

# Metanasi CO<sub>2</sub> Menggunakan Katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Dengan Variasi Konsentrasi KOH Dan Temperatur

Azadia Nanda Putri\*, Robert Junaidi, Cindi Ramayanti

Jurusan Teknik Kimia, Program Studi Teknologi Kimia Industri, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang

\*Koresponden email: azadiananda454@gmail.com

Diterima: 2 November 2025

Disetujui: 12 November 2025

## Abstract

The transportation sector is one of the largest contributors to greenhouse gas emissions, which play a significant role in global climate change. One preventative measure that can be taken is to convert carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) into methane (CH<sub>4</sub>), known as the CO<sub>2</sub> methanation process. The purpose of this study was to produce methane gas with a higher conversion percentage, as well as to observe the effect of variations in operating temperature and KOH liquid concentration on the methane gas produced. In this study, CO<sub>2</sub> was used as the raw material with a Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst and Zn promoter. The temperature was set at 165°C, 175°C, 185°C, 195°C, and 205°C, with KOH liquid concentrations varying from 4M to 5M. The resulting methane (CH<sub>4</sub>) gas will be analyzed using a Multi Gas Detector Analyzer.

**Keywords:** CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> Methane, CO<sub>2</sub> Methanation, Zn promoter

## Abstrak

Sektor transportasi merupakan salah satu penyumbang terbesar emisi gas rumah kaca, yang berperan signifikan dalam perubahan iklim global. Salah satu langkah pencegahan yang dapat dilakukan adalah dengan mengubah karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) menjadi metana (CH<sub>4</sub>), yang dikenal sebagai proses metanasi CO<sub>2</sub>. Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan gas metana dengan persentase konversi yang lebih tinggi, serta mengamati pengaruh dari variasi temperatur operasi, dan konsentrasi cairan KOH terhadap gas metana yang dihasilkan. Dalam penelitian ini, digunakan CO<sub>2</sub> sebagai bahan baku dengan katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan promotor Zn. Temperatur diatur dengan variasi 165°C, 175°C, 185°C, 195°C, 205°C, dan Konsentrasi cairan KOH dengan variasi 4M, 5M. Untuk analisa gas metana (CH<sub>4</sub>) yang dihasilkan akan dianalisa menggunakan *Multi Gas Detector Analyzer*.

**Kata Kunci:** CO<sub>2</sub>, Metana CH<sub>4</sub>, Metanasi CO<sub>2</sub>, Promotor Zn

## 1. Pendahuluan

Sektor transportasi merupakan salah satu penyumbang terbesar emisi gas rumah kaca, yang berperan signifikan dalam perubahan iklim global. Dalam beberapa dekade mendatang, diperkirakan emisi yang dihasilkan oleh sektor ini akan terus mengalami peningkatan yang sangat cepat seiring dengan berkembangnya jumlah kendaraan dan kebutuhan mobilitas yang terus bertambah. Peningkatan ini menunjukkan tantangan besar dalam upaya pengurangan emisi, karena sektor transportasi menjadi salah satu yang sulit untuk diubah tanpa adanya inovasi teknologi dan kebijakan yang efektif [1]. Salah satu langkah pencegahan yang dapat dilakukan adalah dengan mengubah karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) menjadi metana (CH<sub>4</sub>) [2], yang dikenal sebagai proses metanasi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>).

Reaksi Sabatier, atau sering disebut juga sebagai proses hidrogenasi karbon dioksida menjadi metana atau metanasi karbon dioksida, adalah reaksi kimia eksotermis yang melibatkan reaksi antara hidrogen dan karbon dioksida. Dalam reaksi ini, kedua senyawa tersebut bereaksi untuk menghasilkan metana, dengan air terbentuk sebagai produk sampingan. Reaksi ini memiliki keunggulan karena dapat digunakan pada rentang suhu rendah, yakni antara 25°C hingga 400°C [3] Namun, untuk mencapai proses hidrogenasi karbon dioksida secara efektif, diperlukan adanya katalis efisien [4]. Dengan penggunaan katalis heterogen dapat mengubah CO<sub>2</sub> menjadi metana yang bermanfaat sebagai sumber energi atau bahan kimia penting. Proses ini sekaligus berkontribusi dalam mengurangi pemanasan global dan menjadi solusi atas krisis energi [5].

