

# Kinetika Absorpsi CO<sub>2</sub> dari Gas Buang Kendaraan Menggunakan Absorben KOH pada Reaktor Gelembung Pancaran

Agnes Tasya Pintauly Sirait\*, Muhammad Yerizam, Akbar Ismi Azis Pramito

Program Studi Teknologi Kimia Industri, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang

\*Koresponden email: pintauly2305@gmail.com

Diterima : 6 Maret 2025

Disetujui : 10 Maret 2025

## Abstract

This research aims to find out the kinetics of CO<sub>2</sub> absorption reaction of automobile exhaust gas using potassium hydroxide (KOH) as an absorbent in a jet bubble reactor. The jet bubble reactor was chosen because of its ability to increase the contact area between gas and liquid, thereby increasing the absorption efficiency. The variables analyzed in this study include KOH concentration, gas flow rate, and operating temperature. A study was conducted on CO<sub>2</sub> gas absorption in automotive gas using pure KOH alkali base solution and maximizing absorption in CO<sub>2</sub> exhaust gas. This study was conducted using concentration variations. (0.1, 0.2, 0.3 and 0.4 M), which is an important step to reduce the greenhouse effect that will negatively affect the environment.

**Keywords:** motor vehicles, co<sub>2</sub> absorption, absorben koh, jet bubble reactor

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kinetika reaksi penyerapan CO<sub>2</sub> dari gas buang kendaraan menggunakan kalium hidroksida (KOH) sebagai absorben di dalam reaktor gelembung pancaran. Reaktor gelembung pancaran dipilih karena kemampuannya untuk meningkatkan area kontak antara gas dan cairan, sehingga meningkatkan efisiensi penyerapan. Dalam studi ini, variabel-variabel yang dianalisis meliputi konsentrasi KOH, laju alir gas, dan suhu operasi. Telah melakukan penelitian tentang penyerapan gas CO<sub>2</sub> pada kendaraan dengan menggunakan larutan cairan basa alkali KOH yang murni dan memaksimalkan penyerapan pada gas buang CO<sub>2</sub>. Penelitian ini dilakukan menggunakan variasi konsentrasi Dari (0,1 , 0,2 , 0,3 dan 0,4 M), yang merupakan langkah penting untuk mengurangi efek rumah kaca yang akan berdampak negatif pada lingkungan.

**Kata Kunci:** kendaraan bermotor, absorpsi co<sub>2</sub>, koh absorbent, reaktor gelembung pancaran

## 1. Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk pada tahun 2022 hingga tahun 2024 menunjukkan laju pertumbuhan penduduk Indonesia yang mencapai 1,51% [1]. Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan semakin tinggi tingkat pertumbuhan, semakin cepat negara tersebut berkembang. Seiring dengan meningkatnya pembangunan dan pertumbuhan penduduk, masyarakat perlu dimobilisasi untuk memenuhi kebutuhan penghidupannya. Untuk pindah ke tempat lainnya memerlukan kendaraan untuk membantu memenuhi kebutuhan primer, sekunder, maupun tersier yang menunjang kelangsungan hidup, seperti, Pemenuhan kebutuhan pangan, kebutuhan pendidikan, kebutuhan tenaga kerja, dan lain-lain.

Emisi gas yang dihasilkan dari motor mempunyai beberapa jenis, antara lain CO (karbon monoksida), HC (hidrokarbon), NO<sub>x</sub> (oksida nitrogen), partikulat debu termasuk timbal (Pb), SO<sub>x</sub> (oksida sulfur), dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), komposisi gas buangan pada kendaraan adalah 30% karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), 27% karbon monoksida (CO), 25% hidrokarbon (HC), 10% oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>), 9% oksida sulfur (SO<sub>x</sub>), dan 8% partikulat debu, dimana di antara gas-gas pencemar tersebut, karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), karbon monoksida (CO), dan hidrokarbon (HC) adalah gas yang paling berbahaya bagi manusia karena memiliki persentase tertinggi [2]. Gas-gas ini dapat membahayakan kesehatan manusia bahkan menyebabkan kematian jika kadarnya melebihi standar baku mutu yang ditetapkan [3].

Emisi gas buang merupakan hasil pembakaran dari bahan bakar mesin kendaraan. Topik ini menjadi perhatian serius di berbagai kalangan dunia karena dampaknya yang signifikan terhadap kerusakan lingkungan [4]. Seiring dengan pertumbuhan jumlah kendaraan, emisi gas buang juga terus meningkat.

