

Pengaruh Temperatur Terhadap Pembentukan Metana Dari CO₂ Dengan Zn Dan Katalis Ni/Al₂O₃

Yona Toluna^a *, Robert Junaidi^a, Mustain Zamhari^a^a Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Jl. Sriwijaya Negara, Bukit Lama, Kec. Ilir Bar. I, Kota Palembang, Sumatera Selatan, 30128, Indonesia

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima 24 Januari 2025

Diterima setelah direvisi 21 April 2025

Disetujui 29 Mei 2025

Kata kunci:

CO₂Metana (CH₄)Metanasi CO₂Ni/Al₂O₃

Zink (Zn)

Abstract-Carbon dioxide (CO₂) gas has become a major threat to the earth's environment because its emissions are increasing every year. The greenhouse effect, which causes global warming, increases the earth's temperature, melts glaciers and raises sea levels, among others, is mainly caused by CO₂ emissions equivalent to 80% of total emissions. The formation of CH₄ from CO₂ at low temperatures is a significant breakthrough in understanding the role and use of CO₂, although its conversion rate is still very low. This study aims to convert CO₂ gas into methane gas using Ni/Al₂O₃ catalysts and to study the impact of temperature variations and catalyst activation through in situ methods. This study utilizes CO₂ as a raw material with a Ni/Al₂O₃ catalyst and temperature variations in units (°C) that will be regulated at 110 °C and 120 °C. The methane gas (CH₄) produced will be analyzed using a Multi Gas Detector Analyzer. The study showed that the highest methane gas content produced in situ was obtained at 120 °C with the 5th/Ni_R4 catalyst treatment, which was 50.56%.

Intisari- Gas karbon dioksida (CO₂) telah menjadi ancaman besar bagi lingkungan bumi karena emisinya mengalami peningkatan setiap tahunnya. Efek rumah kaca, yang menyebabkan pemanasan global, meningkatkan suhu bumi, mencairkannya gletser dan menaikkan permukaan air laut, dan lain-lain, terutama disebabkan oleh emisi CO₂ yang setara dengan 80% dari total emisi. Pembentukan CH₄ dari CO₂ pada suhu rendah adalah terobosan signifikan dalam memahami peran dan penggunaan CO₂, meskipun tingkat konversinya masih sangat rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengubah gas CO₂ menjadi gas metana menggunakan katalis Ni/Al₂O₃ serta untuk mempelajari dampak variasi temperatur dan aktivasi katalis melalui metode in situ. Penelitian ini memanfaatkan CO₂ sebagai bahan baku dengan katalis Ni/Al₂O₃ dan variasi temperatur dalam satuan (°C) yang akan diatur sebesar 110 °C dan 120 °C. Gas metana (CH₄) yang dihasilkan akan dianalisis menggunakan Multi Gas Detector Analyzer. Penelitian menunjukkan bahwa kadar gas metana tertinggi yang dihasilkan secara in situ diperoleh pada suhu 120 °C dengan perlakuan katalis ke-5/Ni_R4, yaitu sebesar 50,56%.

1. Pendahuluan

Emisi gas karbon dioksida (CO₂) telah menjadi ancaman besar bagi lingkungan bumi karena emisinya meningkat dari tahun ke tahun. Sebagai alternatif, CO₂ yang ditangkap dapat digunakan dan diubah menjadi bahan bakar dan bahan kimia, misalnya dengan menghasilkan metana kering untuk produksi gas sintesis, atau CO₂ itu sendiri [1]. Upaya-upaya seperti transisi ke sumber energi bersih, konservasi lahan dan hutan, serta inovasi teknologi karbon rendah sangat penting untuk mengurangi emisi CO₂ dan menjaga keseimbangan iklim global.

Proses pembentukan CH₄ dari CO₂ pada suhu rendah adalah kemajuan signifikan dalam memahami peran dan penggunaan CO₂, meskipun tingkat konversinya masih sangat rendah [2]. Metana adalah bahan bakar yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi yang dapat diperbarui. Ridzuan

dkk (2022) telah melakukan penelitian yang berfokus pada konversi katalitik karbon dioksida (CO₂) menjadi metana [3].

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengurangi dampak pemanasan global serta menyediakan solusi untuk mengatasi krisis penipisan energi. Studi ekstensif telah dilakukan pada beberapa sistem katalitik berbasis logam menggunakan Ni, Katalis berbasis Ni adalah yang paling banyak dipelajari karena aktivitas dan selektivitasnya yang tinggi untuk pembentukan metana serta biayanya yang rendah.

Eksperimen awal mereka telah mengungkapkan bahwa katalis Ni/Al₂O₃ dengan kandungan nikel 24% menunjukkan aktivitas yang baik untuk metanasi karbon dioksida [4]. Zhong dkk (2019) melakukan penelitian dengan metode baru dan sederhana untuk mengubah karbon dioksida menjadi metana dalam larutan air dengan menggunakan katalis Ni yang disintesis secara in situ, dan air sebagai sumber hidrogen serta logam yang melimpah di tanah (Zn atau Fe) sebagai agen pereduksi. Hasil

* Corresponding Author:

E-mail:yonatoluna11@gmail.com (Yona Toluna)

yang diperoleh sangat memuaskan, mencapai 98% metana dari CO₂ atau HCO₃ pada suhu 300°C, dengan jumlah katalis yang digunakan sebanyak 75 gram. Katalis Ni yang terbentuk secara in situ tidak hanya menunjukkan kinerja katalitik yang sangat baik, tetapi juga kestabilan yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mencegah deposit karbon dan meningkatkan aktivitas katalis [5].

Chen dkk, (2020) telah melakukan penelitian metanasi CO₂ dengan katalis Ni/Al₂O₃ dengan suhu optimum 400 °C konversi CO₂ yang dihasilkan baik sekitar 3% penurunan konversi 3% yang diuji dengan 3x siklus berkelanjutan selama 74 jam [4]. Aditya dkk (2023), dapat disimpulkan bahwa reaksi yang dilakukan pada reaksi hidrogenasi CO₂ menjadi metana ini konversi yang didapat masih kecil yaitu sebesar 13,56% dengan suhu optimal 60 oC dan jumlah katalis 9 gram serta penambahan promotor sebanyak 8 gram [6].

2. Metode Penelitian

Tabel 1. Alat yang Digunakan

No.	Alat	Kuantitas
1.	Fixed Bed Reactor	Seperangkat alat
2.	Regulator CO ₂	1
3.	Selang Transparan	5 meter
4.	Ring Selang	5
5.	Tabung CO ₂	1
6.	Urine Bag	10
7.	Mur dan Baut	4 pasang
8.	Bola Karet	1
9.	Tabung Katalis	1
10.	Kunci Socket T	1

Bahan Baku untuk Percobaan : Gas Karbon dioksida (CO₂), Air Deionisasi, Zink (Zn) powder, NaOH, Ni/Al₂O₃, Aquadest.

2.1. Prosedur Penelitian

1. Pembuatan Larutan NaOH 4 M

Menimbang 40 gram larutan Natrium Hidroksida (NaOH), kemudian tambahkan aquadest hingga mencapai volume yang ditandai pada labu ukur 250 ml.

2. Persiapan Katalis

Menimbang katalis Ni/Al₂O₃ sebanyak 50 gram secara perlahan ditambahkan larutan NaOH 4 M, lalu dipanaskan selama 2 jam diatas penangas air. Setelah dipanaskan, endapan katalis dibilas dengan air deionisasi dan dikeringkan menggunakan vakum.

3. Prosedur Operasi Unit

Setelah mempersiapkan seluruh peralatan dan bahan yang akan dipakai dalam proses metanasi. Selanjutnya hubungkan alat ke power supply dan Pastikan semua katup mengarah ke aliran yang diinginkan dan pastikan telah terkunci rapat menggunakan ring selang. Selanjutnya, membuka katup reaktor dengan melepas baut yang ada pada reaktor lalu masukkan endapan katalis yang telah di aktivasi sebanyak 50 gram menjadi Ni_R0 ke dalam tabung katalis dan meletakkannya ke dalam reaktor. Masukkan logam promotor Zn yang telah ditimbang dan katalis nikel alumina ke dalam reaktor. Kemudian larutkan 40 gram NaOH ke dalam gelas kimia 250 ml. Setelah itu, meletakkan larutan NaOH 4 M tersebut ke bagian tempat yang telah disediakan dekat dengan pipa saluran pompa untuk dialirkan ke

reaktor bagian atas. Kemudian menekan tombol power heater, sehingga lampu indikator heater menyala.

2.2. Analisa Hasil Percobaan

Metode analisis dilakukan dengan menggunakan Multi Gas Detector Analyzer, yang mampu mengukur jenis dan kandungan senyawa dalam sampel secara kualitatif maupun kuantitatif. Dengan bantuan gas pembawa, sampel yang diinjeksikan ke dalam kromatografi gas akan diubah menjadi fasa uap sebelum dialirkan melalui kolom kapiler. Perbedaan sifat kimia dan waktu yang diperlukan untuk masing-masing senyawa menyebabkan senyawa campuran berubah menjadi senyawa tunggal [8],[9].

3. Hasil Dan Pembahasan

Hasil analisis gas yang dihasilkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan ditunjukkan pada Tabel 2.

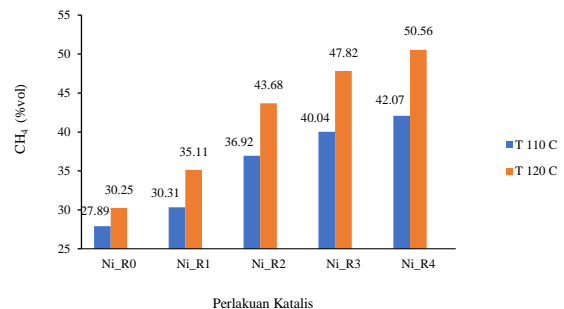
Tabel 2. Data Analisis Gas yang Dihasilkan

Perlakuan Katalis	Suhu (°C)	Hasil Pemeriksaan (%)		
		CH ₄	CO ₂	H ₂
Ni_R0	110	27,8	69,0	1,73
Ni_R1		30,3	66,7	1,62
Ni_R2		36,9	60,3	1,47
Ni_R3		40,0	57,2	1,38
Ni_R4	120	42,0	55,2	1,34
Ni_R0		30,2	66,8	1,64
Ni_R1		35,1	62,0	1,52
Ni_R2		43,6	53,7	1,28
Ni_R3		47,8	49,7	1,07
Ni_R4	50,5	47,1	1,01	

3.1. Produksi Hasil Gas Metana

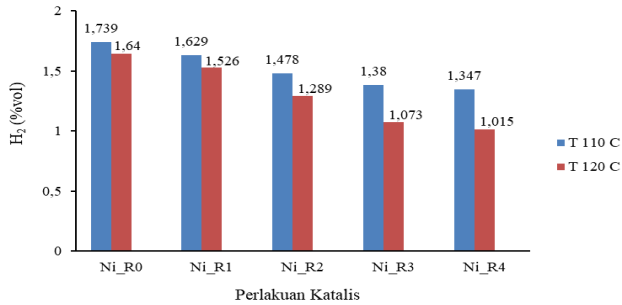
Pada kenaikan temperatur dan perlakuan katalis secara berulang, CH₄ yang dihasilkan tidak menurun tetapi bahkan lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan katalis dan temperatur diawal [10]. Hal ini terjadi karena struktur Ni atau katalis berubah menjadi semakin halus setelah diberi perlakuan katalis sebanyak beberapa kali [5],[11].

Penelitian ini dilakukan lebih lanjut dengan dilakukan penambahan promotor Zn yang dipilih yaitu sebanyak 10 gram, penambahan Zn membantu meningkatkan efisiensi katalis dalam mempercepat reaksi pembentukan gas metana dengan mengaktivasi permukaan katalis [12],[13]. Nilai CH₄ cenderung meningkat ketika Zn ditambahkan dan suhu meningkat [7].

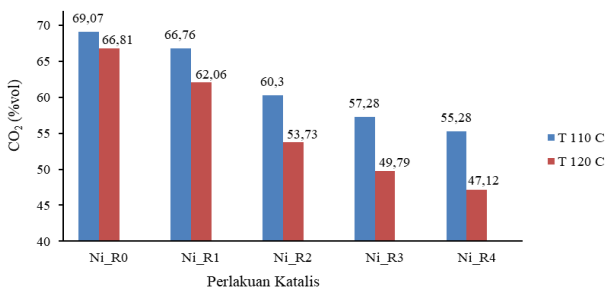


Gambar 1. Hasil Produksi Gas Metana

Dapat dilihat pada Gambar 1 menunjukkan persentase gas CH₄ pada perlakuan katalis dan variasi temperatur semakin naik secara beraturan. Diperoleh hasil terendah 27,89% lalu semakin naik dengan hasil tertinggi ialah 50,56%.



Gambar 2. Gas CO₂ yang Gagal Bereaksi Membentuk Gas Metana



Gambar 3. Gas H₂ yang Gagal Bereaksi Membentuk Gas Metana

Pada Gambar 2 dan Gambar 3, menunjukkan adanya Gas CO₂ dan Gas H₂ yang tidak mengalami reaksi dengan Gas Metana yang dianalisa menggunakan alat Multi Gas Analyzer Detector. Namun, persentase Gas CO₂ dan Gas H₂ mengalami penurunan, yang berlawanan dengan kecenderungan peningkatan persentase Gas Metana.

Grafik di atas menunjukkan bahwa nilai tertinggi gas metana diperoleh pada perlakuan katalis ke-5/ Ni_R4 dengan temperatur 120 oC dan didapatkan gas metana sebesar 50,56%. Produksi gas metana dari grafik menunjukkan bahwa reaksi metanasi meningkat sejalan dengan regenerasi katalis dan kenaikan suhu. Pada penelitian ini suhu 110 oC dan 120 oC ini dipilih karena menurut Operational Considerations suhu 110°C hingga 120°C dapat memperbaiki proses untuk menghasilkan lebih banyak gas metana secara efisien. Ini merupakan suhu yang cukup tinggi namun tidak terlalu ekstrem untuk mendukung reaksi tanpa memerlukan tekanan yang sangat tinggi, sehingga dapat mempermudah proses.

4. Simpulan

Menurut hasil penelitian, sampel 10 menghasilkan gas metana yang paling banyak secara in situ pada temperatur 120 oC dan perlakuan katalis Ni_R4 yaitu sebesar 50,56%. Terbukti hasil Gas Metana pada penelitian kali ini lebih besar dari penelitian sebelumnya Aditya, (2023) yaitu sebesar 13,56% dengan selisih 37% lebih tinggi. Dari variasi temperatur yang telah digunakan yaitu 110 oC dan 120 oC koversi gas Metana yang paling tinggi didapatkan terdapat pada temperatur 120 oC. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu yang digunakan, semakin banyak

produk gas metana yang dihasilkan. Adapun aktivasi atau regenerasi katalis diperlukan untuk mengembalikan atau meningkatkan aktivitas katalis yang mungkin berkurang akibat penggunaan atau pengaruh lingkungan. Perlakuan katalis yang paling baik terjadi pada Ni_R4 dengan hasil Gas Metana sebesar 50,56% lebih tinggi dibandingkan dengan Ni_R0-Ni_R4. Kinerja yang baik dari katalis yang telah diaktivasi atau diregenerasi dapat mempercepat reaksi metanasi, meningkatkan konversi gas CO₂ menjadi produk gas CH₄, serta menghasilkan produk yang lebih bersih dan sesuai dengan standar kualitas yang diinginkan.