Maulana Wijaya dkk., 2024 melakukan penelitian dengan alat *fixed bed reactor* dan memvariasikan konsentrasi NaOH dan KOH, CH<sub>4</sub> tertinggi yang didapatkan berada pada konsentrasi 3M yaitu 20,64%, terus semakin tinggi konsentrasi KOH semakin tinggi kadar CH<sub>4</sub> yang terbentuk [6]. Reza Aditya dkk., 2023 telah melakukan penelitian mengenai konversi CO<sub>2</sub> menjadi CH<sub>4</sub> dengan menggunakan katalis heterogen yaitu katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> telah dilakukan, di mana variasi temperatur operasi diterapkan untuk

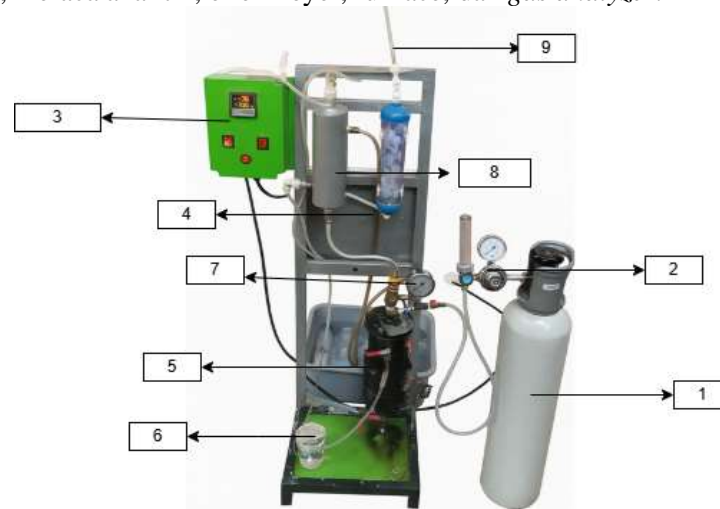
mengamati pengaruhnya terhadap laju reaksi, stabilitas katalis, dan efisiensi konversi CO<sub>2</sub>. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel dengan variasi temperatur 60°C menghasilkan jumlah gas metana tertinggi, yaitu sebesar 13,56% dari gas CO<sub>2</sub> yang terkonversi secara *in situ* [7].

Dilihat dari beberapa penelitian diatas maka disusunlah penelitian ini yang bertujuan untuk menghasilkan gas metana (CH<sub>4</sub>) dari karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dengan menggunakan katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, yang dipengaruhi oleh konsentrasi KOH, dan variasi temperatur. Alat yang digunakan adalah *Catalytic Batch Reactor* yang dimodifikasi dari desain sebelumnya. Dengan tujuan agar untuk menganalisis pengaruh dari variasi temperatur operasi, dan konsentrasi KOH terhadap gas metana yang dihasilkan dan memperoleh gas metana dengan % volume yang tinggi proses metanasi dapat berlangsung lebih efisien dan menghasilkan konsentrasi gas metana yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode yang digunakan sebelumnya.

## 2. Metode Penelitian

### Bahan dan Alat

Pada penelitian ini bahan- bahan yang digunakan yaitu Gas CO<sub>2</sub>, kalium hidroksida (KOH), air deionisasi, Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Zn merck powder. Alat-alat yang digunakan antara lain seperangkat alat *catalytic batch reactor*, labu ukur 250 ml, neraca analitik, gelas kimia 250 ml, pipet ukur, spatula, bola karet, batang pengaduk, kaca arloji, neraca analitik, erlenmeyer, furnace, dan *gas analyzer*.



**Gambar 1.** Alat metanator

Larutan KOH 4M dan 5M dibuat dengan melarutkan masing-masing 56 gram dan 70 gram padatan KOH ke dalam labu ukur 250 mL yang telah berisi aquadest hingga tanda batas, kemudian larutan dihomogenkan. Proses aktivasi katalis dilakukan dengan menimbang sebanyak 50 gram katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, kemudian ditambahkan larutan KOH 4M secara perlahan. Campuran tersebut dipanaskan di atas penangas air pada suhu 110°C selama dua jam, setelah itu katalis dibilas menggunakan aquadest, dikeringkan dengan vakum, dan dikalsinasi menggunakan furnace pada suhu 600°C selama empat jam. Pada tahap proses reaksi metanasi, reaktor disiapkan dan diisi dengan katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang telah diaktivasi, ditambahkan 20 gram logam Zn serta silica gel. Setelah seluruh komponen terpasang dan suhu mencapai set point, larutan KOH dialirkan ke dalam reaktor dan gas CO<sub>2</sub> dimasukkan. Reaksi dibiarkan berlangsung selama satu jam, kemudian gas hasil reaksi dianalisis menggunakan alat gas analyzer. Percobaan dilakukan kembali dengan variasi konsentrasi KOH dan suhu reaksi untuk mengetahui pengaruh kedua variabel tersebut terhadap hasil metanasi.

