

Konversi CO₂ Menjadi Metana Menggunakan Katalis Ni-Zn/Al₂O₃ Ditinjau dari Kemampuan Katalis dan Waktu Operasi

Satria Agung Wijaya*, Robert Junaidi, Abu Hasan

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

*Koresponden email: agungsatria900@gmail.com

Diterima: 14 April 2025

Disetujui: 17 April 2025

Abstract

Carbon dioxide (CO₂) gas is a gas that can be a threat to the environment because its emissions continue to increase from year to year. Therefore, this research aims to utilize CO₂ gas and convert it to methane gas (CH₄) using a fixed bed reactor type reactor containing a catalyst. In this study, the CO₂ methanation process was carried out with the help of Ni/Al₂O₃ catalyst supported with Zn metal in situ. This study varies the catalyst treatment denoted by Ni_R0 - Ni_R4, with the amount of catalyst as much as 50 grams and variations in the operating time of the CO₂ methanation process for 70 minutes and 80 minutes. The highest methane gas yield of 50.11% was obtained in sample 10 with the Ni_R4 catalyst treatment variation (Ni_R0 - Ni_R4 variation) for 80 minutes (70 minutes and 80 minutes variation). The longer the methanation process, the longer the contact process between CO₂ gas and NaOH solution.

Keywords: CO₂, CO₂ methanation, in situ, methane (CH₄), Ni/Al₂O₃ catalyst

Abstrak

Gas Karbondioksida (CO₂) adalah gas yang dapat menjadi ancaman bagi lingkungan karena emisinya yang terus meningkat dari tahun ke tahun. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan gas CO₂ dan mengonversikannya menjadi gas metana (CH₄) menggunakan alat reaktor bertipe Fixed Bed Reactor yang dimana didalamnya berisikan katalis. Pada penelitian ini proses metanasi CO₂ dilakukan dengan menggunakan bantuan katalis Ni/Al₂O₃ yang disupport dengan logam Zn secara in situ. Penelitian ini memvariasikan perlakuan katalis yang dilambangkan dengan Ni_R0 – Ni_R4, dengan jumlah katalis sebanyak 50 gram dan variasi waktu operasi proses metanasi CO₂ selama 70 menit dan 80 menit. Hasil gas metana yang tertinggi didapat sebesar 50,11% pada sampel 10 dengan variasi perlakuan katalis Ni_R4 (variasi Ni_R0 – Ni_R4) selama 80 menit (variasi 70 menit dan 80 menit). Semakin lama proses metanasi maka akan semakin lama pula proses kontak antara gas CO₂ dengan larutan NaOH.

Kata Kunci: CO₂, metanasi CO₂, in situ, metana (CH₄), katalis Ni/Al₂O₃

1. Pendahuluan

Gas Karbondioksida (CO₂) yang dikenal sebagai gas rumah kaca adalah gas yang dapat menjadi ancaman bagi lingkungan karena emisi nya yang terus meningkat dari tahun ke tahun [1]. Berdasarkan International Energy Agency (IEA) pada tahun 2023, emisi gas CO₂ mencapai rekor terbaru sebesar 37,4 Gt, yang mana meningkat 1,1% lebih besar dari tahun sebelumnya. Ini disebabkan karena meluasnya penggunaan bahan bakar fosil secara signifikan. Penelitian menunjukkan bahwa jika laju emisi CO₂ saat ini terus berlanjut, konsentrasi CO₂ dapat mencapai 790 ppm pada tahun 2100, yang mengakibatkan kenaikan suhu rata-rata global sebesar 3,8 °C, dan menimbulkan hambatan yang parah terhadap pembangunan manusia [2].

