

# HIDRODINAMIKA REAKTOR KOLOM GELEMBUNG DENGAN DAN TANPA ISIAN UNGGUN PADA PROSES PENYERAPAN GAS CO<sub>2</sub> OLEH LARUTAN NAOH

Hendriyana<sup>1,\*</sup>, Gatot Trilaksono<sup>1</sup>, Bambang H Prabowo<sup>1</sup> dan Lulu Nurdini<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi

\*E-mail: hendriyana@lecture.unjani.ac.id

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji sebuah reaktor kolom gelembung. Reaktor kolom gelembung yang dirancang diharapkan dapat digunakan untuk mereaksikan reaktan multi-fasa. Reaktor yang telah dirancang diuji dengan sistem reaksi antara gas CO<sub>2</sub> dan larutan NaOH. Reaktor dioperasikan pada kondisi tekanan atmosferik. Pengaruh beberapa variabel seperti kecepatan gas superfisial, konsentrasi NaOH dan unggun isian telah diujikan terhadap kinerja reaktor kolom gelembung. Kecepatan gas superfisial bervariasi dari  $2,75 \cdot 10^{-3}$  hingga  $3,46 \cdot 10^{-3}$  m/s dan konsentrasi natrium hidroksida bervariasi 0,5 M dan 1 M. Reaktor kolom gelembung dievaluasi tanpa dan dengan unggun di dalam reaktor. Parameter kinerja reaktor kolom gelembung yang digunakan adalah gas holdup dan konstanta laju reaksi. Gas holdup untuk reaktor dengan isian unggun lebih kecil 3 sampai 5 kali dibandingkan dengan kolom tanpa isian unggun. Sedangkan laju reaksi meningkat dengan adanya penambahan unggun ke dalam kolom. Peningkatan kecepatan gas superficial dapat meningkatkan nilai gas holdup dan laju reaksi. Konsentrasi reaktan natrium hidroksida juga memberikan pengaruh positif terhadap gas holdup dan laju reaksi.

**Kata kunci:** Reaktor kolom gelembung, unggun, gas *holdup*, kecepatan superfisial, konstanta laju reaksi.

## ABSTRACT

This study aims to design and test a bubble column reactor. Bubble column reactor designed expected to be used for treating the multi-phase reactants. The reactor that has been designed was tested with a reaction system between CO<sub>2</sub> gas and NaOH solution. The reactor was operated under conditions of atmospheric pressure. Effect of several variables such as superficial gas velocity, concentration of NaOH and packed bed in column was evaluated to the bubble column reactor. The superficial gas velocity varies from  $2.75 \cdot 10^{-3}$  to  $3.46 \cdot 10^{-3}$  m/s and sodium hydroxide concentration varies from 0.5 M and 1 M. Bubble column reactors are evaluated without and with bed inside reactor. The parameters of the bubble column reactor performance used to evaluate the reactor are the gas hold up and the rate constant of the reaction. Gas holdup for reactor with bed fill is 3 to 5 times smaller than for column without bed fill. Meanwhile the rate of reaction increases with the addition of a bed to the column. Increasing the superficial gas velocity increased the gas holdup value and the reaction rate. The concentration of sodium hydroxide reactants also has a positive effect on gas holdup and reaction rates.

**Keywords:** Bubble column reactor, bed, gas holdup, superficial velocity, rate constant

## PENDAHULUAN

Reaktor kolom gelembung banyak digunakan dalam berbagai proses kimia seperti oksidasi, klorinasi, alkilasi, hidrogenasi dan reaksi polimerisasi. Reaktor kolom gelembung dapat digunakan dalam sintesis metanol dua tahap seperti yang dikemukakan oleh Hendriyana, dkk. (2015) terutama dalam reaksi karbonilasi. Reaktor gelembung memiliki banyak keuntungan seperti memiliki waktu tinggal yang lebih tinggi sehingga dapat meningkatkan gas holdup, kecepatan transfer per unit volume yang lebih tinggi, kebutuhan ruang minimum dan biaya investasi yang lebih sedikit (Shanmugam, dkk., 2008, Giorgio, dkk., 2018, Shuli, dkk., 2019). Selain itu, reaktor ini juga memiliki perpindahan panas dan massa yang sangat baik yang artinya koefisien perpindahan massa dan koefisien perpindahan panasnya cukup besar. Biaya perawatan dan pengoperasian juga relatif lebih murah (Degaleesan, dkk., 2001).