Ucapan terima kasih

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

Referensi

- [1] Stangeland, K., Kalai, D. Y., Li, H., & Yu, Z. (2017). CO₂ methanation: the effect of catalysts and reaction conditions. *Energy Procedia*, 105, 2022–2027.
- [2] Loder, A., Siebenhofer, M., & Lux, S. (2020). The reaction kinetics of CO₂ methanation on a bifunctional Ni/MgO catalyst. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 85, 196207.
- [3] Mohd Ridzuan, N. D., Shaharun, M. S., Lee, K. M., Ud Din, I., & Puspitasari, P. (2020). Influence of nickel loading on reduced graphene oxide-based nickel catalysts for the hydrogenation of carbon dioxide to methane. *Catalysts*, 10 (5), 471.
- [4] Chein, R. Y., & Wang, C. C. (2020). Experimental Study on CO₂ Methanation over Ni/Al₂O₃, Ru/Al₂O₃, and Ru-Ni/Al₂O₃ Catalysts. *Catalysts*, 10 (10), 1112.
- [5] Zhong, H., Yao, G., Cui, X., Yan, P., Wang, X., & Jin, F. (2019). Selective conversion of carbon dioxide into methane with a 98% yield on an in situ formed Ni nanoparticle catalyst in water. *Chemical Engineering Journal*, 357 (April 2018), 421427.
- [6] Aditya, A.R. (2023). Metanasi CO₂ Menggunakan Katalis Ni/Al₂O₃ Dengan Variasi Temperatur dan Zn Sebagai Promotor. Politeknik Negeri Sriwijaya
- [7] Fan, W. K., & Tahir, M. (2021). Recen Trends in Development of Active Metals and Heterogenous Materials for Catalytic CO₂ Hydrogenation to Renewable Methane: Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105460. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105460>
- [7] Diaz, I., Fdz-Polanco, F., Mutsvene, B., & Fdz-Polanco, M. (2020). Effect of operating pressure on direct biomethane production from carbon dioxide and exogenous hydrogen in the anaerobic digestion of sewage sludge. *Journal of Applied Energy*, 280, 115915.
- [8] Garbarino, G., Wang, C., Cavattoni, T., Finocchio, E., Riani, P., Flytzani-Stephanopoulos, M., & Busca, G. (2019). A study of Ni/La-Al₂O₃ catalysts: A competitive system for CO₂ methanation. *Journal of Applied Catalysis B: Environmental*, 248 (December 2018), 286–297.
- [9] Jiang, Y., Huang, T., Dong, L., Qin, Z., & J. H. (2018). Ni/bentonite catalysts repared by solution combustion method for CO₂ methanation, *Chinese Journal Chemical of ngenieering*
- [10] Krisnandi, Y. K., Abdullah, I., Prabawanta, I. B. G., & Handayani, M. (2020). In-situ hydrothermal synthesis of nickel nanoparticle/reduced graphene oxides as catalyst on CO₂ methanation. *AIP Conference Proceedings*, 2242 (June).
- [11] Subkhan, A. (2017). Kajian Emisi CO₂ Dari Pemanfaatan Energi Rumah Tangga Di Kelurahan Candi Kota Semarang. *Geo-Image*, 6 (2), 147–157.
- [12] Wang, D., Huang, J., Liu, F., Xu, X., Fang, X., Liu, J., Xie, Y., & Wang, X. (2020). Rutile RuO₂ dispersion on rutile and anatase TiO₂ supports: The effects of support crystalline phase structure on the dispersion behaviors of the supported metal oxides. *Catalysis Today*, 339 (January 2019), 220 – 232.
- [13] Zhang, C., Liu, H., & Sun, X. (2018). The promoting effect of Fe and La on Ni/Al₂O₃ catalysts for CO₂ methanation. *Journal of CO₂ Utilization*, 26, 1-9.