Salah satu cara penyelesaian terbaik untuk mengurangi dampak emisi CO₂ ini ialah dengan mengonversikan CO₂ menjadi bahan bakar kimia alternatif yang berharga [3]. Diantara banyak metode konversi gas CO₂, metode yang paling efektif dan akhir-akhir ini masih dipelajari yaitu metode hidrogenasi CO₂ katalitik melalui reaksi metanasi atau Sabatier [1]. Reaksi Sabatier merupakan reaksi yang secara termodinamika lebih menyukai suhu rendah yaitu pada suhu 25-400 °C, dan termasuk bagian dari reaksi eksotermis. Metanasi CO₂ ini memiliki proses yang menarik untuk penelitian dan pengembangan karena dapat mengubah CO₂, gas yang melimpah dan sering dianggap sebagai limbah, menjadi metana yang mana merupakan produk dengan banyak aplikasi industri [4]. Seperti peneliti Zhong dkk, (2019), mereka menggunakan metode hidrogenasi yaitu konversi CO₂ menjadi metana dalam air dengan katalis nanopartikel Ni hasil sintesis secara in situ, dimana air dalam larutan NaOH digunakan sebagai sumber hidrogen dan logam di bumi (Zn atau Fe) digunakan sebagai agen pereduksi regeneratif. Hasil yang baik dari 98% metana dengan CO₂ atau HCO₃ diperoleh pada suhu 300°C menggunakan logam Zn sebagai

reduktor (promotor nya) selama 4 jam. Mereka juga melakukan pemanasan katalis $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ dengan mencampurkan larutan NaOH sebagai pelarut untuk mengubah struktur pori-pori katalis menjadi lebih besar sebelum direaksikan [3].

Katalis yang digunakan pada reaksi metanasi CO_2 telah banyak dipelajari oleh peneliti sebelumnya secara luas dengan variasi katalis yang berbeda-beda, contoh nya seperti logam nikel. Nikel merupakan logam transisi yang biasanya paling umum digunakan untuk reaksi hidrogenasi CO_2 yang mana memiliki kemampuan kinerja yang baik dalam mereduksi CO_2 menjadi gas metana (CH_4) [5]. Selain nikel, logam mulia (Ru, Pt, Ir, dll) juga menunjukkan kinerja yang baik, terutama aktivitas tinggi dan kemampuan pengendapan anticarbon, namun sulit diterapkan pada penelitian karena biayanya yang terlampaui tinggi [6]. Sehingga katalis Nikel menjadi pilihan katalis terbaik dalam proses metanasi CO_2 karena harga yang relative lebih murah dan memiliki sifat katalitik yang sama dengan logam mulia.

Menurut penelitian (Aghayan dkk, 2017), mereka melakukan penelitian sintesis pembakaran menggunakan katalis nikel untuk metanasi karbon dioksida yang menghasilkan katalis yang beroperasi yang stabil dibawah kondisi reaksi selama paling sedikit 50 jam. (Krisnandi dkk, 2020) telah melakukan penelitian sintesis hidrotermal dengan metode in situ dari nanopartikel nikel/oksida sebagai katalis pada metanasi dimana di stirred selama 20 jam, hasil penelitian %yield tertinggi sebesar 18,35% dan 17,63% pada suhu proses 673K yang menghasilkan metana sedikit.

Peneliti (Chen dkk, 2020) juga telah melakukan penelitian metanasi CO_2 dengan katalis $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ dengan suhu optimum 400°C konversi CO_2 yang dihasilkan baik sekitar 3% penurunan konversi 3% yang diuji dengan 3x siklus berkelanjutan selama 74 jam.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa reaksi yang dilakukan pada reaksi hidrogenasi CO_2 menjadi metana ini konversi yang didapat masih kecil yaitu sebesar 13,56% (Aditya, 2023), dan waktu operasi yang digunakan masih terlampaui lama pada kisaran 24-74 jam serta pada suhu yang terlalu ekstrim $300\text{--}400^\circ\text{C}$ (Krisnandi dkk., 2020). Maka dari itu, untuk meningkatkan hasil konversi metana yang didapat, peneliti memvariasikan waktu operasi agar dapat mengonversikan gas CO_2 lebih banyak. Penelitian ini akan dilakukan menggunakan katalis $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ dengan bantuan logam Zn secara in situ pada alat *fixed bed reactor*.

2. Metode dan Bahan Baku

Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang. Penelitian ini dilakukan selama kurang lebih 3 (tiga) bulan.