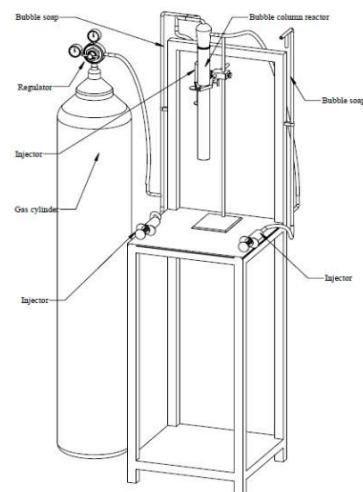
Penelitian tentang reaktor kolom gelembung telah dipelajari oleh beberapa peneliti. Shanmugam, dkk. (2008) mengembangkan kolom gelembung yang diaduk. Kolom gelembung ini tidak cocok untuk skala besar. Ini karena kolom akan membutuhkan pengaduk yang sangat besar dan juga energi untuk motor pengaduk yang besar. Salah satu metode yang dapat dikembangkan untuk menggantikan peran pengadukan adalah dengan menambahkan unggun ke dalam kolom. Sehingga diharapkan gelembung yang terbentuk mudah pecah dan perpindahan massa terjadi lebih cepat tanpa membutuhkan energi mekanik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh unggun isian terhadap kinerja kolom bubble pada beberapa kondisi kecepatan gas superfisial dan konsentrasi larutan natrium hidroksida.

## METODE Alat dan Bahan

Reaktor kolom gelembung yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari bahan kaca berdiameter 2,5 cm dan tinggi 40 cm serta unggun isian juga terbuat dari kaca dengan diameter rata-rata 0,75 cm. Ketinggian unggun yang digunakan 14 cm. Karbon dioksida yang digunakan memiliki kemurnian 99,9% yang diperoleh dari toko gas di Bandung. Natrium hidroksida yang dibeli dari Merck memiliki kandungan NaOH  $\geq$  99%.

### Prosedur Absorpsi

Skema percobaan ditunjukkan pada Gambar 1. Pertama, larutan natrium hidroksida dengan konsentrasi 0,5 M atau 1 M dituangkan ke dalam kolom gelembung. Tahap kedua adalah mengalirkan gas CO<sub>2</sub> dengan beberapa kecepatan gas superfisial ( $2,75 \cdot 10^{-3}$  hingga  $3,46 \cdot 10^{-3}$  m/s). Laju alir volumetrik gas CO<sub>2</sub> masukan dan keluaran diukur menggunakan bubble soap meter dengan interval waktu pengukuran per 3 menit



Gambar 1. Representasi skematis dari peralatan yang digunakan untuk studi hidrodinamika

## Parameter

Banyak parameter dapat digunakan untuk menentukan efektivitas desain dan peningkatan skala reaktor kolom gelembung. Dalam penelitian ini hanya digunakan beberapa parameter pengukuran berdasarkan eksperimen kondisi operasi yang dilakukan. Parameter yang digunakan adalah fraksional gas *hold up* ( $\varepsilon_g$ ), kecepatan gas superfisial ( $V_g$ ) dan kinetika reaksi absorpsi CO<sub>2</sub> untuk reaksi CO<sub>2</sub> dengan natrium hidroksida. Penjelasan masing-masing parameter tersebut dijelaskan sebagai berikut.

Gas *holdup* adalah fraksi volume gas dalam total volume fasa gas-cair di dalam kolom gelembung, yang merupakan salah satu parameter terpenting untuk mencirikan karakteristik hidrodinamika kolom gelembung. Ini terkait erat dengan ukuran gelembung dan kecepatan gas superfisial (Fangfang, dkk., 2019). Gas holdup adalah jumlah gas yang tertahan dalam cairan selama gelembung. Gas holdup dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (1) (Shanmugam, dkk., 2008).

$$\varepsilon_g = \frac{H_f - H_i}{H_i} \quad (1)$$

dimana :

- $\varepsilon_g$  = gas hold up
- $H_i$  = ketinggian cairan awal (cm)
- $H_f$  = ketinggian cairan akhir (cm)

Ketinggian awal cairan dalam reaktor ditentukan dengan menggunakan penggaris. Ketinggian zat cair akan berubah ketika gas dialirkan ke dalam reaktor kolom gelembung dari dasar reaktor dan ketinggian ini disebut tinggi akhir zat cair.

