



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 4 Nomor 5 Tahun 2024 Page 717-727

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

## Optimalisasi Pembuatan Gas Metan Dari CO<sub>2</sub> Menggunakan Katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan Variasi Naoh dan Laju Alir pada Fixed Bed Reactor

Ismy Farhan<sup>1✉</sup>, Ahmad Zikri<sup>2</sup>, Abu Hasan<sup>3</sup>

Politeknik Negeri Sriwijaya

Email: [ismyfrhn@gmail.com](mailto:ismyfrhn@gmail.com)<sup>1✉</sup>

### Abstrak

Emisi CO<sub>2</sub> merupakan salah satu komponen yang mengakibatkan pemanasan global saat ini, diperkirakan tiap tahunnya emisi yang dilepaskan sebesar 18,35 miliar ton CO<sub>2</sub>. Hal ini disebabkan oleh ekonomi dunia yang mulai pulih dari Covid-19 dengan bergantung pada energi batubara. Berdasarkan data IEA, Emisi CO<sub>2</sub> dari pembakaran batubara dari proses industri mencapai hampir 89% dari keseluruhan gas rumah kaca disektor energi pada tahun 2021, sedangkan emisi CO<sub>2</sub> dari pembakaran gas menyebabkan 0,7% saja. Salah satu cara yang dapat digunakan dalam mengurangi CO<sub>2</sub> dilapisan atmosfer bumi yaitu dengan mengkoversikan CO<sub>2</sub> dan memanfaatkannya misalnya hidrogenasi CO<sub>2</sub> menjadi metana. Penelitian mengenai konversi CO<sub>2</sub> menjadi CH<sub>4</sub>, mulai banyak ditemui, dengan berbagai metode, katalis dan variasi lainnya. Tujuan dan penelitian ini adalah membuat reaktor fixed bed reactor untuk Metanasi CO<sub>2</sub>, sedangkan penelitiannya akan digunakan katalis Ni dengan support Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Metode yang akan digunakan adalah in situ. Dalam penelitian ini, digunakan CO<sub>2</sub> sebagai bahan baku dengan katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Konsentrasi NaOH sebanyak 1 M, 2 M, 3 M Laju alir CO<sub>2</sub> akan diatur 0,1 L/min, 0,2 L/min, 0,3 L/min, dan Waktu Tinggal 60 menit. Gas Metana (CH<sub>4</sub>) yang dihasilkan akan di analisa dengan Multi Gas Detector Analyzer.

Kata Kunci: CO<sub>2</sub>, Metana (CH<sub>4</sub>), Metanasi CO<sub>2</sub>, in situ, Fixed Bed Reactor

## Abstract

CO<sub>2</sub> emissions are one of the components that cause global warming today, it is estimated that each year the emissions released are 18.35 billion tons of CO<sub>2</sub>. This is caused by the world economy starting to recover from Covid-19 by relying on coal energy. Based on IEA data, CO<sub>2</sub> emissions from burning coal from industrial processes will reach almost 89% of all greenhouse gases in the energy sector in 2021, while CO<sub>2</sub> emissions from burning gas cause only 0.7%. One method that can be used to reduce CO<sub>2</sub> in the Earth's atmosphere is by converting CO<sub>2</sub> and using it, for example by hydrogenating CO<sub>2</sub> into methane. Research on the conversion of CO<sub>2</sub> to CH<sub>4</sub> is starting to become more common, using various methods, catalysts and other variations. The aim of this research is to make a fixed bed reactor for CO<sub>2</sub> methanation, while the research will use a Ni catalyst with Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) support. The method that will be used is in situ. In this research, CO<sub>2</sub> was used as a raw material with a Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst. The NaOH concentration is 1 M, 2 M, 3 M. The CO<sub>2</sub> flow rate will be set at 0.1 L/min, 0.2 L/min, 0.3 L/min, and the residence time is 60 minutes. The methane gas (CH<sub>4</sub>) produced will be analyzed with a Multi Gas Detector Analyzer.