Bahan dan Alat

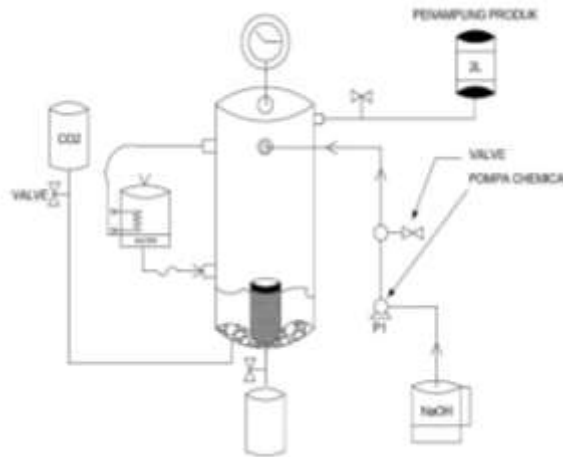
Alat yang digunakan pada percobaan kali ini dapat dilihat pada **Tabel 1** sebagai berikut :

Tabel 1. Alat yang Digunakan untuk Percobaan

No.	Alat	Kuantitas
1.	<i>Fixed Bed Reactor</i>	Seperangkat alat
2.	Regulator CO_2	1
3.	Selang Transparan	5 meter
4.	Ring Selang	5
5.	Tabung CO_2	1
6.	Penampung Produk	10
7.	Mur dan Baut	4 pasang
8.	Lem <i>Dextone</i>	1
9.	Tabung Katalis	1
10.	Kunci Socket (T)	1
11.	<i>Multi Gas Detector Analyzer (MGDA)</i>	1

Sumber : Laboratorium Politeknik Negeri Sriwijaya, (2024)

Rangkaian alat yang ada pada tabel dirancang sedemikian rupa menjadi alat metanasi CO_2 yang digunakan untuk proses metanasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 1** berikut.



Gambar 1. Rancangan Alat Metanasi CO₂ (2024)

Bahan baku yang digunakan pada percobaan ini adalah gas CO₂, Natrium Hidroksida (NaOH), Air Deionisasi, Zn Powder, dan Aquadest.

Prosedur Penelitian

a. Pembuatan Larutan NaOH 4 M

Menimbang larutan Natrium Hidroksida (NaOH) sebanyak 40 gram kemudian ditambahkan aquadest dan dimasukkan ke dalam labu ukur 250 mL sampai tanda batas.

b. Persiapan Katalis

Menimbang katalis Ni/Al₂O₃ sebanyak 50 gram secara perlahan ditambahkan larutan NaOH 4 M sebanyak 250 ml, lalu dipanaskan selama 2 jam diatas penangas air. Setelah dipanaskan, endapan katalis dibilas dengan air deionisasi dan dikeringkan menggunakan vakum. Hasil endapan katalis akan digunakan pada saat operasi yang mana katalis tersebut diberi lambang sebagai Ni_R0 (prekursor).

Ketika Ni_R0 digunakan dalam operasi reduksi CO₂, Ni_R0 akan diperoleh kembali dan dipulihkan, yang dilambangkan sebagai Ni_R1. Demikian pula, ketika katalis Ni_R1 digunakan dalam operasi reduksi CO₂, katalis akan dipulihkan kembali untuk kali ke-2, ke-3 serta ke-4, dilambangkan sebagai Ni_R2, Ni_R3, dan Ni_R4 masing-masing.

c. Prosedur Operasi Metanasi CO₂

Katalis yang telah di aktivasi dan dilambangkan dengan Ni_R0 akan dimasukkan ke dalam tabung katalis di dalam reaktor beserta logam promotor Zn sebanyak 10 gram. Reaktor metanasi CO₂ yang digunakan merupakan tipe *Fixed Bed Reactor* dengan volume tabung sebesar 0,6866 m³ dimana diameter reaktor 5,8 cm dan tinggi 26 cm. Reaktor ini juga dilengkapi dengan heater dan pompa untuk mengalirkan larutan NaOH ke dalam reaktor. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 2** dibawah ini.

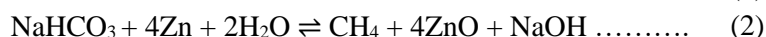


Gambar 2. Rangkaian Alat Metanasi CO₂ tipe *Fixed Bed Reactor* (2024)

Kemudian setelah menyiapkan larutan NaOH dan dialirkan ke dalam reaktor secara bertahap, heater pada alat dihidupkan. Set temperatur yang diinginkan, pada penelitian ini set temperatur yang digunakan adalah sebesar 100 °C. Setelah itu, aliran gas CO₂ masuk kedalam reaktor melalui katup pada bagian

bawah reaktor. Prosedur ini dilakukan secara berulang selama rentang waktu operasi yang divariasikan 70 menit dan 80 menit.