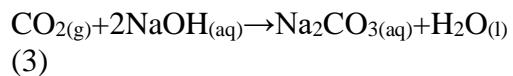
Kecepatan superfisial gas adalah kecepatan gas melalui kolom pada saat kolom tidak berdesak-desakan. Gas superfisial dapat dihitung menggunakan persamaan (2) sebagai berikut (Siavash, dkk., 2018).

$$V_g = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

dimana :

- $V_g$  = kecepatan superfisial gas (m/s);
- $Q$  = laju alir volumetrik (m<sup>3</sup>/s);
- $A$  = luas penampang (m<sup>2</sup>).

Parameter lain yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja reaktor kolom gelembung adalah konstanta laju reaksi dalam reaksi CO<sub>2</sub> dengan NaOH (persamaan 4). Metode ini merupakan pendekatan yang dilakukan oleh beberapa peneliti dalam menguji kemampuan konfigurasi reaktor dua fasa (gas dan cairan) seperti yang telah dilakukan oleh Setiadi, dkk. (2008).



$$\frac{-dC_{\text{NaOH}}}{dt} = k \cdot C_{\text{CO}_2}^n \cdot C_{\text{NaOH}}^m \quad (4)$$

Asumsi:

- Konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam fase gas konstan dan CO<sub>2</sub> bereaksi dalam fase cair
- Konsentrasi NaOH dalam reaktor dianggap homogen
- Reaktan NaOH tidak berdifusi ke dalam fasa gas, akibat kondisi operasi reaktor kolom gelembung pada suhu kamar sehingga tidak memungkinkan untuk menguap

$$\frac{dC_{\text{NaOH}}}{dt} = -k_{\text{obs}} \cdot C_{\text{NaOH}}^m \quad (5)$$

$$\frac{dC_{\text{NaOH}}}{C_{\text{NaOH}}^m} = -k_{\text{obs}} \cdot dt \quad (6)$$

dengan:

$$k_{obs} = k \cdot C_{CO_2}^n$$

$$t = 0 \Rightarrow C = C_t$$

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

Integrasi persamaan (6) dijelaskan sebagai berikut:

$$\frac{C_t^{1-m}}{1-m} = k_{obs} \cdot t_f \quad (7)$$

$$\ln\left(\frac{C_t^{1-m}}{1-m}\right) = \ln(k_{obs} \cdot t_f) \quad (8)$$

$$(1-m)\ln C_t - \ln(1-m) = \ln k_{obs} + \ln t_f \quad (9)$$

$$\ln C_t = \frac{\ln k_{obs} + \ln(1-m)}{(1-m)} + \frac{1}{(1-m)} \ln t_f \quad (10)$$

$$\ln C_t = \frac{\ln(k_{obs}(1-m))}{(1-m)} + \frac{1}{(1-m)} \ln t_f \quad (11)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

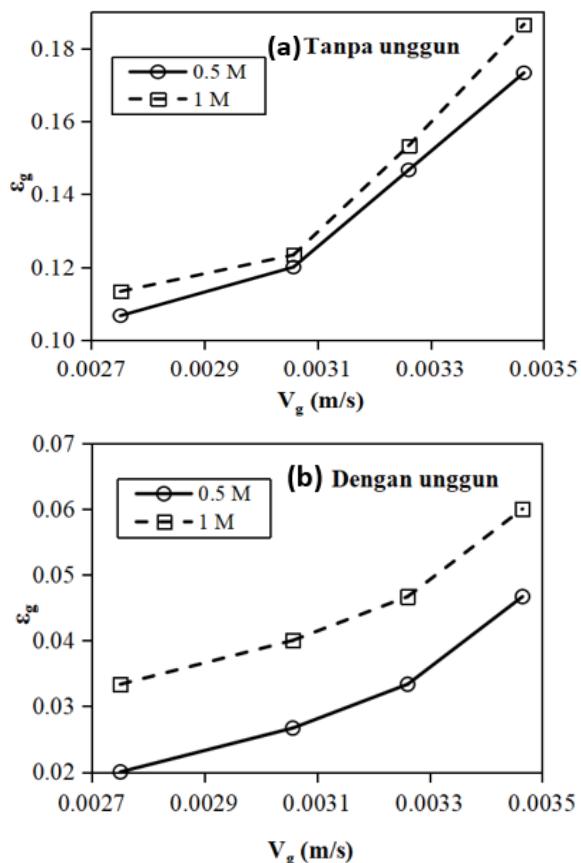
### Pengaruh kecepatan superfisial gas terhadap gas holdup