Keywords: *CO<sub>2</sub>, Methane (CH<sub>4</sub>), CO<sub>2</sub> Methanation, in situ, Fixed Bed Reactor CO<sub>2</sub>, Methane (CH<sub>4</sub>), CO<sub>2</sub> Methanation, in situ, Fixed Bed Reactor*

## PENDAHULUAN

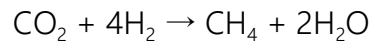
Pemanasan global mempunyai dampak yang signifikan terhadap ekosistem bumi, termasuk perubahan iklim ekstrem, pencairan es yang menyebabkan kenaikan permukaan laut, dan perubahan jumlah dan pola curah hujan. Salah satu penyebab utama pemanasan global adalah emisi gas rumah kaca, khususnya CO<sub>2</sub> (karbon dioksida). Gas rumah kaca yang dominan meliputi uap air, karbondioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), dan sulfur oksida (SO<sub>x</sub>). Sektor energi adalah penyumbang emisi GRK terbesar, yaitu sebesar 175,62 juta ton CO<sub>2</sub> (Anik, 2021).

Peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) di atmosfer menjadi isu lingkungan yang sangat penting saat ini. Amerika Serikat tercatat sebagai penyumbang terbesar emisi CO<sub>2</sub>, mencapai 21,9% dari total emisi CO<sub>2</sub> dunia pada tahun 2004, diikuti oleh China (17,4%) dan India (4,1%). Sementara itu, Indonesia hanya menyumbang sekitar 1,2% dari total emisi CO<sub>2</sub> dunia (Erika, 2023). Tingginya konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer ini membutuhkan metode yang efektif untuk mengurangi dan mendaur ulang sumber karbon ini.

Beberapa upaya telah dilakukan oleh peneliti untuk memanfaatkan CO<sub>2</sub>, di antaranya penggunaan gas CO<sub>2</sub> untuk produksi metanol (Sutardi & Budiman, 2020), konversi CO<sub>2</sub> menjadi natrium karbonat dengan NaOH (Farmasi dan Arifin 2016), dan penggunaan CO<sub>2</sub> sebagai sumber asam alternatif dalam proses pengasaman kulit (Studi dkk, 2012). Salah satu

teknologi yang menjanjikan adalah konversi katalitik CO<sub>2</sub> menjadi metana (CH<sub>4</sub>), yang merupakan salah satu sumber energi terbarukan.

Reaksi hidrogenasi katalitik CO<sub>2</sub> menggunakan hidrogen (H<sub>2</sub>) merupakan salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk menghasilkan gas metana. Reaksi ini dapat ditulis secara sederhana sebagai:



Katalis berbasis nikel (Ni) telah banyak digunakan dalam reaksi konversi CO<sub>2</sub> menjadi CH<sub>4</sub> karena memiliki aktivitas katalitik yang baik dan selektivitas yang tinggi. Katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> merupakan salah satu katalis yang sering digunakan dalam reaksi ini karena ketersediaan yang luas, harga yang relatif terjangkau, dan sifat katalitiknya yang baik.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengoptimalkan proses konversi CO<sub>2</sub> menjadi metana menggunakan katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Jiang dkk (2018) melakukan penelitian dengan metode in situ, meneliti konversi CO<sub>2</sub> menjadi metana dalam air menggunakan katalis nanopartikel Ni yang disintesis in situ, yang berhasil mengembangkan produksi hidrogenasi dari air dan CO<sub>2</sub> menjadi metana, dengan konversi metana mencapai 98% pada suhu 300°C. Krisnandi dkk (2020) menggunakan metode sintesis hidrotermal dengan nanopartikel nikel/oksida sebagai katalis dalam proses metanasi, mendapatkan hasil tertinggi sebesar 18,35% pada suhu 673 K. Chein dkk (2020) meneliti metanasi CO<sub>2</sub> dengan katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada suhu optimum 400°C, dengan konversi CO<sub>2</sub> sekitar 3%.

Meskipun penelitian-penelitian tersebut telah menunjukkan potensi penggunaan katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam konversi CO<sub>2</sub> menjadi metana, hasil yang diperoleh masih belum optimal. Proses konversi CO<sub>2</sub> masih memerlukan waktu yang lama, hasil metana yang dihasilkan masih sedikit, dan suhu operasi yang digunakan masih terlalu tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini akan menggunakan katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> secara in situ dengan memvariasikan laju alir CO<sub>2</sub> terhadap laju alir NaOH dan rasio bahan baku yang digunakan dalam *fixed bed reactor* untuk meningkatkan hasil produksi metana.