Reaksi persamaan proses metanasi CO₂ pada percobaan kali ini dapat dilihat dibawah ini.



d. Analisa Hasil Gas Metana

Gas hasil produk yang telah didapatkan menggunakan penampung produk dianalisa menggunakan *Multi Gas Detector Analyzer* yang dapat mengukur jenis dan kandungan senyawa dalam suatu sampel baik secara kualitatif dan kuantitatif. Sampel yang diinjeksikan ke dalam *Multi Gas Detector Analyzer* akan diubah menjadi fasa uap dan dialirkan melewati kolom kapiler dengan bantuan gas pembawa. Pemisahan senyawa campuran menjadi senyawa tunggal terjadi berdasarkan perbedaan sifat kimia dan waktu yang diperlukan bersifat spesifik untuk masing-masing senyawa.

Setelah sampel diinjeksikan maka alat *Multi Gas Detector Analyzer* (MGDA) akan mengkalkulasikan komposisi unsur gas yang ada pada sampel dan kemudian hasilnya akan muncul secara bertahap pada layer monitor *Multi Gas Detector Analyzer* (MGDA).

3. Hasil Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan saat ini adalah mengonversikan gas CO₂ menjadi gas metana (CH₄) pada proses metanasi yang hasil konversinya melampaui 13,56% menggunakan katalis Ni/Al₂O₃ yang disupport dengan logam Zn. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh data mengenai hasil analisis kandungan gas yang dapat dilihat pada **Tabel 2** dibawah ini.

Tabel 2. Hasil Analisa Gas Metana (CH₄)

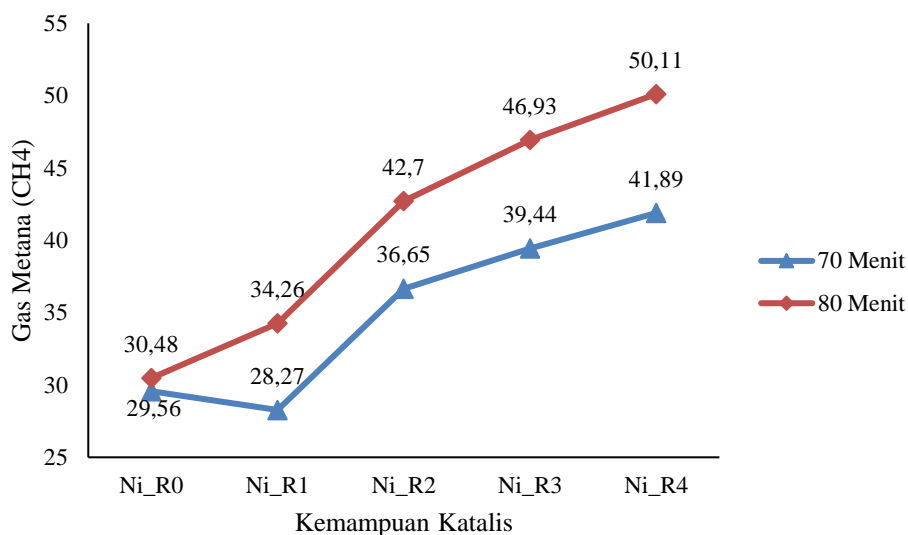
Perlakuan Katalis	Waktu Operasi (menit)	Hasil Pemeriksaan (%)		
		CH ₄	CO ₂	H ₂
Ni_R0	70	29,5	67,4	1,69
Ni_R1		28,2	68,7	1,71
Ni_R2		36,6	60,5	1,49
Ni_R3		39,4	57,8	1,42
Ni_R4		41,8	55,4	1,35
Ni_R0	80	30,4	66,6	1,60
Ni_R1		34,2	62,9	1,52
Ni_R2		42,7	54,6	1,32
Ni_R3		46,9	50,6	1,11
Ni_R4		50,1	47,5	1,01

Sumber: Multi Gas Detector Analyzer POLSRI, 2024

Pengaruh Kemampuan Katalis dan Waktu Operasi terhadap Hasil Gas Metana (CH₄)

Salah satu syarat untuk mendapatkan hasil produk gas metana (CH₄) dengan konversi yang besar adalah dengan cara meningkatkan kemampuan aktivitas katalis yang digunakan agar katalis dapat bekerja secara efisien [2]. Untuk inilah proses aktivasi katalis dilakukan agar harapannya dapat membuat aktivitas katalis dan stabilitas katalis berada pada kondisi yang optimal. Proses aktivasi katalis dilakukan dengan cara memanaskan katalis Ni/Al₂O₃ komersial dengan melarutkannya kedalam larutan NaOH menggunakan penangas air selama 2 jam pada suhu 110 °C. Hasil yang didapat setelah proses aktivasi katalis dilakukan pada sampel metanasi CO₂ dapat dilihat pada **Gambar 3** dibawah.