Gas *holdup* pada berbagai kecepatan superfisial disajikan pada Gambar 2. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa gas *holdup* meningkat secara linier seiring dengan peningkatan kecepatan superfisial gas. Hal ini karena gelembung yang dihasilkan dalam kolom memiliki kecepatan yang tidak mencukupi untuk keluar dari cairan atau larut dalam cairan. Tren ini serupa dengan yang diamati oleh Sivasubramanian, dkk. (2009).

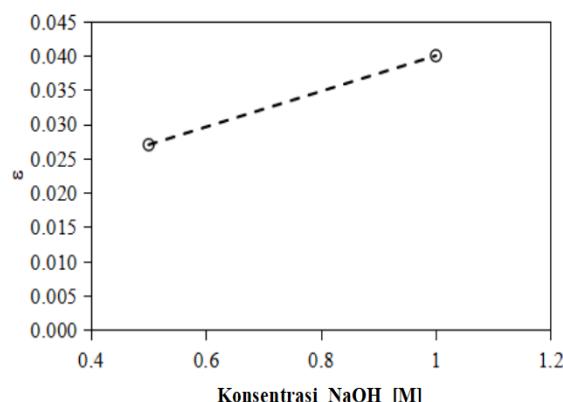
### Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap gas holdup

Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap gas holdup tanpa isian unggun di dalam kolom ditunjukkan pada Gambar 3. Gas holdup meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi NaOH. Hal ini disebabkan semakin banyaknya

gas CO<sub>2</sub> yang terlarut dan bereaksi dalam fase cair.



Gambar 2. Pengaruh kecepatan superfisial gas terhadap gas holdup (a) tanpa unggun (b) dengan unggun



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi NaOH pada gas holdup pada V<sub>g</sub> = 3,06 \* 10<sup>-3</sup> m/s

## Pengaruh tanpa dan dengan isian unggun terhadap gas holdup

Berdasarkan Tabel 1 penambahan unggun tetap dapat menurunkan gas holdup sekitar 67%. Dengan adanya unggun menyebabkan gelembung gas CO<sub>2</sub> pecah menjadi ukuran gelembung yang lebih kecil, sehingga luas permukaan menjadi bertambah dan lebih banyak CO<sub>2</sub> bereaksi dengan NaOH.

### Konstanta laju reaksi

Dalam penentuan kinetika, konstanta laju reaksi ditentukan berdasarkan persamaan (12). Data yang telah dicocokkan dengan model persamaan (12) disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Rangkuman gas holdup dan konstanta laju reaksi hasil percobaan disajikan pada Tabel 1.

Pada kecepatan superficial 2,75.10<sup>-3</sup> m/s dengan kolom tanpa unggun, peningkatan konsentrasi NaOH

