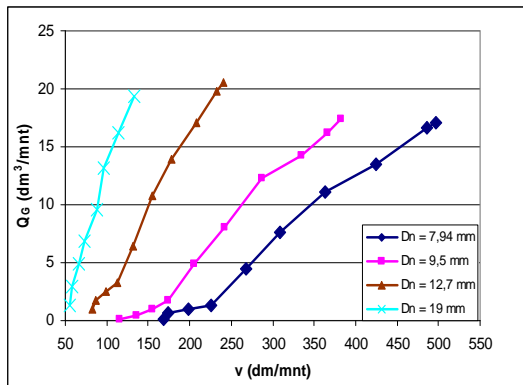
Hidrodinamika

Gas entrainment. *Gas entrainment* merupakan gas yang terhisap akibat adanya energi momentum yang berasal dari kecepatan pancaran cairan. Dari data laju alir volumetrik cairan dapat ditentukan kecepatan pancaran cairan, didapat profil laju gas yang terhisap terhadap kecepatan pancaran cairan yang berbeda pada ukuran diameter nozzle (Gambar 3), dan profil laju gas yang terhisap terhadap kecepatan pancaran cairan yang berbeda pada ukuran diameter nozzle yang berbeda (Gambar 3). Data laju gas yang terhisap diperoleh dari alat ukur flowmeter. Profil laju gas yang terhisap dapat memperlihatkan hubungan yang linier terhadap kecepatan pancaran cairan. Dari Gambar 2 terlihat oleh nilai rata-rata koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9896 (hampir mendekati 1) untuk ukuran diameter nozzle 7,94 mm.

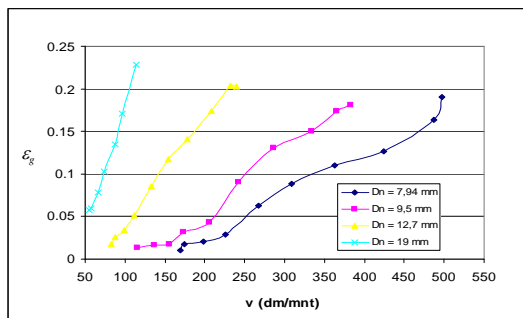
Untuk semua profil tersebut, laju gas yang terhisap semakin besar untuk kecepatan pancaran cairan yang semakin tinggi. Begitupun juga dengan semakin besar ukuran diameter nozzle akan mengakibatkan semakin besar laju gas yang terhisap. Hal ini diakibatkan adanya energi momentum yang masuk semakin besar dengan adanya penambahan kecepatan pancaran cairan dan



Gambar 3. Profil laju gas entrainment (Q_G) terhadap kecepatan pancaran cairan (v) pada ukuran diameter nozzle yang tetap dan panjang pipa *downcomer* yang tercelup 55 cm



Gambar 4. Profil laju gas *entrainment* (Q_g) terhadap kecepatan pancaran cairan (v) pada ukuran diameter nozzle yang berbeda dan panjang pipa *downcomer* yang tercelup (Z) 55 cm



Gambar 5. Profil Holdup fasa gas (ϵ_g) terhadap kecepatan pancaran cairan (v) pada ukuran diameter nozzle yang berbeda (D_n)

ukuran diameter nozzle tersebut. Sehingga menghasilkan kedalaman penetrasi semakin besar di dalam kolom *downcomer*. Selain itu dapat meningkatkan arus pusaran semakin intensif yang dapat menyebabkan gas yang terhisap kedalam kolom *downcomer* semakin besar.

Holdup fasa gas

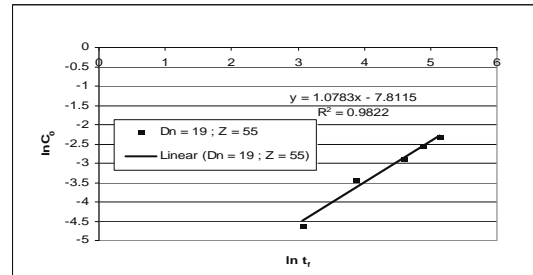
Persamaan holdup fasa gas diformulasikan berdasarkan persamaan (8) Dari data percobaan yang diperoleh dari perhitungan, dapat dibuat profil holdup fasa gas untuk kecepatan pancaran cairan pada ukuran diameter nozzle yang berbeda dan pada panjang pipa *downcomer* yang tercelup (Z) 55 cm. Dari Gambar 5, terlihat profil *holdup* fasa gas akan semakin besar untuk kecepatan pancaran cairan yang semakin tinggi pada ukuran nozzle yang tetap. Begitupun juga dengan ukuran diameter nozzle semakin besar akan menghasilkan

holdup fasa gas yang semakin besar. Hal ini diakibatkan adanya energi yang menumbuk cairan dalam kolom *downcomer* semakin besar, sehingga mengakibatkan tekanan statik pada kedalaman cairan semakin besar (tumbukan semakin dalam). Begitupun juga dengan

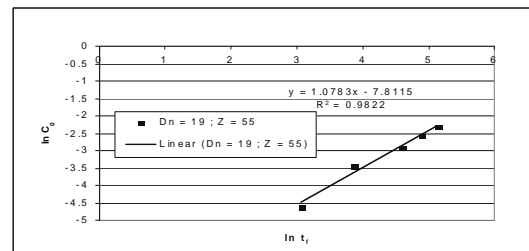
semakin besarnya ukuran diameter nozzle akan berpengaruh terhadap ukuran pancaran cairan. Dengan semakin besarnya ukuran pancaran cairan maka akan menghasilkan kedalaman tumbukan semakin besar dan meningkatkan arus pusaran semakin intensif.

Kinetika Absorpsi CO₂

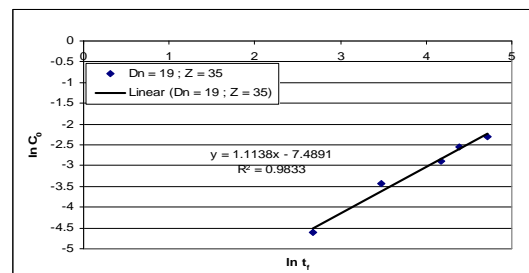
Persamaan kinetika absorpsi CO₂ diformulasikan berdasarkan persamaan 17. Hasil uji kinetika seperti terlihat pada Gambar 6 sampai Gambar 11 berikut ini



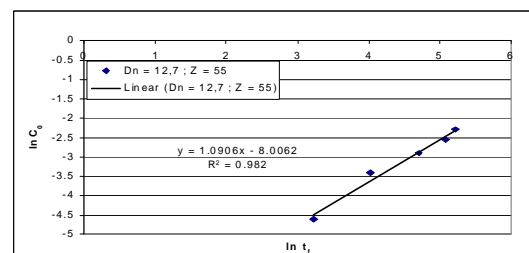
Gambar 6. Profil konsentrasi NaOH awal terhadap waktu final pada $D_n = 19$ mm dan $Z = 55$ cm



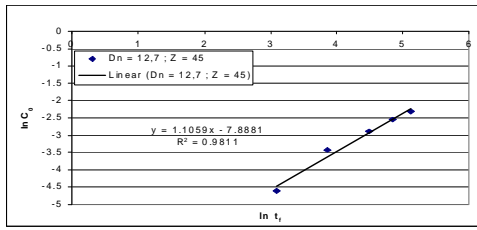
Gambar 7. Profil konsentrasi NaOH awal terhadap waktu final pada $D_n = 19$ mm dan $Z = 45$ cm



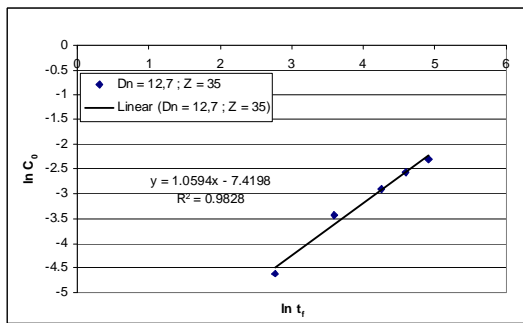
Gambar 8. Profil konsentrasi NaOH awal terhadap waktu final pada $D_n = 19$ mm dan $Z = 35$ cm



Gambar 9. Profil konsentrasi NaOH awal terhadap waktu final pada $D_n = 12,7$ mm dan $Z = 55$ cm



Gambar 10. Profil konsentrasi NaOH awal terhadap waktu final pada $D_n = 12,7$ mm dan $Z = 45$ cm



Gambar 11. Profil konsentrasi NaOH awal terhadap waktu final; $D_n = 12,7$ mm dan $Z = 35$ cm.

Tabel 2. Hasil perhitungan konstanta kinetika reaksi

Q_L (lt/mnt)	D_n (mm)	Z (cm)	\mathcal{E}_g	Q_G (lt/mnt)	k_{obs}	Koefisien determinasi
3,7731	19	55	0,350	19,3795	0,0008	0,9822
		45	0,4015	20,9102	0,0012	0,9815
		35	0,4650	21,9102	0,0013	0,9833
3,0398	12,7	55	0,3121	20,5564	0,0007	0,9820
		45	0,3191	21,9102	0,0009	0,9811
		35	0,3590	22,9102	0,0010	0,9828

dengan membuat grafik linierisasi antara $\ln C_0$ vs $\ln t_f$ untuk masing-masing jarak pipa *downcomer* yang tercelup (Z) pada dua jenis ukuran diameter nozzle maka harga konstanta atau tetapan laju absorpsi dapat ditentukan. Hasil linierisasi untuk masing – masing jarak pipa *downcomer* yang tercelup pada kedua jenis ukuran diameter nozzle ditunjukkan pada gambar 6 sampai dengan 11. Pada gambar 6 sampai dengan 11, terlihat bahwa data-data jarak pipa *downcomer* yang tercelup (Z) pada dua jenis ukuran diameter nozzle (D_n) menunjukkan kecenderungan kurva yang mengikuti garis linier. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari Tabel 3 diatas terlihat konstanta kinetika reaksi semakin besar dengan makin dekatnya permukaan cairan dengan ujung pelepasan pipa *downcomer* (Z) atau panjang pipa *downcomer* yang tercelup. Hal ini diakibatkan gas yang terbentuk dalam pipa *downcomer* dapat terdispersi didalam kolom gelembung dan akan

terbentuk ukuran diameter gelembung yang semakin kecil. Ukuran diameter yang semakin kecil tersebut dipengaruhi oleh kedalaman penetrasi pancaran cairan serta dapat meningkatkan arus pusaran semakin intensif. Dengan semakin kecil diameter gelembung akan menaikkan luas spesifik area antarfasa. Begitupun juga dengan semakin besar ukuran diameter *nozzle* akan menaikkan nilai konstanta kinetika reaksi. Semakin besar harga konstanta kinetika reaksi maka akan semakin cepat pula reaksi tersebut. Dari nilai gas holdup dan gas entrainment yang dihasilkannya pun semakin besar untuk makin kecilnya pipa *downcomer* yang tercelup pada masing – masing diameter *nozzle* dan laju alir volumetrik cairan.

4. Kesimpulan

- Studi absorpsi CO_2 telah dapat dilakukan dengan melihat aspek hidrodinamika dengan parameter *gas entrainment* dan *gas holdup*. Serta aspek kinetika dengan memformulasikan berdasarkan persamaan *pseudo first order reaction* terhadap absorbent NaOH.
- Dalam studi hidrodinamika kolom absorpsi diperoleh gambaran bahwa ternyata semakin besar kecepatan pancaran cairan jet dan ukuran diameter nozzle akan menghasilkan *gas entrainment* yang diperoleh semakin besar dan cenderung berkorelasi linear terhadap laju kecepatan pancaran cairan jet. Begitu juga untuk gas hold up yang dihasilkan cenderung berkorelasi linear terhadap kecepatan cairan jet.
- Uji kinetika reaksi absorpsi memperlihatkan *pseudo order reaction* dengan berbagai uji absorpsi dengan diameter nozzle 12,7 dan 19 mm dengan berbagai kedalam pipa *downcomer* 55, 45 dan 35 cm.

Daftar Notasi

- a_D : Luas area spesifik antarfasa, (m^2/m^3)
- C_0 : konsentrasi NaOH pada saat awal ($t = 0$)
- D_n : Diameter Nozzle, (mm)
- D_T : Diameter tabung, (cm)
- h_f : tinggi cairan (ρ), *gas entrainment* (gas yang terhisap), tekanan cairan,
- H_f : Tinggi cairan aerasi, (cm)
- h_{GD} : Holdup fasa gas
- k_{obs} : konstanta pseudo-first-order reaction
- m : ordo reaksi terhadap NaOH
- n : ordo reaksi terhadap CO_2
- P_1, P_1' , P_2, P_2' : Tekanan statik didalam kolom, (atm)
- Q_G : Laju alir volumetrik gas (lt/mnt)
- Q_L : Laju alir volumetrik cairan (lt/mnt)
- t_f : waktu yang dibutuhkan kadar NaOH habis bereaksi.
- V_a : Volume air dalam kolom, (cm^3)
- V_g : Volume gas yang terdispersi, (cm^3)
- Z : panjang *downcomer* yang tercelup

Daftar Acuan

- [1] G. Liu, G. M. Evans, University of Newcastle Internal Research Report, 1998, unpublished.
- [2] M. Ide, H. Uchiyama, T. Ishikura, Chem. Eng. Sci. 56 (2001) 6225.
- [3] S.Y. Lee, Y. P Tsui, Chem. Eng. Progress, 1999.
- [4] A. Ito *et. al*, J. Chem. Eng. Japan 33/No. 6 (2000) 898.
- [5] P. Havelka *et. al*, Chemical Engineering Science, 55 (2000) 535.
- [6] K. Yamagiwa, A. Ohkawa, J. Fermentation and Bioengineering, vol. 68 (1989) p.160.
- [7] O. Levenspiel, Chemical Reaction Engineering, 2nd ed., Wiley Int. 1982.