Dari **Gambar 3** dapat dilihat bahwa setelah dilakukan proses aktivasi katalis pada sampel, hasil gas metana yang diperoleh secara hampir keseluruhan meningkat. Ini disebabkan karena adanya peningkatan aktivitas katalis dan kemampuan katalis dalam mereduksi CO₂ setelah dilakukannya proses aktivasi pada katalis Ni/Al₂O₃ komersial. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Zhong, dkk. pada tahun 2019, peneliti melakukan proses metanasi CO₂ menggunakan katalis Ni/Al₂O₃ komersial tanpa melakukan proses aktivasi terlebih dahulu pada katalis, pada waktu operasi 1 jam metanasi CO₂ dilakukan, masih tidak ada gas metana yang dihasilkan (0%). Lalu pada waktu operasi selama 3 jam barulah didapat hasil gas metana sebesar 43% saja.



Gambar 3. Pengaruh Kemampuan Katalis dan Waktu Operasi terhadap Hasil Gas Metana (CH₄)

Kemudian pada tahun 2023, Faria, dkk. meneliti kembali proses metanasi CO₂ menggunakan larutan campuran logam Ni yang disubstitusikan dengan logam Mg. Peneliti melakukan proses aktivasi katalis dengan cara larutan campuran nitrat sebelumnya ditambahkan tetes demi tetes ke dalam larutan Na₂CO₃ yang mengandung NaOH pada 1 M tetes demi tetes pada suhu kamar dan diaduk selama 18 jam. Hasil konversi CO₂ yang didapat setelah proses aktivasi katalis sebesar 80% pada suhu 350 °C. Sehingga dapat dibuktikan bahwa proses aktivasi katalis dapat meningkatkan kemampuan katalis dalam mempercepat laju reaksi dan menghasilkan produk dalam jumlah yang lebih banyak.

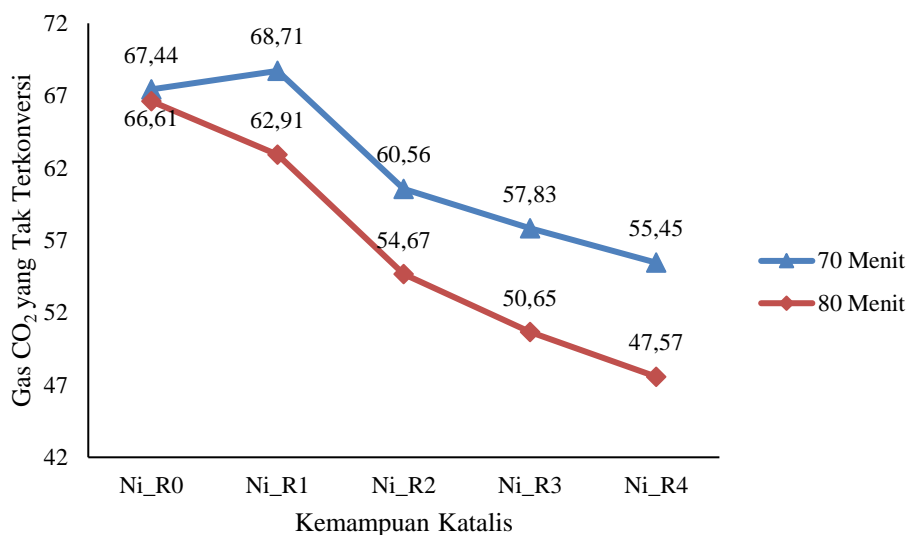
Pengaruh Kemampuan Katalis dan Waktu Operasi terhadap Gas CO₂ yang Tak Terkonversi

Selain dari pengaruh proses aktivasi katalis yang dapat meningkatkan kemampuan aktivitas katalis sehingga membuat hasil produk gas metana yang diperoleh menjadi lebih besar, proses perlakuan regenerasi katalis yang dimana katalis digunakan kembali untuk proses reduksi CO₂ secara berulang-ulang ternyata juga dapat meningkatkan hasil produksi gas metana menjadi lebih besar.