### Prosedur penelitian

#### 1. Membuat larutan KOH 4M dan 5M

Membuat molaritas KOH 4M dengan menimbang padatan Kalium Hidroksida (KOH) sebanyak 56 gram, kemudian ditambahkan aquadest dan dimasukkan ke dalam labu ukur 250 ml sampai tanda batas dan larutan dihomogenkan. Semua perlakuan dilakukan dengan cara yang sama untuk membuat molaritas KOH 5M dengan menimbang padatan KOH 70 gram.

#### 2. Proses aktivasi katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Sebanyak 50 gram katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ditimbang dan perlahan ditambahkan larutan KOH 4 M. Campuran ini kemudian dipanaskan selama 2 jam dengan menggunakan suhu 110°C di atas penangas air. Setelah

pemanasan selesai kemudian katalis dibilas menggunakan aquadest. Lalu, katalis yang telah dibilas dikeringkan menggunakan vakum, selanjutnya katalis yang sudah divakum kemudian difurnace dengan suhu 600°C selama waktu 4 jam.

### 3. Prosedur operasi unit

Menyiapkan seluruh peralatan dan bahan yang dibutuhkan untuk proses metanasi. Selanjutnya, alat dihubungkan ke *power supply*. Memastikan semua selang dan katup yang terhubung terpasang dengan kuat dan tidak ada yang longgar. Setelah semua peralatan siap, tahap berikutnya adalah memasukkan katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan menambahkan 20 gram logam Zn yang telah ditimbang, serta memasukkan silica gel ke dalam reaktor. Menyalakan alat dengan menekan tombol on, lalu mengatur temperatur sesuai dengan nilai variabel yang digunakan. Setelah temperatur mencapai set point, pompa dinyalakan dan membuka katup untuk mengalirkan KOH ke dalam reaktor, ditunggu hingga bereaksi dengan memperhatikan tekanan. Memastikan katup cooler dan produk dalam posisi tertutup. Memastikan gas CO<sub>2</sub> dengan memperhatikan tekanan. Setelah reaksi berlangsung selama satu jam, katup kondensor refluks dan katup produk dibuka, kemudian disertai dengan menginput gas CO<sub>2</sub>. Gas yang dihasilkan kemudian dianalisa menggunakan alat gas analyzer. Mengulangi percobaan tersebut dengan variasi konsentrasi KOH, dan temperatur.

### Analisa Percobaan

Analisa kandungan senyawa gas menggunakan multi gas detector analyzer. Gas yang dihasilkan dalam suatu proses akan dianalisis menggunakan multi gas detector analyzer, sebuah alat yang berfungsi untuk mengidentifikasi kandungan dalam gas. Alat ini mampu melakukan analisis secara langsung terhadap hasil proses metanasi CO<sub>2</sub>, dengan output berupa persentase volume (% volume). Gas yang dapat terdeteksi meliputi gas yang tidak berbahaya, seperti CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O, dan N<sub>2</sub>, serta gas berbahaya seperti CO, HC, NOX, dan H<sub>2</sub>S.

### 3. Hasil dan Pembahasan

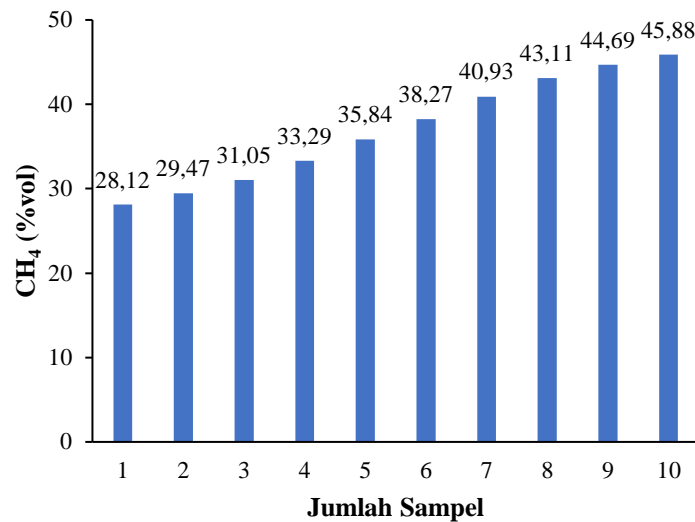
Dari hasil penelitian, diperoleh data analisis gas yang tercantum dalam **Tabel 1**, yang merupakan hasil pengamatan terhadap variasi temperatur dan konsentrasi larutan KOH. Proses pengukuran dilakukan menggunakan alat multi gas detector analyzer. Melalui analisis ini, dapat diketahui sejauh mana pengaruh perubahan temperatur dan konsentrasi larutan KOH terhadap jumlah gas metana (CH<sub>4</sub>) yang dihasilkan. Data ini penting untuk menentukan kondisi operasi yang paling optimal dalam proses metanasi.

**Tabel 1.** Data gas analisis yang dihasilkan

No	Variabel		Hasil Pemeriksaan (% Vol)		
	Konsentrasi KOH (M)	Temp (°C)	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>
1	4	165	28,12	68,29	2,05
2		175	29,47	67,00	2,01
3		185	31,05	65,50	1,97
4		195	33,29	63,37	1,90
5		205	35,84	60,95	1,83
6	5	165	38,27	58,64	1,76
7		175	40,93	56,12	1,68
8		185	43,11	54,05	1,62
9		195	44,69	52,54	1,58
10		205	45,88	51,41	1,54

### Produksi Hasil Gas Metana (CH<sub>4</sub>)

Metanasi merupakan reaksi katalitik yang mengonversi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), hidrogen (H<sub>2</sub>) menjadi metana (CH<sub>4</sub>) dan air (H<sub>2</sub>O) sebagai produk utama. Pada penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui persentase konversi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) menjadi gas metana (CH<sub>4</sub>). Efisiensi pada proses metanasi ini dipengaruhi oleh sejumlah parameter, parameter tersebut meliputi temperatur, tekanan, waktu proses, serta konsentrasi KOH yang digunakan. Setiap parameter memiliki Gas metana (CH<sub>4</sub>) yang dihasilkan peran tersendiri dalam mengatur laju reaksi dan stabilitas katalis, sehingga perubahan pada salah satu kondisi tersebut dapat berdampak langsung terhadap jumlah metana (CH<sub>4</sub>) yang terbentuk. Pada reaksi metanasi CO<sub>2</sub> ini menggunakan dua variasi yaitu temperatur 165, 175, 185, 195, 205°C dan konsentrasi KOH 4M dan 5M.

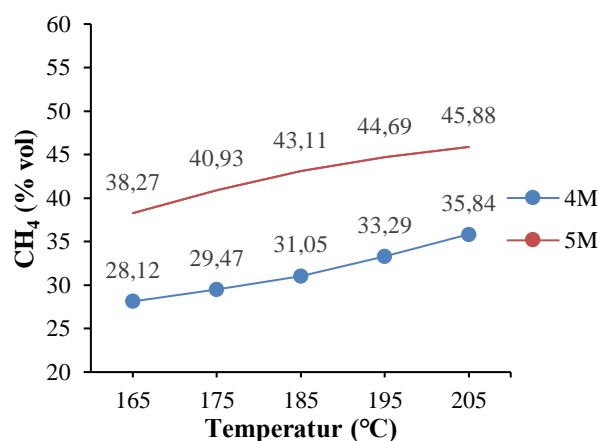


**Gambar 2.** Gas metana (CH<sub>4</sub>) yang dihasilkan

Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan temperatur dan konsentrasi KOH sangat berpengaruh terhadap % volume CH<sub>4</sub>, dan salah satu tujuan penelitian memperoleh gas metana dengan % volume yang tinggi berhasil tercapai. Jika melihat hasil dari beberapa penelitian sebelumnya, pada tahun 2023, Aditya Reza dkk, menunjukkan bahwa adanya peningkatan volume CH<sub>4</sub> metana pada suhu reaksi rendah yaitu 60°C sebesar 13,56% [7]. Selanjutnya pada penelitian (Apriansyah dkk., 2024) berhasil memperoleh % volume metana sebesar 39,41% saat temperatur divariasikan menjadi 100°C [8]. Penelitian ini menunjukkan kinerja yang lebih unggul dibandingkan dengan hasil-hasil sebelumnya, peningkatan temperatur hingga 205°C dan konsentrasi larutan KOH dengan konsentrasi lebih tinggi terbukti memberikan dampak yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi konversi CO<sub>2</sub> menjadi metana (CH<sub>4</sub>). Hal ini menegaskan bahwa kondisi operasional yang digunakan mampu mendorong reaksi metanasi secara lebih efektif.

### Pengaruh Temperatur Dan Berbagai Konsentrasi KOH Terhadap Gas Metana (CH<sub>4</sub>)

Dari **Gambar 3** dapat diketahui bahwa grafik di bawah nilai CH<sub>4</sub> yang dihasilkan berbanding lurus. Pada peningkatan temperatur dan konsentrasi KOH nilai CH<sub>4</sub> cenderung mengalami kenaikan.



**Gambar 3.** Pengaruh temperatur dan berbagai konsentrasi KOH terhadap gas metana (CH<sub>4</sub>)

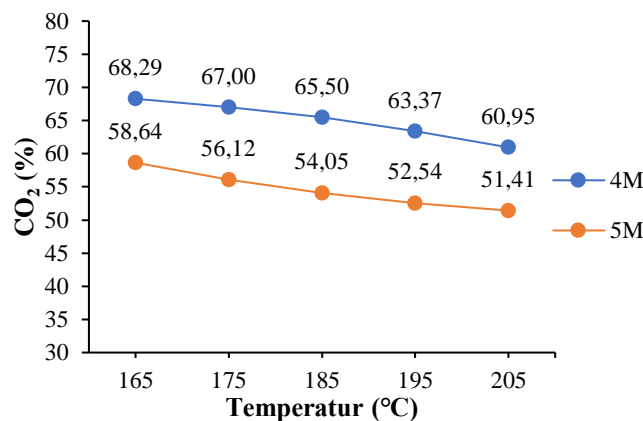
Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan temperatur dan konsentrasi KOH berkontribusi terhadap peningkatan produksi gas metana [9]. Berdasarkan penelitian (Zhong dkk., 2019), produksi gas metana dapat mencapai 98% ketika reaksi dilakukan pada suhu tinggi, yaitu 300 °C, selama 4 jam [10] Sementara itu, (Apriansyah dkk., 2024) menuliskan bahwa % volume metana sebesar 39,41% dicapai ketika temperatur reaksi divariasikan pada 100 °C [8]. Perbandingan hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan temperatur

yang lebih rendah menghasilkan tingkat %volume metana yang lebih rendah, sehingga temperatur reaksi menjadi faktor penting dalam menentukan efektivitas proses pembentukan metana.

Hasil ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Made (2012), yang menjelaskan bahwa penurunan kadar CO<sub>2</sub> terjadi karena reaksi antara CO<sub>2</sub> dan KOH. Dalam proses tersebut, CO<sub>2</sub> diserap oleh KOH melalui mekanisme absorpsi, sehingga menghasilkan gas metana dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi [11].

### Pengaruh temperatur dan berbagai konsentrasi KOH terhadap sisa gas (CO<sub>2</sub>)

Berdasarkan **Gambar 4**, terlihat bahwa sisa gas CO<sub>2</sub> yang tidak bereaksi menurun seiring dengan peningkatan temperatur dan konsentrasi KOH yang digunakan. Semakin tinggi temperatur reaksi dan semakin besar konsentrasi KOH maka gas metana yang dihasilkan bertambah, dan gas CO<sub>2</sub> yang bereaksi juga semakin meningkat.



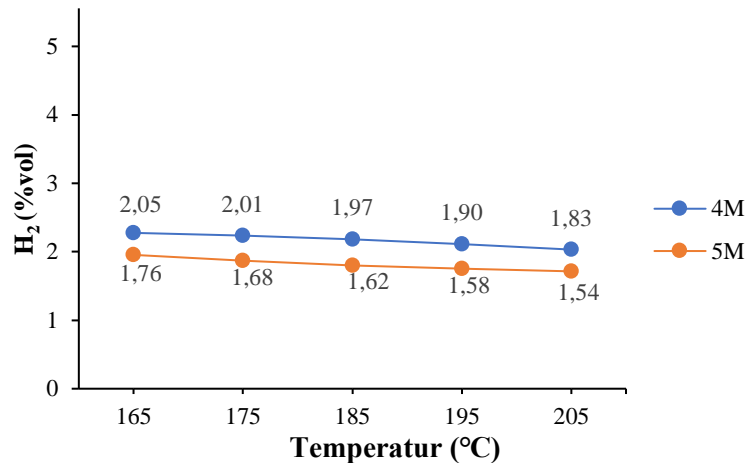
**Gambar 4.** Pengaruh temperatur terhadap gas sisa CO<sub>2</sub> pada berbagai konsentrasi KOH

Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa optimalisasi temperatur dan konsentrasi KOH pada setiap sampel dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kinerja proses konversi CO<sub>2</sub> menjadi produk CH<sub>4</sub>. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Toluna Yona dkk., 2025, kadar sisa gas CO<sub>2</sub> tertinggi tercatat sebesar 69,00% pada temperatur 110°C [12]. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur reaksi yang digunakan, semakin rendah pula jumlah gas CO<sub>2</sub> yang tersisa, yang mengindikasikan adanya hubungan langsung antara kenaikan temperatur dengan efisiensi konversi CO<sub>2</sub>. Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Gac dkk., 2022) menunjukkan bahwa menurut kesetimbangan termodinamik, kenaikan temperatur akan menyebabkan penurunan gas sisa CO<sub>2</sub> karena kesetimbangan reaksi bergeser ke arah pembentukan CH<sub>4</sub> [13].

Pada penelitian (Maulana Wijaya dkk., 2024) menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi KOH berperan penting dalam proses penyerapan gas CO<sub>2</sub>, yang berdampak pada meningkatnya %volume metana (CH<sub>4</sub>) yang dihasilkan [6]. Hal ini terjadi karena KOH mampu mengikat CO<sub>2</sub> secara efektif, sehingga membantu meningkatkan kemurnian kandungan gas metana (CH<sub>4</sub>).

### Pengaruh temperatur dan berbagai konsentrasi KOH terhadap gas (H<sub>2</sub>)

Temperatur dan konsentrasi KOH memberikan pengaruh yang signifikan terhadap proses pengikatan ion H<sup>+</sup>, khususnya H<sub>2</sub>S oleh air. Kondisi ini juga berdampak pada penurunan kualitas gas metana yang dihasilkan, ditandai dengan menurunnya kandungan H<sub>2</sub> [14].



**Gambar 5.** Pengaruh temperatur dan berbagai konsentrasi KOH terhadap gas (H<sub>2</sub>)

Seperti terlihat pada **Gambar 5** bahwa produksi gas H<sub>2</sub> menunjukkan penurunan seiring dengan peningkatan jumlah temperatur dan konsentrasi KOH. Menurut (Chein & Wang, 2020) keberadaan gas H<sub>2</sub> yang tidak ikut bereaksi dalam proses metanasi dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah ketidakefektifan penyerapan H<sub>2</sub> oleh katalis. Selain itu, efisiensi H<sub>2</sub> yang rendah juga berkaitan dengan temperatur reaktor yang masih tergolong rendah dan waktu reaksi yang belum mencapai kondisi optimal. Temperatur sekitar 400°C disebut sebagai kondisi ideal untuk mencapai efisiensi maksimum. Dengan meningkatnya temperatur dan lamanya proses reaksi, jumlah H<sub>2</sub> yang tersisa akan semakin berkurang karena sebagian besar telah bereaksi membentuk metana (CH<sub>4</sub>) [15].

#### 4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa pada saat temperatur operasi divariasikan dari 165°C sampai 205°C dan konsentrasi KOH 4M, 5M dalam proses metanasi menunjukkan adanya peningkatan secara signifikan terhadap persentase konversi CO<sub>2</sub> menjadi metana yang dihasilkan. Proses metanasi CO<sub>2</sub> berhasil menghasilkan metana dengan % volume tertinggi 45,88% pada temperatur operasi 205°C dan konsentrasi KOH 5M.

Penelitian selanjutnya disarankan menguji temperatur di atas 205°C dan konsentrasi KOH di atas 5M. Tujuannya untuk meningkatkan % volume CH<sub>4</sub> yang diperoleh. Disarankan juga mendesain alat yang tahan terhadap asam-basa, karat, dan panas tinggi.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] S. A. Shaheen and T. E. Lipman, "Reducing Greenhouse Emissions and Fuel consumption-Sustainable approaches for Surface Transportation," 2007.
- [2] D. Türks, H. Mena, U. Armbruster, and A. Martin, "Methanation of CO<sub>2</sub> on Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in a structured fixed-bed reactor—A scale-up study," *Catalysts*, vol. 7, no. 5, May 2017, doi: 10.3390/catal7050152.
- [3] Y. K. Krisnandi, I. Abdullah, I. B. G. Prabawanta, and M. Handayani, "In-situ hydrothermal synthesis of nickel nanoparticle/reduced graphene oxides as catalyst on CO<sub>2</sub> methanation," in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Jun. 2020. doi: 10.1063/5.0007992.
- [4] W. K. Fan and M. Tahir, "Recent trends in developments of active metals and heterogenous materials for catalytic CO<sub>2</sub> hydrogenation to renewable methane: A review," *J Environ Chem Eng*, vol. 9, no. 4, p. 105460, 2021, doi: 10.1016/j.jece.2021.105460.
- [5] Tasya D. Y. Robert J. and Anerasari. M, "Making methane gas from CO<sub>2</sub> using Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst in a fixed bed reactor," (2023) 66-69. doi: 10.21924/cst.7.2.2022.1001.
- [6] F. Maulana Wijaya, A. Meidinariasty, and A. Zikri, "Pembuatan Gas Metana (CH<sub>4</sub>) Dari Gas Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) Menggunakan Katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Dengan Penambahan Co-Catalyst NaOH dan KOH," 2024.
- [7] A. Reza Aditya, R. Junaidi, and C. Ramayanti, "Metanasi CO<sub>2</sub> Menggunakan Katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Dengan Variasi Temperatur dan Zn sebagai Promotor," *De Facto: Journal Of International Multidisciplinary Science*, vol. 1, no. 02, pp. 120–131, Aug. 2023, doi: 10.62668/defacto.v1i02.363.

- [8] Robert, Robert Junaidi, Intan Hidayati Intan, and Selastia Yuliati. "Peningkatan Yield Metana Dari Konversi CO<sub>2</sub> Dengan Katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Melalui Variasi Waktu Operasi Dan Massa Promotor Zn." *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)* 5.05 (2025): 769-780.
- [9] Ardhiyany, Sri. "Proses Absorpsi Gas CO<sub>2</sub> Dalam Biogas Menggunakan Alat Absorber Tipe Packing Dengan Analisa Pengaruh Laju Alir Absorben NaOH." *Jurnal Teknik Patra Akademika* 9.02 (2018): 55-64.
- [10] H. Zhong, G. Yao, X. Cui, P. Yan, X. Wang, and F. Jin, "Selective conversion of carbon dioxide into methane with a 98% yield on an in situ formed Ni nanoparticle catalyst in water," *Chemical Engineering Journal*, vol. 357, pp. 421–427, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.cej.2018.09.155.
- [11] Mara, Made. "Analisis penyerapan gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dengan larutan NaOH terhadap kualitas biogas kotoran sapi." *Dinamika Teknik Mesin* 2.1 (2012).
- [12] Y. Toluna, R. Junaidi, and M. Zamhari, "Pengaruh Temperatur Terhadap Pembentukan Metana Dari CO<sub>2</sub> Dengan Zn Dan Katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>," *Jurnal Inovator*, 2025.
- [13] Lu, Jichang, et al. "Weakening the metal-support strong interaction to enhance catalytic performances of alumina supported Ni-based catalysts for producing hydrogen." *Applied Catalysis B: Environmental* 263 (2020): 118177.
- [14] Hermanto, and Arba Susanty. "Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Laju Alir Gas Pada Proses Pemurnian Biogas." *Jurnal Riset Teknologi Industri*, vol. 10, no. 1, 2016, pp. 88-93, <https://doi.org/10.26578/jrti.v10i1.1760>.
- [15] R. Y. Chein and C. C. Wang, "Experimental study on CO<sub>2</sub> methanation over Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ru/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and Ru-Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts," *Catalysts*, vol. 10, no. 10, pp. 1–17, Oct. 2020, doi: 10.3390/catal10101112.