Semakin banyak kendaraan yang beroperasi, semakin besar pula jumlah emisi gas buang yang dihasilkan. Hal ini berpotensi meningkatkan konsentrasi pencemaran udara dan membahayakan kesehatan manusia.

Kandungan CO<sub>2</sub> yang berlebihan di udara dapat mengakibatkan efek rumah kaca (*greenhouse effect*), yang akan meningkatkan suhu atmosfer dan menyebabkan pemanasan global. Selain itu, dalam konsentrasi tinggi, CO<sub>2</sub> dapat mengganggu pernapasan, meskipun konsentrasi di bawah 1,5% volume tidak akan berbahaya. Pada kasus ini, diperlukan metode sebagai langkah mengurangi polusi udara, khususnya gas CO<sub>2</sub>. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah proses absorpsi dengan menggunakan larutan kalium hidroksida (KOH) [5].

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Srihari et al [4], proses absorpsi menggunakan *monoetanolamina* (MEA) melibatkan reaksi kimia. Jumlah CO<sub>2</sub> akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi KOH [5].

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Alat dan bahan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini meliputi: seperangkat alat kolom gelembung pancaran, *gas bag*, *gas analyzer*, emisi gas buang kendaraan, *stopwatch*, gelas kimia, *Erlenmeyer*, spatula dan kaca arloji, pengaduk.

Bahan yang digunakan yaitu: Kalium Hidroksida (KOH) dan *Aquadest*.

### 2.2 Persiapan larutan KOH

Menyiapkan larutan Kalium hidroksida (KOH) dengan konsentrasi yang telah ditentukan, kemudian memasukkan beberapa larutan KOH ke dalam pompa alat reaktor gelembung pancaran.

### 2.3 Pengaturan Alat dan Variabel Proses

Setelah larutan KOH habis, kemudian dilakukan penyesuaian variabel proses sesuai dengan rencana percobaan reaktor gelembung pancaran. Memasukkan gas CO<sub>2</sub> dari kendaraan ke dalam alat reaktor gelembung pancaran.

### 2.4 Pengukuran dan Pengumpulan Data

Menampung gas yang telah terabsorpsi di dalam reaktor menggunakan *gas bag*. Mengatur laju aliran gas dan absorben sesuai dengan variabel bebas yang akan diuji. Menggunakan *stopwatch* untuk mengukur waktu yang diperlukan hingga *gas bag* penuh, lalu segera melakukan analisis kadar gas CO<sub>2</sub> setelah *Gas Bag* penuh.

### 2.5 Pengolahan Data

Menganalisis hasil absorpsi CO<sub>2</sub> berdasarkan data yang diperoleh dari *gas analyzer*, kemudian menghitung efektivitas absorpsi CO<sub>2</sub> untuk berbagai laju alir cairan, konsentrasi absorben, dan temperatur. Membandingkan hasil absorpsi dengan kondisi variabel bebas yang berbeda untuk menentukan kondisi optimal.

### 2.6 Analisis Data

Menggunakan metode statistik untuk menganalisis hasil percobaan, termasuk perhitungan rata-rata, deviasi standar dan uji signifikan untuk variabel yang mempengaruhi kinetika absorpsi CO<sub>2</sub>. Menyusun grafik dan tabel untuk memvisualisasikan pengaruh variabel bebas terhadap efektivitas absorpsi CO<sub>2</sub>.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian akan dijelaskan secara rinci pada proses ini. Proses ini akan menjalankan setiap langkah yang telah di terapkan penelitian ini.

### 3.1 Hasil Pembuatan Gelembung Pancaran

Dilakukan pengecekan kadar gas CO<sub>2</sub> awal dan gas CO<sub>2</sub> hasil pemrosesan dari emisi gas buangan kendaraan. Digunakan kendaraan bermotor berusia 16 tahun, sehingga proses pembakaran sudah tidak optimal dan dapat menghasilkan emisi gas buangan CO<sub>2</sub> yang relatif tinggi. Penelitian ini menggunakan absorben larutan kalium hidroksida (KOH). Pengukuran kadar gas CO<sub>2</sub> dilakukan menggunakan peralatan berupa alat *Multi Detector Gas Analyzer* di Laboratorium Teknik Kimia di Politeknik Negeri Sriwijaya.

Tujuan penelitian adalah untuk menganalisis proses absorpsi gas CO<sub>2</sub> pada gas buang kendaraan bermotor serta mengidentifikasi pengaruh antara variabel proses terhadap efisiensi absorpsi gas CO<sub>2</sub>. Variabel proses yang diteliti meliputi konsentrasi absorben, temperatur, laju aliran gas, dan laju aliran *liquid*. Dari setiap variabel proses, diambil beberapa data terbaik yang kemudian divariasikan dengan variabel proses lainnya. Hasil analisis pengukuran dapat dilihat pada **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

**Tabel 1.** Hasil dari Analisa Gas CO<sub>2</sub> Awal

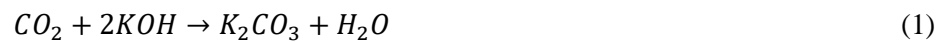
Parameter	Nilai	Satuan
CO <sub>2</sub>	3212	ppm

**Tabel 2.** Hasil dari Analisis Gas CO<sub>2</sub> Proses

No	Konsentrasi (M)	Laju Alir Gas (L/Menit)	Laju Alir Liquid (L/Menit)	Temperatur (C)	Sebelum	Sesudah
					CO <sub>2</sub> (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)
1.	0,1	0,3	0,6	30		632
2.	0,2	0,3	0,6	30		432
3.	0,3	0,3	0,6	30		470
4.	0,4	0,3	0,6	30		536
5.	0,2	0,3	0,6	40		768
6.	0,3	0,3	0,6	40	3212	701
7.	0,2	0,3	0,6	40		519
8.	0,3	0,3	0,6	50		704
9.	0,3	0,4	0,6	40		419
10.	0,3	0,5	0,6	40		431
11.	0,3	0,4	0,7	40		439
12.	0,3	0,4	0,6	40		615

Absorpsi CO<sub>2</sub> adalah proses pemisah gas CO<sub>2</sub> dengan menggunakan pelarut atau absorben yang digunakan sebagai media untuk menangkap gas CO<sub>2</sub>. Metode ini banyak digunakan dalam industri pengolahan gas dibandingkan teknologi lainnya karena tingkat efektivitasnya yang tinggi dari kualitas yang dihasilkan. Melakukan absorpsi CO<sub>2</sub>, diperlukan kontak langsung antara absorben dengan *sour gas* [6].

Gas buang kendaraan yang mengandung CO<sub>2</sub> digunakan pada penelitian [7]. Gas buang tersebut kemudian dikontakkan dengan absorben kalium hidroksida (KOH) dengan beberapa variasi konsentrasi tertentu [8]. Alat yang digunakan adalah reaktor kolom gelembung pancaran. Alat ini dirancang untuk memfasilitasi kontak antara fasa cair dan fasa gas [9]. Dalam proses ini, terjadi perpindahan massa fasa gas menuju fasa cair [10]. Terjadi reaksi kimia antara monoetanolamina (MEA) dan gas CO<sub>2</sub>.



Dengan  $R = KOH$

Persamaan laju reaksi:

$$r = -kC_{CO_2}C_{KOH}$$

$$k = \left\{ -A \ln \left( \frac{(C_{CO_2})_t}{(C_{CO_2})_0} \right) - \frac{1}{2} B \ln \left( \frac{\{(C_{KOH})_0 - 2(C_{CO_2})_0\} + 2(C_{CO_2})_t}{(C_{CO_2})_0} \right) \right\} / t \quad (2)$$

Mencari nilai A dan B:

$$A \left( \{(C_{KOH})_0 - 2(C_{CO_2})_0\} + 2(C_{CO_2})_t \right) + B(C_{CO_2})_t = 1 \quad (3)$$

Untuk mencari nilai A, maka misalkan  $(C_{CO_2})_t = 0$

$$A = \frac{1}{\{(C_{KOH})_0 - 2(C_{CO_2})_0\}} \quad (4)$$

Untuk mencari nilai B, maka misalkan  $(C_{CO_2})_t = \frac{1}{2} (C_{KOH})_0 - (C_{CO_2})_0$

$$B = \frac{1}{\{ \frac{1}{2} (C_{KOH})_0 - (C_{CO_2})_0 \}} \quad (5)$$

Dan untuk mencari konversi CO<sub>2</sub> adalah:

$$\text{Konversi } CO_2 = \frac{(c_{CO_2})_0 - (c_{CO_2})_t}{(c_{CO_2})_0} \times 100\% \quad (6)$$