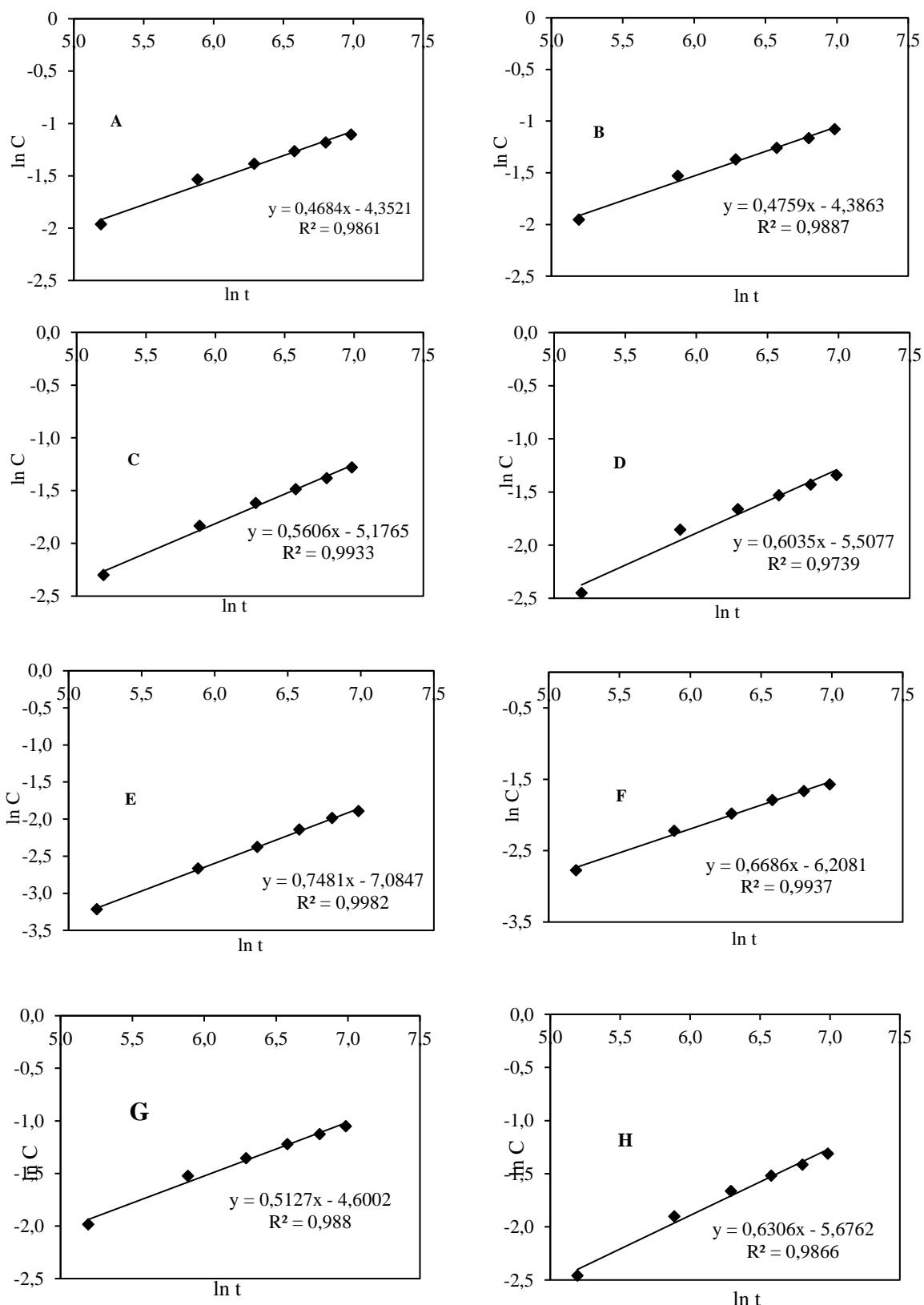
dari 0,5 M menjadi 1,0 M dapat meningkatkan konstanta laju reaksi dari 4,319.10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup> menjadi 5,761.10<sup>-5</sup>s<sup>-1</sup>. Peningkatan konstanta laju reaksi juga konsisten pada semua variasi kecepatan superfisial.

Berdasarkan hasil percobaan dapat diketahui bahwa konsentrasi NaOH berpengaruh terhadap konstanta laju reaksi. Hal ini tentunya disebabkan oleh laju reaksi yang merupakan fungsi dari konsentrasi NaOH seperti yang disajikan pada persamaan (6). Konstanta laju reaksi meningkat hampir 34% dengan meningkatkan konsentrasi NaOH dari 0,5 M menjadi 1,0 M.

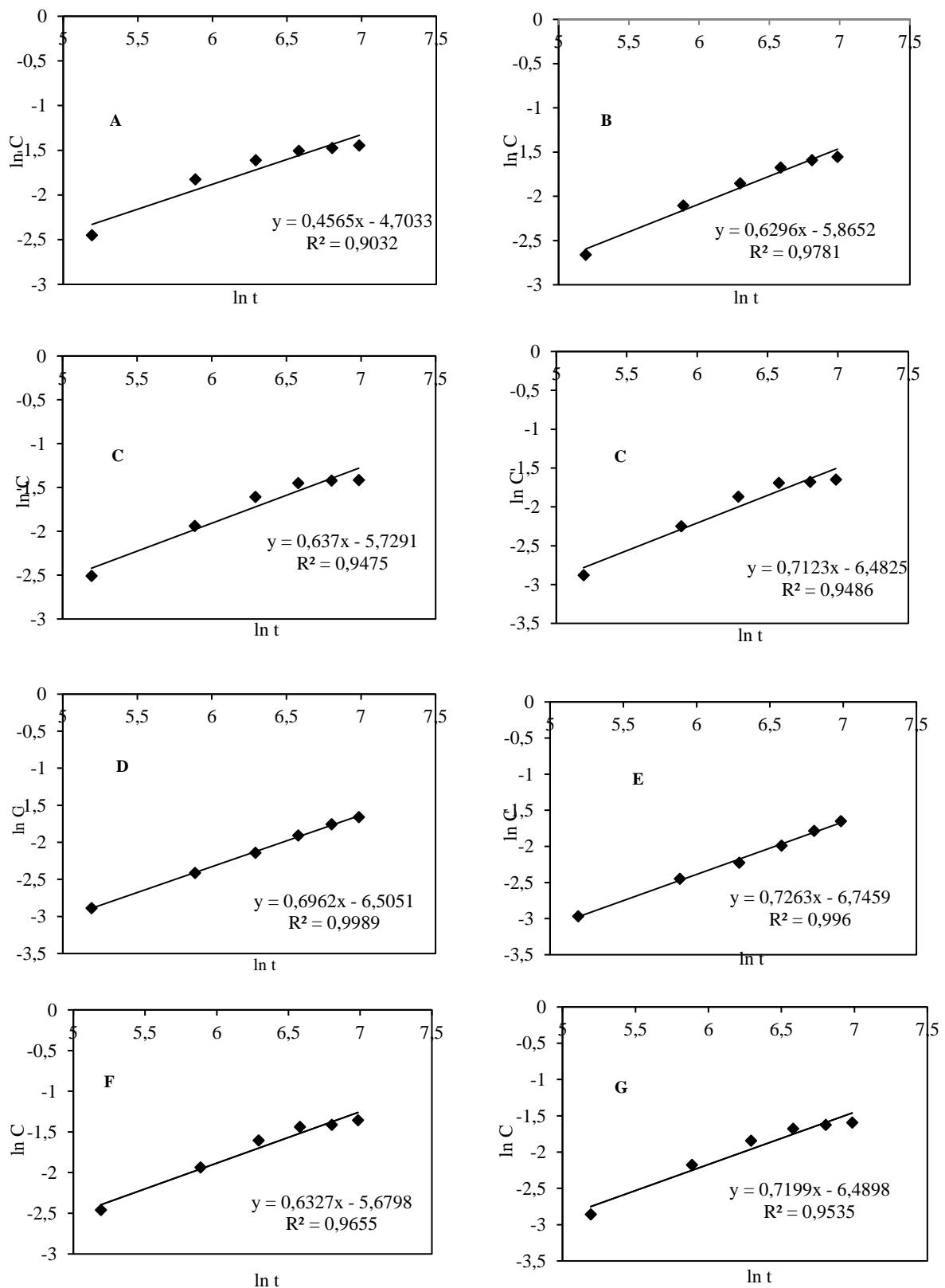
Pengaruh kecepatan gas superficial linier terhadap konstanta laju reaksi. Dimana konstanta laju reaksi meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan gas superficial. Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa kinerja reaktor kolom gelembung meningkat secara signifikan dengan penambahan unggun padat.