## METODE PENELITIAN

### 1. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan: gelas kimia, spatula, labu takar, kaca arloji, pengaduk kaca, timbangan kimia, pipet penetes, corong kaca, pengatur CO<sub>2</sub>, tabung CO<sub>2</sub>, sumbat karet, tabung PVC transparan, tabung produk 2 liter, Tabung berinsulasi, kabel TIS, FTB - reaktor (tipe reaktor fixed bed).

Bahan yang digunakan pada penelitian ini : Karbon Dioksida, Natrium Hidroksida, Aquadest, Katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

## 2. Instrumen

Penelitian ini menggunakan alat plug flow reactor tipe fixed bed reactor, dengan memperhatikan variasi temperatur operasi terhadap proses metanasi CO<sub>2</sub>. adapun parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

### Parameter Tetap

- a. Jenis katalis : Katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- b. Waktu Operasi : 30 menit
- c. Jumlah Katalis : 5 gram
- d. Tekanan Operasi : 5 bar
- e. Jumlah NaOH : 60 gram

### Parameter Bebas (Variabel)

- a. Laju alir Gas CO<sub>2</sub> : 0,1 L/min, 0,2 L/min, 0,3 L/min
- b. NaOH : 1 M, 2 M, 3 M

## 3. Prosedur Kerja

Pertama, semua alat dan bahan yang akan digunakan dalam proses metanasi disiapkan, kemudian alat-alat tersebut disambungkan ke power supply. Pastikan semua katup mengarah ke aliran yang diinginkan dan periksa agar semua selang serta katup yang terhubung tidak longgar. Setelah memastikan semua peralatan siap, katalis Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam reaktor, lalu selang CO<sub>2</sub> dihubungkan ke reaktor. Sekring dinaikkan hingga lampu indikator menyala dan tombol power ditekan. Percobaan dilakukan dengan variasi temperatur operasi. Gas CH<sub>4</sub> yang dihasilkan didistribusikan ke urine bag untuk dianalisis.

Produk gas yang dihasilkan dianalisis menggunakan Multi Gas Detector Analyzer, yang mengubah sampel gas menjadi fasa uap dan mengalirkannya melalui kolom kapiler dengan bantuan gas pembawa, memberikan hasil analisa dalam persentase volume (% volume).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil Analisis Gas Metan, Karbon Dioksida, dan Hidrogen

No	Kode Sampel	Konsentrasi Larutan NaOH (M)	Laju Alir CO <sub>2</sub> (L/min)	Metode Uji	Hasil Pemeriksaan (% Vol)		
					CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> (ppm)
1	1	1			6621	4.1	210
2	2	2	0.01		6370	5.3	314
3	3	3			5913	6	571
4	4	1		Multi Gas	5913	5.8	419
5	5	2	0.02	Detector	5002	7.11	631
6	6	3		Analyzer	7437	9	783
7	7	1			7110	8.1	693
8	8	2	0.03		6920	10	830
9	9	3			6518	11.2	911

Sumber: Multi Gas Detector Analyzer Laboratorium Teknik Kimia POLSRI, 2024)

Tabel 2. Hasil Konversi CO<sub>2</sub>

No	Konsentrasi NaOH (M)	Laju Alir CO <sub>2</sub> (L/min)	CO <sub>2</sub> out (%)	Konversi CO <sub>2</sub> (%)
1	1		0.6621	33.79
	2	0.01	0.637	36.30
	3		0.5913	40.87
2	1		0.7437	25.63
	2	0.02	0.5913	40.87
	3		0.5002	49.98
3	1		0.711	28.9
	2	0.03	0.692	30.8
	3		0.6518	34.82