**Tabel 3.** Contoh Perhitungan Konstanta Laju Reaksi dan Konversi

Konsentrasi (M)	Laju Reaksi Gas (L/Menit)	Laju Reaksi Liquid (L/Menit)	Temperatur (C)	Sebelum		Sesudah	
				CO <sub>2</sub> (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)
0,1	0,3	0,6	30	3212	632		

a) Konstanta laju reaksi

Untuk mencari konstanta laju reaksi, terlebih dahulu mencari nilai A dan B

- Nilai A

$$A = \frac{1}{\{(5600 \text{ ppm}) - 2(3212 \text{ ppm})\}}$$

$$A = \frac{1}{3212}$$

$$A = -0,001213$$

- Nilai B

$$B = \frac{1}{\{1/2 (C_{KOH})_0 - (C_{CO_2})_0\}}$$

$$B = \frac{1}{(0,5(5600 \text{ ppm}) - (3212))}$$

$$B = 0,002427$$

$$k = \left\{ -(0,001213) \times \left( \frac{632}{3212} \right) - 0,5(-0,002427) \left( \frac{\{5600 - 2(3212)\} + 2(632)}{5600} \right) \right\} / 6,38$$

$$= 0,012424488$$

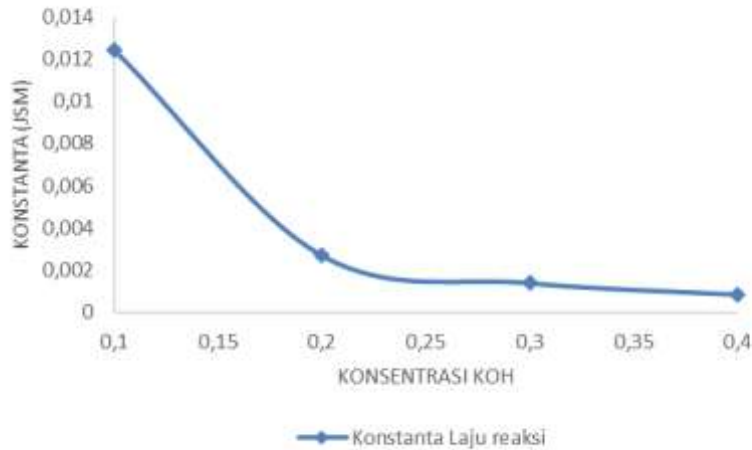
b) Konversi CO<sub>2</sub>

$$\text{Konversi } CO_2 = \frac{3212 - 632}{3212} \times 100\%$$

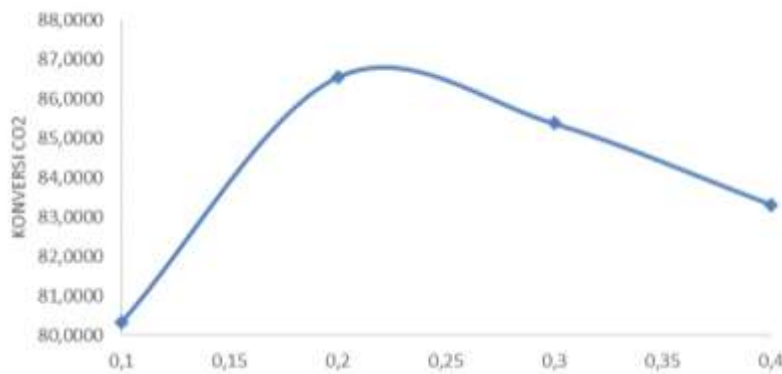
$$= 80,32 \%$$

### 3.2 Pengaruh Konsentrasi Pada Konstanta Laju Reaksi dan Konversi Gas CO<sub>2</sub>

Variabel yang digunakan adalah konsentrasi sebesar 0,1, 0,2, 0,3, dan 0,4 M dengan variabel tetap yaitu temperatur 30°C, laju alir gas 0,3 liter/menit, dan laju alir cair 0,6 liter/menit. Pada **Gambar 1** terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi, maka konstanta laju reaksi akan semakin menurun. Ini disebabkan karena konstanta laju reaksi berbanding terbalik pada konsentrasi [11]. Konstanta laju reaksi tertinggi terdapat di konsentrasi 0,1 M dan terendah ada di konsentrasi 0,4 M.



**Gambar 1.** Grafik Pengaruh Konsentasi terhadap Konstanta Laju Reaksi



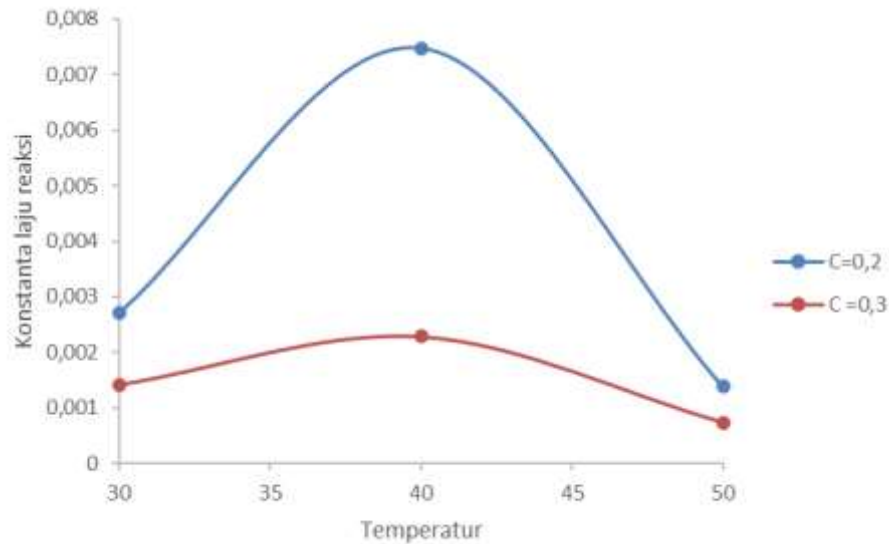
**Gambar 2.** Grafik Konsentrasi vs Konversi CO<sub>2</sub>

Pada **Gambar 2** variabel bebas yang digunakan berupa konsentrasi absorben sebesar 0,1, 0,2, 0,3, dan 0,4 M. Variabel tetap yang digunakan adalah temperatur 30°C, lq 0,6, dan Qg 0,3. Pada konsentrasi absorben 0,3 M dan 0,4 M didapatkan % konversi gas CO<sub>2</sub> tertinggi sebesar 86,5% dan 85,3 %. Berdasarkan grafik dianalisis bahwa semakin bertambah besar konsentrasi absorben, maka semakin bertambah besar juga konversi gas CO<sub>2</sub>. Tetapi untuk konstanta laju raksinya semakin menurun.

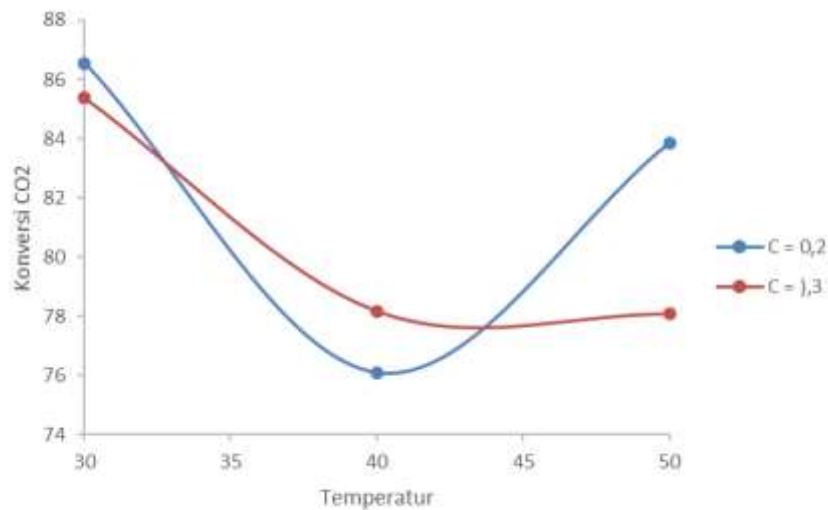
### 3.3 Pengaruh Temperatur terhadap konstanta laju reaksi dan konversi CO<sub>2</sub>

Pada variabel percobaan ini digunakan variasi konsentrasi terbaik dari percobaan yang telah dilakukan sebelumnya, dimana konsentrasi yang dipakai adalah 0,2 M dan 0,3 M, temperatur 40 °C dan 50 °C, laju alir gas 0,3 liter/menit, serta laju alir *liquid* 0,6 liter/menit. Data ini diambil berdasarkan nilai konstanta laju reaksi dan konversi CO<sub>2</sub> terbaik.

Pada **Gambar 3** diketahui bahwa, pada konsentrasi 0,2 M dan temperatur 50°C didapatkan konstanta laju reaksi tertinggi karena konstanta laju dipengaruhi oleh temperatur dan konsentrasi. Semakin tinggi temperatur, maka semakin besar nilai konstanta laju reaksi[12]. Namun pada konsentrasi 0,2 dan temperatur 40 °C mengalami penurunan, ini sebabkan karena kebocoran pada alat sehingga waktu tunggu *gas bag* semakin lama.



**Gambar 3.** Grafik temperatur terhadap konstanta laju reaksi

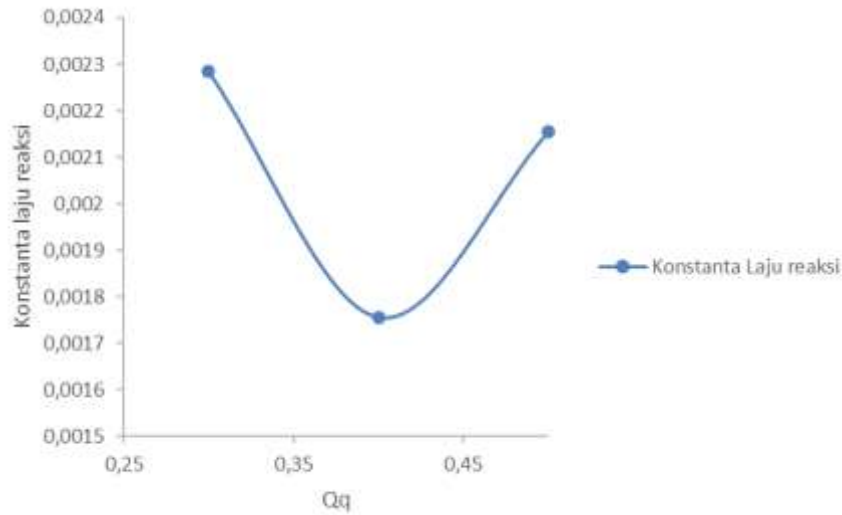


**Gambar 4.** Grafik temperatur terhadap konversi CO<sub>2</sub>

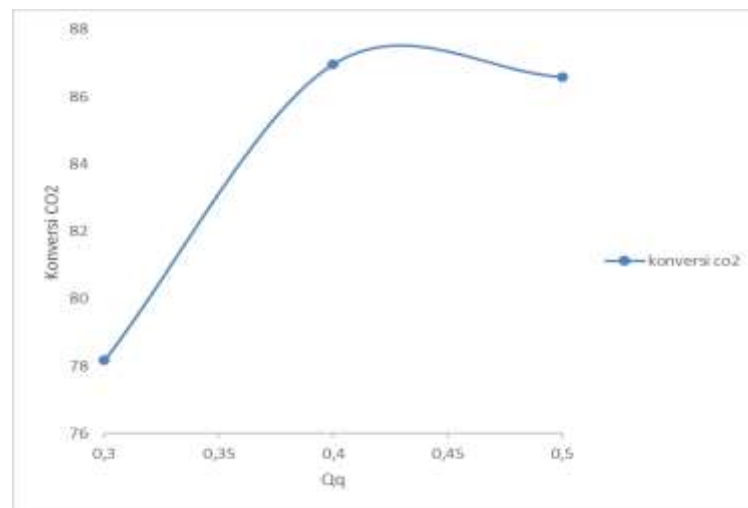
Pada **Gambar 4** terlihat pada konsentrasi 0,2 M konversi penyerapan CO<sub>2</sub> mengalami peningkatan sejalan dengan meningkatnya temperatur. Namun pada temperatur 30 °C dengan konsentrasi 0,3 M terjadi penurunan konversi penyerapan CO<sub>2</sub>. Ini disebabkan karena kebocoran pada tabung reaktor gelembung pancaran dan menguapnya larutan absorben sehingga reaksi didalam reaktor tidak maksimal [13].

### 3.4 Pengaruh Laju Alir Gas (Qg) terhadap Konstanta Laju Reaksi dan Konversi CO<sub>2</sub>

Pada **Gambar 5** digunakan variabel bebas yaitu laju alir gas 0,4 dan 0,5 liter/menit, laju alir *liquid* 0,6 liter/menit, temperatur 50 °C, dan konsentrasi 0,3 M. Sementara pada **Gambar 6** didapat konversi terbesar 87,14 % dengan laju alir gas 0,4 liter/menit. Dapat dikatakan bahwa dari laju alir gas 0,4 liter/menit reaktor gelembung pancaran sudah mencapai titik optimum. Pada variabel proses ini menggunakan variasi laju alir gas 0,4 dan 0,5 liter/menit, laju alir liquid 0,6 liter/menit, pada temperatur 50 °C, dan konsentrasi 0,3 M.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Laju Aliran Gas terhadap Konstanta Laju Reaksi

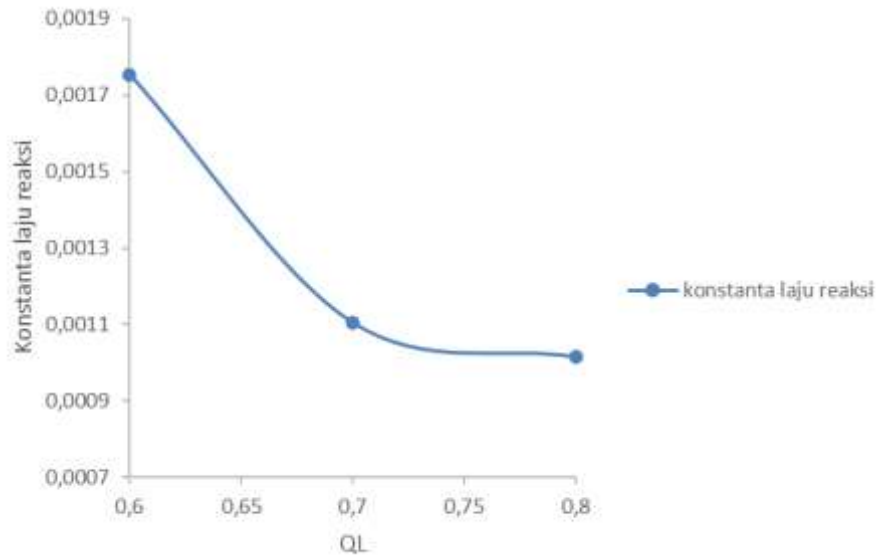


Gambar 6. Grafik Pengaruh Laju Alir Gas terhadap Konversi CO<sub>2</sub>

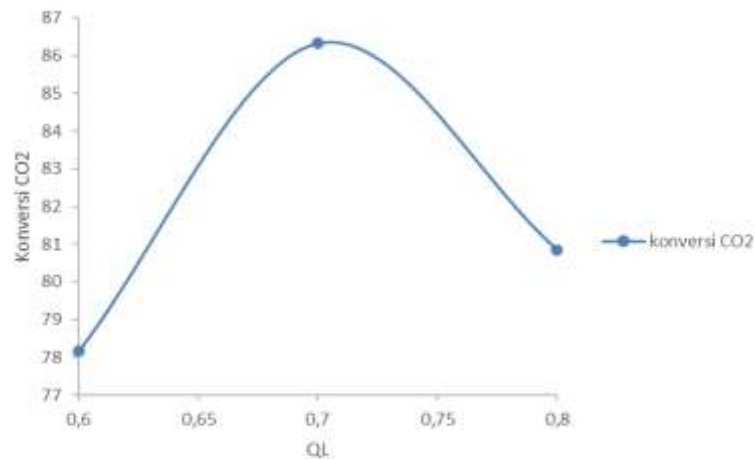
### 3.5 Pengaruh Laju Alir Liquid (Q<sub>L</sub>) terhadap Konstanta Laju Reaksi dan Konversi CO<sub>2</sub>

Variabel bebas pada penelitian ini adalah laju alir *liquid* 0,7 dan 0,8 liter/menit, laju alir gas sebesar 0,8 liter/menit, pada temperatur 50 °C, dan konsentrasi 0,3 M. Pada **Gambar 7** konstanta laju reaksi tertinggi terdapat pada laju alir 0,6 liter/menit dengan nilai 0,09144 jam<sup>-1</sup>. ppm<sup>-1</sup> dengan waktu 5,58 menit. Ini disebabkan oleh pengaruh waktu kontak gas dan larutan cukup lama sehingga reaksi absorpsi yang terjadi pada reaktor semakin baik. Sebaliknya pada laju alir cair 0,7 dan 0,8 liter/menit mengalami penurunan [14].

Pada **Gambar 8** konversi CO<sub>2</sub> paling besar ada pada laju alir 0,6 sebanyak 80,85 dapat dikatakan semakin lama waktu kontak gas dan larutan di dalam reaktor maka akan semakin besar konversi yang terjadi di dalam reaktor gelembung pancaran [15]. Menurut Altway et al. [16], kenaikan laju alir absorben dapat menurunkan konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam *liquid* dan berakibat memperbesar *driving force* untuk transfer massa.



**Gambar 7.** Grafik Pengaruh Laju Alir *Liquid* terhadap Konstanta Laju Reaksi



**Gambar 8.** Grafik Pengaruh Laju Alir *Liquid* terhadap Konversi CO<sub>2</sub>

#### 4. Kesimpulan

Hasil pada penelitian menunjukkan bahwa KOH adalah absorben yang efektif dalam menyerap CO<sub>2</sub> dari gas buangan kendaraan. KOH memiliki kapasitas penyerap yang tinggi dan reaktivitas yang baik dengan CO<sub>2</sub>. Proses absorpsi CO<sub>2</sub> mengikuti kinetika reaksi tertentu yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk konsentrasi KOH, suhu, dan laju aliran gas buang. Hasil percobaan menunjukkan bahwa reaksi antara CO<sub>2</sub> dan KOH berlangsung cepat dan efisien pada kondisi optimal.

Pada penelitian lanjutan disarankan untuk mengoptimalkan kondisi operasional reaktor dan mempelajari kestabilan dan regenerasi KOH setelah digunakan. Selain itu, analisis ekonomi dan dampak lingkungan dari teknologi ini juga perlu dilakukan untuk memastikan keberlanjutan dan kelayakan implementasi pada skala industri.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Politeknik Negeri Sriwijaya dan seluruh staf Jurusan Teknik Kimia yang telah memberi dukungan moral dan ilmu pengetahuan bagi pelaksanaan penelitian ini.

## 6. Referensi

- [1] R. Hausmann, J. Hwang, dan D. Rodrik, "What You Export Matters," *Journal of Economic Growth*, vol. 12, no.1, pp. 1–25, 2007.
- [2] N. Sapitri, "Penjerapan Gas Buang Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) pada Kendaraan Bermotor Menggunakan Larutan Penjerap Natrium Hidroksida (NaOH)," *Skripsi, Universitas Islam Indonesia*, 2020.
- [3] S. Basuki, "Pengelolaan Keuangan Daerah: Dilengkapi dengan Tata Cara Pemungutan Pajak Daerah, Tata Cara Pemungutan Retribusi Daerah, Dana Perimbangan antara Pemerintah Pusat dan Pemerintah Daerah, Kedudukan Keuangan Pimpinan dan Anggota DPRD," *Kreasi Wacana*, 2007.
- [4] E. Srihari, R. Priambodo, H. Sutanto, dan W. Widjajanti, "Absorpsi Gas CO<sub>2</sub> menggunakan Monoetanolamine," *Universitas Surabaya*, 2012.
- [5] Kementerian Lingkungan Hidup, "Indonesia Fuel Quality Monitoring 2011," *Kementerian Lingkungan Hidup*, 2011.
- [6] A. P. Vayda, "Human Adaptation in The New Guinea Highlands," *Anthropological Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 123–145, 1986.
- [7] Sudrajad, Agung. "Pencemaran udara, suatu pendahuluan." *Majalah Inovasi* 52 (2006).
- [8] R. Ulfah, "Bahan-bahan Pencemar Udara yang Mengganggu Saluran Pernapasan: Oksida Sulfur, Partikulat, Oksida Nitrogen, Ozon, dan Oksida Lainnya," *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, vol. 12, no. 3, pp. 123–135, 2018.
- [9] A. Rosianasari, "Bahan-bahan Pencemar yang Menimbulkan Pengaruh Racun Sistemik: Hidrokarbon, Monoksida, dan Timbal/Timah Hitam," *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, vol. 10, no. 2, pp. 98–110, 2016.
- [10] J. Edward, "Bahan-bahan Pencemar yang Dicurigai Menimbulkan Kanker: Fokus pada Hidrokarbon," *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, vol. 15, no. 4, pp. 201–212, 2017.
- [11] M. Arifin, "Kondisi yang Mengganggu Kenyamanan: Kebisingan, Debu Jalanan, dan Faktor Lainnya," *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, vol. 18, no.2, pp. 150–162, 2019.
- [12] I. Haruna, "Dampak Kebisingan dan Debu Jalanan terhadap Kenyamanan Lingkungan," *Jurnal Lingkungan dan Kesehatan*, vol. 20, no. 1, pp. 45–58, 2019.
- [13] A. A. Prakoso, "Karbon Monoksida dan Proses Pembakaran: Analisis Kimia dan Dampak Lingkungan," *Jurnal Kimia dan Lingkungan*, vol. 25, no. 1, pp. 45–60, 2019.
- [14] L. Nafisah, "Sulfur Dioksida: Formasi, Reaktivitas, dan Dampaknya pada Lingkungan dan Kesehatan," *Jurnal Kimia dan Lingkungan*, vol. 29, no. 1, pp. 78–92, 2024.
- [15] R. Dewi, "Partikulat Halus PM<sub>2,5</sub>: Ukuran, Dampak Kesehatan, dan Strategi Mitigasi," *Jurnal Kesehatan dan Lingkungan*, vol. 27, no. 3, pp. 145–159, 2023.
- [16] A. Altway, Kusnaryo, dan R. P. Wijaya, "Analisa Transfer Massa Disertai Reaksi Kimia pada Absorpsi CO<sub>2</sub> dengan Larutan Potasium Karbonat dalam Packed Column," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 2, no. 2, pp. 119–126, 2008.