Pada tahun 2020 Wang, dkk. melakukan penelitian proses metanasi menggunakan katalis Ni-Ca/Al₂O₃ secara berulang-ulang sampai proses reduksi CO₂ sebanyak 7 kali (Ni-Ca-6) didapat bahwa hasil gas metana yang didapat meningkat yang awalnya didapat sebesar 32,5% pada proses reduksi CO₂ pertama, menjadi 60% pada saat proses reduksi yang ketiga (Ni-Ca-2). Ini semakin membuktikan bahwa perlakuan katalis yang terus diregenerasi untuk digunakan kembali sebagai pereduksi CO₂ dapat meningkatkan hasil gas metana (CH₄).

Adapun pengaruh perlakuan katalis dan waktu operasi terhadap sisa Gas CO₂ ternyata berbanding terbalik dengan hasil konversi gas metana (CH₄), untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4** dibawah. Pada **Gambar 4** tersebut sisa gas CO₂ yang diperoleh ternyata semakin menurun, dari awal hingga akhir sampel produk gas metana (CH₄). Pada saat proses metanasi CO₂ diberi perlakuan yang berbeda dengan menggunakan variasi waktu operasi selama 80 menit, ternyata gas sisa CO₂ yang tidak terkonversi semakin menurun dengan signifikan. Ini disebabkan karena dua hal yang paling mempengaruhi yaitu ada perubahan kondisi struktur katalis yang terjadi dan proses metanasi CO₂ yang sedikit lebih lama. Aktivitas katalis dapat meningkat apabila luas permukaan dari katalis membesar dan ukuran pori dari katalis menurun [12]. Dengan kata lain, proses reduksi CO₂ yang berulang-ulang dan proses regenerasi katalis setelah metanasi CO₂ dapat merubah struktur katalis.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh J.S.S. Friema (2023) mengenai proses metanasi menggunakan katalis Ni/Al₂O₃, J.S.S. Friema membandingkan ukuran pori katalis Ni/Al₂O₃ Komersial (sebelum digunakan) dan setelah digunakan saat proses metanasi CO₂ menggunakan analisa Scanning Electron Microscope (SEM). Ternyata Katalis Ni/Al₂O₃ yang sudah melalui proses reduksi CO₂ ukuran pori-pori nya menyusut, dan luas permukaan katalisnya semakin membesar. Sehingga hal inilah yang membuat aktivitas katalis terus meningkat dan membuat gas sisa CO₂ semakin berkurang.

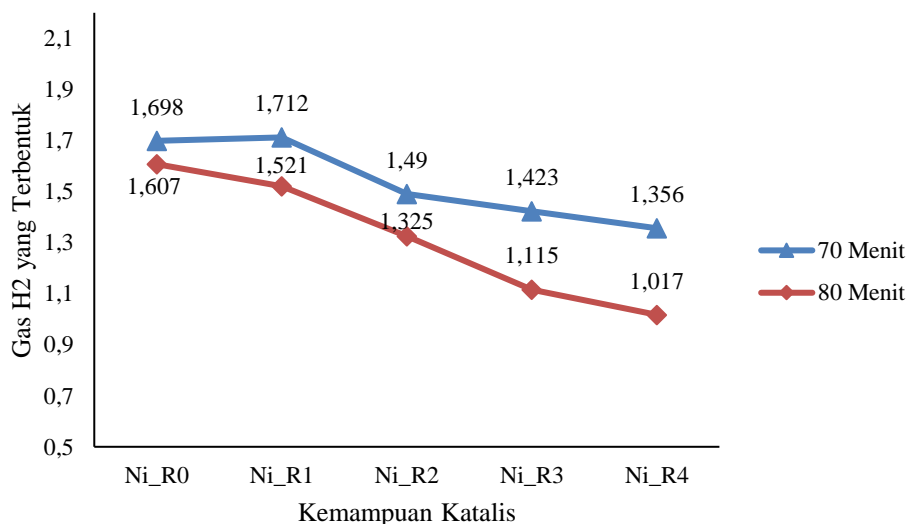


Gambar 4. Pengaruh Kemampuan Katalis dan Waktu Operasi terhadap Gas CO₂ yang Tak Terkonversi