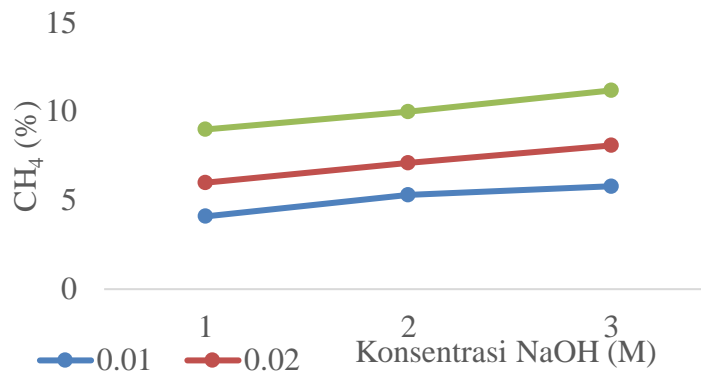
Tabel 3. Hasil Analisis Sample

Nama Sample	Metode Uji	Hasil Analisa	
		CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)
<i>Gas CO<sub>2</sub></i>	<i>Multi Gas detector analyzer</i>	<i>0</i>	<i>98,7</i>

Sumber: Multi Gas Detector Analyzer Laboratorium Teknik Kimia POLSRI, 2024)

### A. Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Laju alir CO<sub>2</sub> terhadap Gas Metana (CH<sub>4</sub>)

Konsentrasi NaOH digunakan untuk menyerap kadar gas CO<sub>2</sub>. Ketika CO<sub>2</sub> dialirkan ke dalam reaktor secara kontinu bereaksi dengan larutan NaOH menghasilkan Gas Metana (Ardhiyany.S.,2018). Berikut merupakan gambar grafik dari hasil analisa Gas Metana (CH<sub>4</sub>):

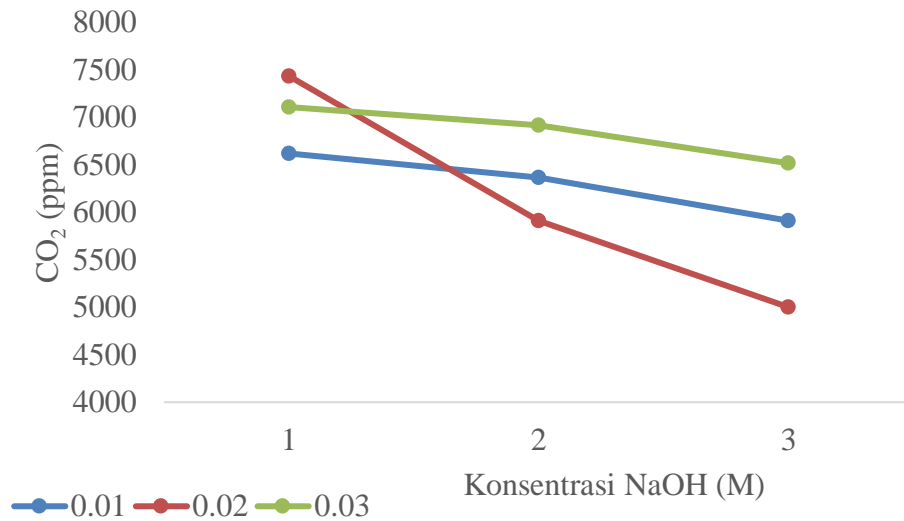


Gambar 1. Pengaruh Variasi Konsentrasi NaOH terhadap Produksi Gas Metana

Berdasarkan data yang tersedia pada Gambar 1 terlihat bahwa terdapat peningkatan terhadap gas CH<sub>4</sub> yang dihasilkan dari proses metanasi, dengan bertambahnya konsentrasi NaOH yang digunakan menyebabkan CH<sub>4</sub> bertambah. Gambar tersebut menunjukkan bahwa gas metana terbanyak dihasilkan pada konsentrasi 3 M dan pada laju alir 0,01 L/m dengan suhu 300°C dan katalis sebanyak 7gr. Semakin banyak jumlah konsentrasi dan laju alir CO<sub>2</sub> kecil yang digunakan, maka gas metana yang dihasilkan semakin banyak. Semakin kecil jumlah konsentrasi NaOH dan laju alir semakin besar maka gas metana yang dihasilkan sedikit. Hal ini disebabkan karena laju Untuk jumlah molekul yang sama, kontak antara NaOH dan CO<sub>2</sub> akan lebih sedikit. Kecepatan kontak yang lebih pendek menghasilkan perpindahan massa yang lebih sedikit dan CO<sub>2</sub> yang diserap lebih sedikit, dan sebaliknya (Maarif, F., & J Arif F, J., 2009).

### B. Pengaruh Konsentrasi NaOH terhadap Gas CO<sub>2</sub> Sisa

Gas Karbondioksida sisa adalah gas CO<sub>2</sub> yang tidak ikut bereaksi pada proses metanasi secara sirkulasi sehingga gas CO<sub>2</sub> tersebut keluar dari reaktor. Berikut merupakan gambar grafik dari %CO<sub>2</sub> sisa yang tidak beraksi dalam pembentukan gas metana :

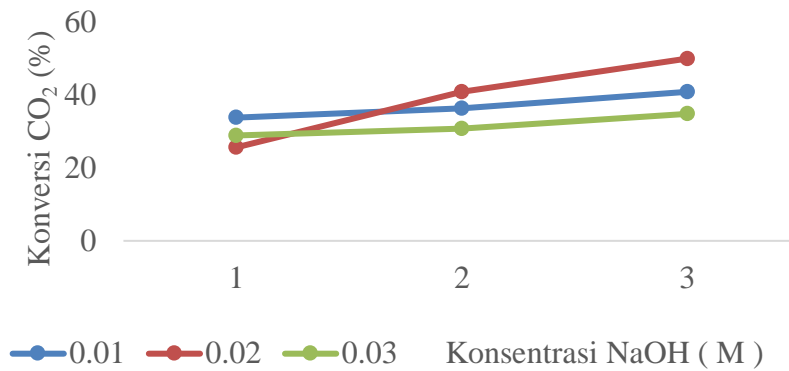


Gambar 2. Pengaruh Variasi Konsentrasi NaOH terhadap Sisa Gas CO<sub>2</sub>

Berdasarkan Gambar 2 yang diambil dari tabel 2 terlihat bahwa terjadi penurunan gas %CO<sub>2</sub> sisa berbanding terbalik dengan penambahan konsentrasi pada pembuatan gas metana. Gambar tersebut menunjukkan bahwa gas CO<sub>2</sub> yang keluar tertinggi pada konsentrasi 1M dengan laju alir 0,02 L/m yakni sebanyak 7437 ppm dengan suhu 300 dan katalis sebanyak 7gr. Semakin besar konsentrasi NaOH yang digunakan, maka gas CO<sub>2</sub> sisa semakin kecil. Tabel 1 juga Menunjukkan banyaknya gas CO<sub>2</sub> yang tidak bereaksi dengan H<sub>2</sub>. Hal ini didasarkan pada karya Zhong dkk.2019, bahwa penurunan hasil CO<sub>2</sub> pada waktu reaksi yang lebih lama dikarenakan CO<sub>2</sub> akan direduksi menjadi CH<sub>4</sub> karena katalis nanopartikel Ni sangat aktif dalam mereduksi CO<sub>2</sub> menjadi metana dalam sistem reaksinya. Prasetya dkk, (2016) juga menyatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi NaOH dalam larutan, maka semakin tinggi pula kandungan CH<sub>4</sub> karena semakin banyak CO<sub>2</sub> yang berikatan dengan larutan NaOH. Pada penelitian yang telah dilakukan bahwa gas CO<sub>2</sub> sisa semakin menurun dan laju alir meningkat artinya CO<sub>2</sub> yang bereaksi juga ikut meningkat.

### C. Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Hasil Konversi CO<sub>2</sub>

Konsentrasi NaOH dapat Kandungan CO<sub>2</sub> murni berkurang dan ketika CO<sub>2</sub> murni bersentuhan langsung dengan larutan NaOH, maka kandungan CO<sub>2</sub> murni berkurang dan dihasilkan gas metana (CH<sub>4</sub>) (Purba.E dan Barutu.C.N.R., 2021). Di bawah ini adalah gambar grafis hasil konversi konsentrasi NaOH dibandingkan dengan CO<sub>2</sub>:



Gambar 3. Pengaruh Variasi Konsentrasi NaOH terhadap Hasil Konversi CO<sub>2</sub>