**Tabel 1. Gas holdup dan konstanta laju reaksi**

No.	[NaOH]	Kec. gas superficial (m/s) * 10 <sup>3</sup>	$\varepsilon_g$		k <sub>obs</sub> *10 <sup>5</sup>	
			tanpa unggun	dengan unggun	tanpa unggun	dengan unggun
1	0,5 M	2,75	0,107	0,020	4,319	4,701
2		3,06	0,120	0,027	4,728	5,666
3		3,26	0,147	0,033	5,476	7,508
4		3,46	0,173	0,047	6,564	7,948
5	1,0 M	2,75	0,113	0,033	5,761	6,093
6		3,06	0,123	0,040	6,204	6,720
7		3,26	0,153	0,047	6,504	7,989
8		3,46	0,187	0,060	7,772	8,753



**Gambar 4. Profil konsentrasi NaOH terhadap waktu tanpa isian unggun di dalam kolo pada: A. [0,5 M],  $2,75 \cdot 10^{-3}$ m/s; B. [0,5 M],  $3,06 \cdot 10^{-3}$ m/s; C. [0,5 M],  $3,26 \cdot 10^{-3}$ m/s; D. [0,5 M],  $3,46 \cdot 10^{-3}$ m/s; E. [1,0 M],  $2,75 \cdot 10^{-3}$ m/s; F. [1,0 M],  $3,06 \cdot 10^{-3}$ m/s; G. [1,0 M],  $3,26 \cdot 10^{-3}$ m/s; H. [1,0 M],  $3,46 \cdot 10^{-3}$ m/s**



**Gambar 5.** Profil konsentrasi NaOH terhadap waktu dengan isian unggul di dalam kolom pada:  
 A. [0,5 M],  $2,75 \cdot 10^{-3}$ m/s; B. [0,5 M],  $3,06 \cdot 10^{-3}$ m/s; C. [0,5 M],  $3,26 \cdot 10^{-3}$ m/s; E. [0,5 M],  $3,46 \cdot 10^{-3}$ m/s;  
 E. [1,0 M],  $2,75 \cdot 10^{-3}$ m/s; F. [1,0 M],  $3,06 \cdot 10^{-3}$ m/s; G. [1,0 M],  $3,26 \cdot 10^{-3}$ m/s; H. [1,0 M],  $3,46 \cdot 10^{-3}$ m/s

## SIMPULAN

Kecepatan gas superfisial, konsentrasi NaOH dan unggun pengisi dalam reaktor kolom berpengaruh cukup signifikan terhadap gas *holdup*. Konstanta laju reaksi juga dipengaruhi oleh kecepatan superfisial gas, konsentrasi NaOH, dan unggun isian. Kinerja kolom gelembung dengan unggun isian lebih baik dibandingkan kolom gelembung tanpa unggun isian.

Sivasubramanian, V. and Naveen Prasad, B. S. (2009). Effects of Superficial Gas Velocity and Fluid Property on The Hydrodynamic Performance of An Airlift Column with Alcohol Solution. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 1 (1): 245-253.

## DAFTAR RUJUKAN

Hendriyana, Susanto, H. and Subagjo (2015). Process Assesment of Small Scale Low Temperature Methanol Synthesis. *AIP Conference Proceedings*, 1699: 050010: 1-10.

Shanmugam, K., Saravanan, K., Ramamoorthy, V. and Balasubramani, R. (2008). Hydrodynamic Studies Stirred Bubble Column. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 43 (1): 113-118.

Degaleesan, S., Dudukovic, M. dan Pan, Y. (2001). Experimental Study of Gas Induced Liquid-Flow Structures in Bubble Columns. *AIChE Journal*, 47: 1913-1931

Luo, X., Lee, D. J., Lau, R., Yang, G., and Fan, L. (1999). Maximum Stable Bubble Size and Gas Holdup in High-Pressure Slurry Bubble Columns. *AIChE Journal*, 45: 665–685.

Shah, Y.T., Godbole, S.P., Deckwer, W.D. (1982). Design Parameters Estimations for Bubble Column Reactors. *AIChE Journal*, 28:353–379.

Setiadi, Tania, N., Hantzen and Supramono, D. (2008). Studi Absorpsi CO<sub>2</sub> Menggunakan Kolom Gelembung Berpancaran Jet. *Makara*, 12: 31-37.