Pengaruh Kemampuan Katalis dan Waktu Operasi terhadap Gas H₂ yang Terbentuk

Selain dari hasil konversi gas metana (CH₄) dan sisa gas CO₂, ada sisa gas H₂ yang tidak bereaksi dan tidak ikut terbentuk menjadi produk gas metana (CH₄). Gas H₂ yang tidak ikut bereaksi menjadi gas metana ini disebabkan beberapa hal yaitu H₂ yang terbentuk ada beberapa yang tak terserap masuk ke dalam katalis dan bereaksi, efisiensi H₂ rendah dikarenakan suhu reaktor yang masih rendah atau bisa disebabkan karena kurangnya waktu proses metanasi yang lebih lama lagi. Efisiensi H₂ yang rendah dihasilkan dari suhu yang rendah. Dengan kata lain, efisiensi H₂ akan meningkat seiring dengan peningkatan suhu. Efisiensi H₂ maksimum diamati pada suhu 400 °C [9].

Hasil penelitian yang didapat pada gas H₂ selama 70 menit mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa terjadinya reaksi di dalam tabung reaktor yang mana membentuk gas H₂, namun gas H₂ yang terbentuk ini tidak bereaksi karena kurangnya teradsorpsi gas H₂ oleh logam Ni [3]. Untuk lebih jelasnya data dapat dilihat pada **Gambar 5** dibawah ini.



Gambar 5. Pengaruh Kemampuan Katalis dan Waktu Operasi terhadap Hasil Gas H₂ yang Terbentuk

Pada trend grafik pertama yang diberi perlakuan katalis dan variasi waktu operasi selama 70 menit didapat gas H₂ yang tak terkonversi sebesar 1,698% untuk sampel pertama, sedangkan untuk sampel kelima didapat hasil gas H₂ yang tak terkonversi sebesar 1,356% saja. Ini menandakan bahwa pengaruh perlakuan katalis yang digunakan untuk proses reduksi CO₂ secara berulang-ulang dapat membuat kondisi aktivitas katalis semakin meningkat. Sehingga katalis mampu mengadsorpsi gas H₂ dalam jumlah yang lebih banyak setelah proses reduksi CO₂ yang berulang ulang [6].

Begitu juga dengan trend grafik kedua yang diberi perlakuan katalis yang sama namun dengan variasi waktu operasi yang berbeda. Terlihat bahwa semakin lama proses metanasi CO₂ maka semakin membuat gas H₂ yang tidak terkonversi semakin menurun, yang berarti ada pengaruh yang cukup signifikan dari proses metanasi CO₂ dengan waktu operasi sedikit lebih lama. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Zhong, dkk. (2019) semakin lama waktu proses metanasi CO₂, maka semakin lama juga proses kontak gas H₂ yang terbentuk dengan gas CO₂. Sehingga gas H₂ yang tidak terbentuk akan semakin kecil tersisa.

Liza pada tahun 2022 melakukan penelitian tentang metanasi CO₂ menggunakan rangkaian alat sederhana berupa erlenmeyer sebagai tempat reaktor proses dan hot plate sebagai tempat pemanasnya. Didapatkan hasil gas metana sebesar 10,07% dan gas H₂ yang tidak ikut bereaksi mengalami penurunan selama rentang waktu 60 menit pada suhu operasi 100 °C.

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yaitu T.M. Putri (2023) yang juga melakukan penelitian proses metanasi CO₂ dengan variasi perlakuan yang menggunakan variasi waktu operasi 30, 45, dan 60 menit, hasil gas H₂ yang terbentuk didapatkan hasil semakin menurun dari 5,35% menjadi 4,57% pada variasi waktu yang paling lama yaitu 60 menit. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan, hanya saja gas H₂ yang terbentuk lebih sedikit dari pada peneliti sebelumnya dengan selisih 3,55%. Yang berarti sisa gas H₂ yang tidak terkonversi akan semakin menurun (berkurang) karena proses metanasi yang lebih lama dan membuat gas H₂ yang terbentuk banyak yang ikut bereaksi menjadi gas metana (CH₄).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan yaitu hasil produk gas metana (CH₄) tertinggi yang telah dihasilkan secara in situ diperoleh pada sampel 10 yaitu sebesar 50,11% dengan metode perlakuan pemanasan katalis dan penggunaan katalis secara berulang untuk mereduksi CO₂ yang kelima kalinya (Ni_R4) selama 80 menit.