Dari Gambar 3 tergambar bahwa Nilai konversi CO<sub>2</sub> yang bereaksi dengan NaOH meningkat. Semakin tinggi konsentrasi NaOH maka semakin banyak CO<sub>2</sub> yang dihasilkan. Menurut Vas Bhat dkk (2000), pembentukan bikarbonat bereaksi dengan OH<sup>-</sup> membentuk CO<sub>2</sub>. Semakin tinggi konsentrasi NaOH maka semakin banyak CO<sub>2</sub> yang diserap. Hal ini disebabkan karena semakin banyak molekul NaOH yang bersentuhan dengan gas CO<sub>2</sub>. Pada titik tertentu, jumlah CO<sub>2</sub> yang diserap mencapai nilai tertentu. Untuk mencapai serapan CO<sub>2</sub> yang tertinggi, terdapat batas konsentrasi tertentu dimana serapan CO<sub>2</sub> tidak berubah seiring bertambahnya waktu tinggal (Kartohardjono dkk., 2011).

#### SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Metana yang dihasilkan dari CO<sub>2</sub> dengan alat fixed bed reactor tergolong sedikit yaitu pada angka 4,11 %Vol hingga 11,2 %Vol karena dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis katalis, %kemurnian CO<sub>2</sub>, suhu, konsentrasi dan laju alir CO<sub>2</sub>.
2. Konsentrasi NaOH dan laju alir gas karbondioksida terbaik yang digunakan pada berbagai variasi konsentrasi NaOH yaitu 3M, dengan penambahan konsentrasi NaOH dengan hasil analisa tertinggi yaitu 11,2 %Vol dan laju alir 0,01 L/m.
3. Semakin besar konsentrasi NaOH dan semakin rendah laju alir proses produksi yang digunakan, maka semakin banyak CH<sub>4</sub> yang dihasilkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aghayan, M., D. I. Potemkin, F. Rubio-Marcos, S. I. Uskov, P. V. Snytnikov, and I. Hussainova. 2017. "Template-Assisted Wet-Combustion Synthesis of Fibrous Nickel-Based Catalyst for Carbon Dioxide Methanation and Methane Steam Reforming." *ACS Applied Materials & Interfaces* 9(50):43553–62. doi: 10.1021/acsami.7b08129.
- Agung, Muhammad, Emmanuel Ariananto, and Waluyo Adi. 2022. "Peningkatan Investasi Dan Hilirisasi Nikel Di Indonesia." 6(2):4009–20.
- Aliev, Firdavs, Oybek Mirzaev, Temurali Kholmurodov, Olga Slavkina, and Alexey Vakhin. 2022. "Utilization of Carbon Dioxide via Catalytic Hydrogenation Processes during Steam-Based Enhanced Oil Recovery." 1–13.
- Ardhiany, S. (2018). P 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), 55-64.
- Andrigo, P., Bagatin, R., Pagani, G., et al. (1999) Fixed Bed Reactor. *Catalyst Today*, 52, 197-221.
- Catalano, S, et al 2012. "Encyclopedia of Chemical Engineering: Reactors Semi-Batch" : London
- Chein, R. Y., & Wang, C. C. (2020). 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*, 10(10),1112.
- Dewi Yuanita Lestari. (2012). Pemilihan Katalis Yang Ideal. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta
- Erika Kurnia, Aufrida Wismi Warastri. 2023. Emisi Energi Fosil dan Deforestasi Indonesia 10 Besar Terburuk di Dunia: Kompas
- Fan, W. K., dan Tahir, M. (2021). Recent Trends in Developments of Active Metals and Heterogenous Materials for Catalytic CO<sub>2</sub> Hydrogenation to Renewable Methane: a Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105460
- Farmasi, Jurnal Sains, and Helmi Arifin. 2016. "Kajian Penggunaan Antibiotik Pada Pasien Sepsis Dengan Gangguan Ginjal." 2(May):129–37.
- Frontera, Patrizia, Anastasia Macario, Marco Ferraro, and Pierluigi Antonucci. 2017. "Supported Catalysts for CO<sub>2</sub> Methanation: A Review." (1):1–28. doi: 10.3390/catal7020059.
- Guo, Xinpeng, Atsadang Traitangwong, Mingxiang Hu, Cuncun Zuo, Vissanu Meeyoo, Zhijian Peng, and Chunshan Li. 2018. "Carbon Dioxide Methanation over Nickel-

- Based Catalysts Supported on Various Mesoporous Material." *Energy & Fuels* 32(3):3681–89. doi: 10.1021/acs.energyfuels.7b03826.
- Hartig, F; Keil, F J. (1993). Large-scale spherical fixed bed reactors: Modeling and optimization; OSTI.GOV
- Hermawan, Prasetyo. n.d. "Studi Pemanfaatan Gas CO<sub>2</sub> ( Karbon Dioksida ) Sebagai Sumber Asam Alternatif Untuk Pikling Pada Pengolahan Kulit KAMBING Yogyakarta , Program Studi Teknologi Pengolahan Kulit Jl . Prof." 20(2021):148–60.
- Jiang, Yuexiu, Tongxia Huang, Lihui Dong, Tongming Su, Bin Li, Xuan Luo, Xinling Xie, Zuzeng Qin, Cuixia Xu, and Hongbing Ji. 2018. "Mn Modified Ni/Bentonite for CO<sub>2</sub> Methanation." doi: 10.3390/catal8120646.
- Kartohardjono, S., Anggara, Subihi, dan Yuliusman. 2011. *Absorpsi CO<sub>2</sub> Dari Campurannya dengan CH<sub>4</sub> Atau N<sub>2</sub> Melalui Kontaktor Membran Serat Berongga Menggunakan Pelarut Air*. Jakarta : Universitas Indonesia.
- 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 CO<sub>2</sub> methanation. *AIP Conference Proceedings*.2242(June).
- Maarif, F., & J Arif F, J. (2009). Absorpsi Gas Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dalam Biogas dengan Larutan NaOH secara Kontinyu.
- 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.
- Muroyama, H., Tsuda, Y., Asakoshi, T., Masitah, H., Okanishi, T., Matsui. T., & Eguchi, K. (2016). Carbon dioxide methanation over Ni catalysts supported on various metal oxides. *Journal of Catalysis*, 343, 178—184.
- Paramesti, Cahyarani, Wega Trisunaryanti, Sri Sudiono, Triyono Triyono, Savitri Larasati, Nugroho Raka Santoso, and Dyah Ayu Fatmawati. 2021. "The Influence of Metal Loading Amount on Ni/Mesoporous Silica Extracted from Lapindo Mud Templated by Ctab for Conversion of Waste Cooking Oil into Biofuel." *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis* 16(1):22–30. doi: 10.9767/BCREC.16.1.9442.22-30.
- Perry, G. (2008). *Perry's Chemical Engineers ' Handbook*, 8th edition. United States: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Purba, E., & Barutu, C. N. R. (2021). The CO<sub>2</sub> Gas Absorption in Biogas Using Absorber Bubble Column with Variation of NaOH Absorbent Concentration and Sparger Forms. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 10(1), 68-74.

Sabatier, P. (1902). Senderens, J.B. New synthesis of methane. *J. Chem. Soc.* 82, 333.

Studi, Program, Ilmu Lingkungan, Program Pasca Sarjana, and Kekhususan Proteksi Lingkungan. 2012. "UNIVERSITAS INDONESIA PEMANFAATAN LIMBAH CO<sub>2</sub> DENGAN PENDEKATAN PRODUKSI BERSIH ( Kajian Pemanfaatan Oleh PT . Krakatau Steel Dan PT . Resources Jaya Management Indonesia Krakatau Karbonindo , Cilegon Banten )."

Sutardi, T., & Budiman, A. H. (2020). Potensi Pemanfaatan CO<sub>2</sub> Dan Hidrogen Sebagai Bahan Bakar Alternatif Di Indonesia. *Jurnal Energidan Lingkungan (Enerlink)*, 16(1), 31-38.

Türks, D., Mena, H., Armbruster, U., & Martin, A. (2017). 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*, 7(5), 152.

Van Bhat, R. D., Kuipers, J. A. M., Versteeg, G. F., 2000, Mass Transfer with complex chemical reactions in gas-liquid system: two-step reversible reactions with unit stoichiometric and kinetic orders, *Chemical Engineering Journal*, Vol 76, jilid 2, p: 127-152

Wijaya, Ratno, and Sotya Astutiningsih. 2021. "Studi Literatur Potensi Pemanfaatan Terak Nikel ( Slag Nikel ) Sebagai Agregat Pada Mortar Dan Beton." 9(85):93– 100.