Pemakaian katalis Ni/Al₂O₃ yang digunakan secara berulang dengan cara meregenerasi katalis Ni/Al₂O₃ untuk mereduksi kembali CO₂ mempengaruhi hasil gas CH₄ semakin meningkat. Semakin lama waktu proses metanasi dilakukan, maka semakin banyak pula hasil gas metana yang dapat dihasilkan.

5. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan dari Politeknik Negeri Sriwijaya, dan Universitas Serambi Mekkah Indonesia yang telah memberikan wawasan dan keahlian yang sangat membantu penelitian ini, meskipun mereka mungkin tidak setuju dengan semua interpretasi/kesimpulan dari makalah ini.

6. Referensi

- [1] Dias, Y. R., Oscar, & W., Lopez, P., (2020). CO₂ conversion to methane using Ni/SiO₂ catalysts promoted by Fe, Co, and Zn. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104629>
- [2] Chen, Z., Li, L., Wang, B., Fan, J., Lu, T., & Lv, K., (2024). The Impact of Global Warming on ENSO from the perspective of objective signals. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.107176>
- [3] 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), 421-427. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.09.155>
- [4] Yusuf, N., Almomani, F., & Qiblawey, H. (2023). Catalytic CO₂ conversion to C1 value-added products: Review on latest catalytic and process developments. *Volume 345*. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128178>
- [5] D.A. Torelli, S.A. Francis, J.C. Crompton, A. Javier, J.R. Thompson, B.S. Brunshwig, M.P. Soriaga, & N.S. Lewis (2016), Nickel-Gallium-Catalyzed Electrochemical Reduction of CO₂ to Highly Reduced Products at Low Overpotentials, *ACS Catal.* 6. 2100-2104
- [6] Wang, H., Mo, W., He, X., Fan, X., Ma, F., Liu, S., & Tax, D., (2020). Effect of Ca Promoter on the Structure, Performance, and Carbon Deposition of Ni-Al₂O₃ Catalyst for CO₂-CH₄ Reforming.
- [7] Aghayan, M., Potemkin, D. I., Rubio-Marcos, F., Uskov, S. L., Snytnikov, P. V., & Hussainova, I. (2017). Template-Assisted Wet Combustion Synthesis of Fibrous Nickel-Based Catalyst for Carbon Dioxide Methanation and Methane Steam Reforming. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 9 (50), 43553-43562. <https://doi.org/10.1021/acsami.7b08129>
- [8] Krisnandi, Y. K., Abdullah, L., 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). <https://doi.org/10.1063/5.0007992>

- [9] Chen, J., Shen, Z., Gao, J., & Wang, Q. (2019). CO₂ methanation over Ni/SiO₂-Al₂O₃ catalysts: The effect of Ni content and reaction temperature. *Journal of CO₂ Utilization*, 31, 387-395
- [10] Aditya, Ahmad Reza. (2023). Metanasi CO₂ Menggunakan Katalis Ni/Al₂O₃ Dengan Variasi Temperatur dan Zn Sebagai Promotor. Vol 01. No 02. 120-131. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang.
- [11] Faria, A., Trujillano, R., Rives, V., Miguel, C. V., Rodrigues, A. E., Madeira, L. M. (2023). CO₂ capture and conversion to methane with Ni-substituted hydrotalcite dual function extrudates. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2023.102476>
- [12] Widiarti, N., & Rahayu, E. F. (2016). Sintesis Cao. SrO dan Aplikasinya pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah menjadi Biodiesel. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(1). <https://doi.org/10.24853/jurtek.13.1.1-6>
- [13] Friema, Jihan Syahira Syifa. (2023). Pembentukan Gas Metan dari Karbon Dioksida Menggunakan Katalis Ni/Al₂O₃ dengan Penambahan Mn Sebagai Promotor. Volume VIII, No. 4. Hal 7086-7092. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang.
- [14] Liza, Yurika Dewi Safitri. (2022). Optimasi Proses Metanasi CO₂ Menggunakan Katalis Ni-Fe/Al₂O₃ pada Suhu Rendah. Tugas Akhir. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [15] Putri, Tiara Manda. (2023). Pembuatan Gas Metana Dari Gas Karbon Dioksida Menggunakan Katalis Ni/Al₂O₃ Dengan Promotor Logam Fe. Volume VIII, No.4. Hal 7116-7122. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang.