



ISSN: 2617-6548

URL: www.ijirss.com



Effect of CO₂ Partial Pressure on Dry Reforming of Ethanol for Hydrogen Production

Fahim Fayaz^{1,2,*}, Ahmad Ziad Sulaiman¹, Sharanjit Singh¹, Sweeta Akbari¹

¹Faculty of Chemical & Natural Resources Engineering Universiti Malaysia Pahang Lebuhraya Tun Razak, 26300 Gambang, Kuantan, Pahang, Malaysia

²Faculty of Chemical Engineering Technology, Jawzjan University, Jawzjan, Afghanistan

*Corresponding author: Fahim Fayaz (fahimfayaz10@yahoo.com)

Abstract

The effect of CO₂ partial pressure on ethanol dry reforming was evaluated over 5%Ce-10%Co/Al₂O₃ catalyst at $P_{CO_2} = 20-50$ kPa, $P_{C_2H_5OH} = 20$ kPa, reaction temperature of 973 K under atmospheric pressure. The catalyst was prepared by using impregnation method and tested in a fixed-bed reactor. X-ray diffraction measurements studied the formation of Co₃O₄, spinel CoAl₂O₄ and CeO₂, phases on surface of 5%Ce-10%Co/Al₂O₃ catalyst. CeO₂, CoO and Co₃O₄ oxides were obtained during temperature-programmed calcination. Ce-promoted 10%Co/Al₂O₃ catalyst possessed high BET surface area of 137.35 m² g⁻¹. C₂H₅OH and CO₂ conversions was improved with increasing CO₂ partial pressure from 20-50 kPa whilst the optimal selectivity of H₂ and CO was achieved at 50 kPa.

Keywords: Ethanol dry reforming, Hydrogen, Ce promoter, Co-based catalyst.

DOI: 10.53894/ijirss.v1i1.3

Funding: This study received no specific financial support.

History: Received: 10 February 2018/Revised: 26 February 2018/Accepted: 7 March 2018/Published: 20 September 2018

Licensed: This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Acknowledgement: All authors contributed to the conception and design of the study.

Competing Interests: The authors declare that they have no conflict of interests.

Transparency: The authors confirm that the manuscript is an honest, accurate, and transparent account of the study was reported; that no vital features of the study have been omitted; and that any discrepancies from the study as planned have been explained.

Ethical: This study follows all ethical practices during writing.

تاثیر فشار جزئی گاز کاربن دای اکساید بالای ریفرمینگ ایتانول بطریقه خشک برای تولید هایدروجن

*2-افهم فیاض، احمد ضیاد سلیمان، اشرنجیت سینگ، اسویتا اکبری

1 فاکولته انجینری کیمیاوی و منابع طبیعی، پوهنتون پهنګ مالیزیا، 26300 گمینگ، پهنګ، مالیزیا
2 فاکولته انجینری تکنالوژی کیمیاوی، پوهنتون جوزجان، جوزجان، افغانستان

خلاصه

تاثیر فشار جزئی کاربن دای اکساید در ریفرمینگ ایتانول به طریق خشک بالای کاتلیست $5\% \text{Ce}-10\% \text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ در فشار های گاز کاربن دای اکساید از 20 الی 50 کیلو پاسکال، فشار ایتانول 20 کیلو پاسکال، حرارت 973 درجه کلون و تحت فشار اتمسفری ارزیابی گردیده است. کاتلیست بطریقه اشباع سازی مرطوب آماده گردیده و در دستگاه با بستر ثابت امتحان شده است. فاز های اکساید کوبالت Co_3O_4 ، اسپینل اکساید CoAl_2O_4 و اکساید سیریم CeO_2 با استفاده از آنالیز XRD در سطح کاتلیست تشکیل شده است. اکساید های سیریم و کوبالت در جریان پروگرام حرارتی کلسینه شدن بدست آمده است. کاتلیست $5\% \text{Ce}-10\% \text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ دارای مساحت سطح بلند $137.35 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ میباشد. ایتانول و کاربن دای اکساید تبدیل شده با افزایش فشار جزئی گاز کاربن دای اکساید از 20 الی 50 کیلو پاسکال، افزایش نموده درحالیکه مقدار مطلوب محصول هایدروجن و کاربن مونواکساید در فشار 50 کیلو پاسکال بدست آمده است.

کلمات کلیدی: ریفرمینگ ایتانول بطریقه خشک، هایدروجن، علاوه گی سیریم، کاتلیست به اساس کوبالت

1. مقدمه

با افزایش جمعیت جهان، تقاضای روز افزون انرژی و دریافت منابع انرژی پاک و سازگار بامحیط زیست ضرورت احساس میشود. درحال حاضر، سوخت های فسیلی بیشتر از 80% انرژی امروزی جهان را تشکیل میدهد. این سوخت ها مشکلات جدی محیطی را از قبیل گازات گلخانه ی و تغییرات اقلیمی ببار آورده است [1, 2]. بر علاوه، مشکلات بوجود آمده با استفاده از آلوده گی های محیطی یکی از چالش های مهم برای نسل آینده میباشد. کشور های توسعه یافته در زمینه پروسس سوخت نفتی و سوخت های گاز برای تولید برق توسط سلول های سوخت سرمایه گذاری کردند [3]. گاز تولید شده مخلوط از هایدروجن و کاربن مونواکساید بوده، میتواند توسط ریفرمینگ مرطوب و ریفرمینگ خشک به عنوان یک روش امید بخش برای تولید سوخت سنتزی یا یک حامل انرژی پاک بدست آید. در چند دهه گذشته، تعدادی زیادی از مقالات تحقیقی درباره ریفرمینگ میتان بطریقه خشک به نشر رسیده است. در این روش گازات گلخانه ی مانند میتان و کاربن دای اکساید بحیث موادخام برای تولید گاز سنتز شده استفاده شده است [4, 5]. هر چند گاز میتان تجدید پذیر نبوده و بخش مهم از گاز طبیعی را تشکیل میدهد [6]. از نقطه نظر محیطی، ایتانول نظریه گاز میتان به دلیل دسترسی آسان، فراوان، کمتر زهری و مواد سوختی تجدید پذیر میباشد [7]. علاوه براین، ایتانول را میتوان از مواد حیاتی تولید کرد، که منابع آن در دسترس بوده و تجدید پذیر هم میباشد، مانند پسمانده های جنگلی و تفاله ها [8]. ریفرمینگ ایتانول بطریقه مرطوب همچنان بیشتر برای تولید گاز سنتز استفاده شده است. هر چند، این روش بیشتر گازات گلخانه ی مانند گاز کاربن دای اکساید تولید کرده و باعث بلند افزایش گازات گلخانه ی میگردد [9]. بنابر این، ریفرمینگ ایتانول به طریق خشک با استفاده از ایتانول، گاز کاربن دای اکساید بحیث مواد خام و کاتلیست $5\% \text{Ce}-10\% \text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ برای تولید گاز سنتز در این تحقیق مطالعه شده است تا بتواند سطح گازات گلخانه ی را در محیط کاهش دهد. هدف از این تحقیق بررسی خواص فیزیکی کاتلیست و تاثیر جزئی کاربن دای اکساید بالای ریفرمینگ به طریق خشک برای تولید هایدروجن با استفاده از کاتلیست یاد شده میباشد.

2. بخش تجربی

مواد و تهیه کاتلیست

گاما المونیم اکساید ($\text{Gamma-Al}_2\text{O}_3$) از شرکت جرمنی با شماره مخصوص (PURALOX SCCa150/200) است، خریداری شده و در موجودیت هوا تحت حرارت 1023 K برای مدت 5 ساعت و با سرعت حرارت 5 K در دقیقه برای اطمینان از ثبات حرارتی در داش قرار داده شده است. کاتلیست $5\% \text{Ce}-10\% \text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ با استفاده از طریق اشباع سازی تهیه گردیده است. مقدار معین هر دو محلول آبی $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ با $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ از شرکت سیگما آلدریچ خریداری شده و با المونیم اکساید برای مدت 3 ساعت در حرارت اطاق بالای مخلوط کن مقناطیسی قرار داده میشود. سپس تحت حرارت 383 K در 24 ساعت خشک نموده دوباره در موجودیت هوا تحت حرارت 773 K برای مدت 3 ساعت در داش قرار میگیرد.

خصوصیت کاتلیست

مساحت سطح مخصوص، حجم منفذ و قطر منفذ کاتلیست در یک دستگاه بنام Thermo Scientific Surfer با BET یاد شده، استفاده از گاز نایتروجن در عملیه فیزیکی تحت حرارت 77 K تعیین گردیده است. ساختار کرستالی از المونیم اکساید و کاتلیست $5\% \text{Ce}-10\% \text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ با استفاده از دستگاه XRD مدل Rigaku Miniflex II system با طول موج ($\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$) در 30 کیلوولت و 15 میلی آمپر در محدوده ($2\theta = 3^\circ - 80^\circ$) درجه با سرعت اسکن 1 درجه در دقیقه و اندازه گام 0.002 درجه مطالعه شد. پروگرام حرارتی کلسینه شدن (Temperature-programmed calcination) بالای کاتلیست غیر کلسینه در دستگاه (TA Instrument) یا بنام (Thermal gravimetric analysis (TGA) با مدل TGA Q500 انجام شده است. برای از بین بردن تمامی رطوبت و ترکیبات قابل فرار، ابتدا نمونه تحت حرارت ابتدایی 373 K با سرعت حرارت بین 10 الی 20 در موجودیت مخلوط هوا که با نسبت $4\text{N}_2:1\text{O}_2$ با جریان 100 ملی لیتر فی دقیقه برای 30 دقیقه قرار داده شده و سپس تحت حرارت اطاق در همان نسبت گازات سرد میگردد.

ارزیابی کاتلیست

عملیه فعالیت های کاتلیستی در یک دستگاه بنام کوارتز با بستر ثابت با طول 17 اینچ و قطر خارجی 3/8 اینچ به شکل عمودی بالای داش قرار داشته و با تغییر فشار جزئی گاز کاربن دای اکساید (20-50 kPa) و فشار ایتانول در 20 kPa با حرارت 973 K زیر فشار اتمسفری تعاملات صورت میگیرد. تقریباً 0.1

گرام کتلست با اندازه ذرات متوسط 125-160 میکرومتر بالای پشم کوارتز که در قسمت مرکز دستگاه کوارتز قرار دارد، گذاشته میشود. جریان دخیلی برحسب سرعت فضای گاز در ساعت مساوی به 42 لیتر گرام کتلست در ساعت بوده و در هر عملیه بخاطر کاهش دادن مقاومت داخلی و خارجی استفاده صورت می گیرد. ایتانول با استفاده از سرنج پمپ با مدل (KellyMed KL-602) در دستگاه کوارتز پمپ می گردد. همچنان جریان گازات کاربن دای اکساید و نایتروجن از طریق جریان سنج کنترولی که با مدل Alicat است، داخل دستگاه کوارتز می گردد. مجموع حجم جریان گازات و ایتانول در دستگاه 70 میلی لیتر در دقیقه است. محصول بدست آمده از دستگاه برای آنالیز در دستگاه کروماتوگراف گازی با مدل (GC 6890) ارسال گردیده و این دستگاه مجهز با استفاده از تعیین کننده هدایت حرارتی که بنام Thermal conductivity detector (TCD) و تعیین کننده آیونایزیشن شعله ی بنام (Flame ionization detector (FID) است، مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد.

1. نتایج و بحث

آنالیز BET

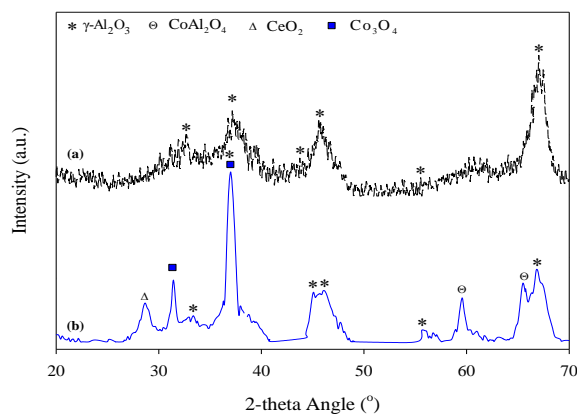
خواص فیزیکی المونیم اکساید و کتلست $5\% \text{Ce}-10\% \text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ که در عملیه فیزیکی اندازه گیری شده، خلاصه آن در جدول 1 نشان داده شده است. مساحت سطح کتلست $5\% \text{Ce}-10\% \text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ مساوی به $137.35 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ بوده و کمتر از مساحت سطح المونیم اکساید $175.29 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ میباشد. بعد از عملیه اشباع سازی و کلسینه شدن، کاهش در مساحت سطح، حجم متوسط منفذ از $0.46 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ به $0.37 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ و هم چنان قطر متوسط منفذ از 92.96 \AA به 82.8 \AA میرسد و این دلیل به اثر اشتراک فلز فعال بر روی سطح کتلست بوده و در نتیجه باعث بندش منفذ های المونیم اکساید در موجودیت فاز های اکسایدی کوبالت و سیریم صورت می گیرد.

جدول 1. خواص فیزیکی المونیم اکساید و کتلست $5\% \text{Ce}-10\% \text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$.

نمونه	مساحت سطح ($\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$)	حجم متوسط منفذ ($\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$)	قطر متوسط منفذ (\AA)
Al_2O_3	175.29	0.46	92.96
$5\% \text{Ce}-10\% \text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$	137.35	0.37	82.8

آنالیز XRD

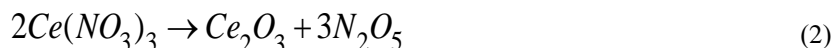
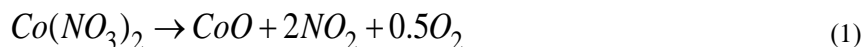
الگوهای XRD بالای گاما اکساید المونیم و کتلست در شکل 1 نشان داده شده است. تشکیل فاز المونیم اکساید در 2θ های 32.73° ، 36.79° ، 44.20° ، 45.62° ، 55.40° و 67.06° درجه صورت گرفته هم چنان در عین زمان این ارقام بالای کتلست نیز ظاهر گردیده است. بر علاوه، پیک (نقطه اوج) بالای سطح کتلست در 2θ های 31.15° و 36.97° درجه ظاهر شده مربوط به بلور اکساید کوبالت (Co_3O_4) بوده در حالیکه در 2θ های 56.38° و 65.33° درجه مربوط به فاز اسپینل اکساید (CoAl_2O_4) میباشد. پیک که مربوط به سیریم اکساید (CeO_2) میباشد در 2θ مساوی به 28.50° درجه بالای کتلست نیز تشکیل شده است. این نتایج با یافته های دیگر محققان مطابقت دارد [10].



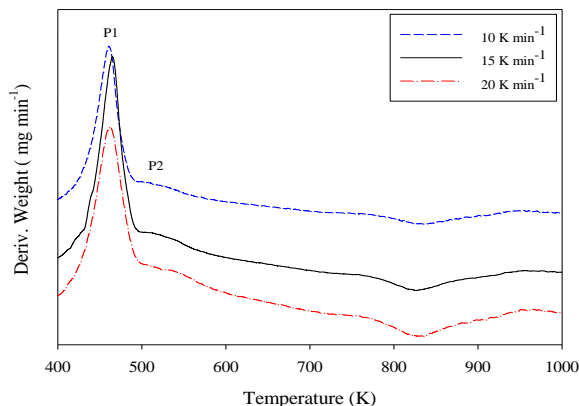
شکل 1. الگوهای XRD (a) گاما اکساید المونیم و (b) کتلست $5\% \text{Ce}-10\% \text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$.

آنالیز TGA

این روش برای بررسی و کشف نحوه رفتار یک ماده در مقابل حرارت میباشد. وزن مشتق شده از کتلست $5\% \text{Ce}-10\% \text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ در پروگرام حرارتی کلسینه شدن در شکل 2 نشان داده شده است. پیک شمار یک (P1) در حرارت پایین بین 420 الی 495 کلونین با شدت (intensity) بالا که در اثر تجزیه فلز نایتريت به فلز اکساید در تعاملات (1) و (2) بترتیب ذیل میباشد.



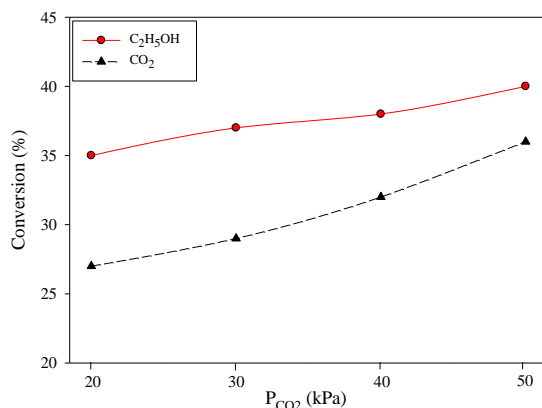
در جریان کلسینه شدن، پیک دوم (P2) در حرارت بالای بین 500-550 K برای تولید Co_3O_4 از اکسیدیشن CoO معادله شماره (3) و هم چنان علاوه گی از حالت Ce^{+3} به Ce^{+4} تبدیل شده به معادله شماره (4) نشان داده شده است. علاوه بر این، در سطح کتلست بنابر تکمیل شدن عملیه تجزیه فلز ناپیتریت به فلز اکسایدی بعد از 550 K کدام پیک در هر سه سرعت حرارتی ظاهر نگردیده است. این نتیجه نیز با نتایج تحقیقی مهدی و همکاران شان مطابقت دارد [11].



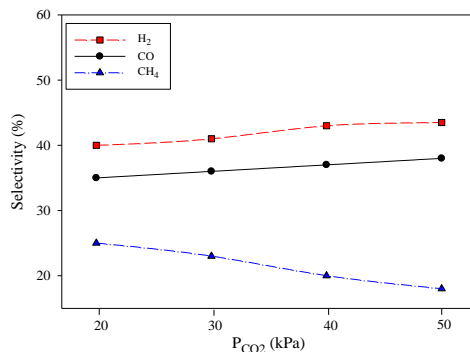
شکل 2. وزن مشتق شده در پروگرام حرارتی کلسینه شدن کتلست 5%Ce-10%Co/Al₂O₃ با سرعت حرارت 10، 15 و 20 کلون در دقیقه.

تأثیر فشار جزئی گاز کاربن دای اکساید

تأثیر فشار جزئی گاز کاربن دای اکساید بالای ریفرورمینگ ایتانول به طریقه خشک تحت حرارت 973 K با تغییر فشار جزئی از 20 الی 50 kPa و ایتانول در حالت ثابت مساوی به 20 kPa نگهداشته میشود. تبدیل شدن ایتانول و کاربن دای اکساید از کتلست 5%Ce-10%Co/Al₂O₃ در شکل 3 نشان داده شده است. تبدیل شدن ایتانول و کاربن دای اکساید با افزایش فشار جزئی کاربن دای اکساید، بین 35.13% و 43.96% و 26.64% و 35.13% بترتیب افزایش یافته است. این نتیجه به دلیل موجودیت فشار جزئی کاربن دای اکساید اضافی در مواد تعامل کننده که باعث افزایش تعاملات دومی مانند ریفرورمینگ میتان گردیده و بعداً تبدیل به گاز سنتنیز می گردد [12]. جانکا و همکاران شان دریافتند تبدیل شدن ایتانول و کاربن دای اکساید در ریفرورمینگ ایتانول به طریقه خشک در نسبت های بالا بدست می آید [13]. علاوه بر این خواص سیریم که ظرفیت سازی بالای اکسیجن را در کتلست دارد، باعث افزایش فعالیت های کتلستی در عملیه می گردد [14]. تأثیر فشار جزئی کاربن دای اکساید برای بدست آوردن محصول هایدروجن، کاربن مونواکساید و میتان در شکل 4 نشان داده شده است. محصول هایدروجن و کاربن مونواکساید بطور خطی با افزایش فشار جزئی گاز کاربن دای اکساید، بترتیب از 18.03% به 26.64% و 13.93% به 20.24% افزایش یافته در حالیکه محصول میتان با افزایش فشار جزئی کاربن دای اکساید از 25% به 18% کاهش یافته است. این نتیجه به دلیل تعامل میتان با کاربن دای اکساید از طریق ریفرورمینگ میتان صورت می گیرد. بر علاوه میتان و کاربن مونواکساید در اثر تعامل میتان گاز سنتنیز را تولید نموده و باعث افزایش محصول گازات هایدروجن و کاربن مونواکساید می شود [15].



شکل 3. تأثیر فشار جزئی کاربن دای اکساید بالای تبدیلی ایتانول و کاربن دای اکساید در کتلست 5%Ce-10%Co/Al₂O₃ تحت فشار جزئی ایتانول 20 kPa و حرارت 973 K.



شکل 4. تاثیر فشار جزئی کاربن دای اکساید بالای محصول هایدروجن، کاربن مونوآکساید و میتان تحت فشار جزئی ایتانول 20 kPa و حرارت 973 K.

نتیجه گیری

کتلیست 5% Ce-10% Co/Al₂O₃ به طریقه اشباع سازی تهیه شده و در دستگاه کوارتز با بستر ثابت تحت فشار جزئی کاربن دای اکساید (20-50 kPa)، فشار ایتانول (20 kPa)، و حرارت 973 K ارزیابی گردیده است. اکساید المونیم و کتلیست 5% Ce-10% Co/Al₂O₃ با داشتن مساحت سطح بترتیب 175.29 m² g⁻¹ و 137.35 m² g⁻¹ میباشد. تشکیل فازهای مانند Co₃O₄، CeO₂، CoAl₂O₄ بروی سطح کتلیست با آنالیز XRD تعیین گردیده است. تجزیه کامل ماده های فلزی به اکساید های فلزی چون CoO و Co₃O₄ در حرارت کمتر از 550 K توسط TGA آنالیز شده است. مقدار تبدیلی مطلوب از ایتانول و کاربن دای اکساید در شرایط فشار جزئی کاربن دای اکساید 50 kPa بدست آمده است. بطور موثر، با افزایش فشار جزئی کاربن دای اکساید از 20 الی 50 kPa، محصول هایدروجن و کاربن مونوآکساید افزایش یافته و برعکس محصول میتان کاهش میابد.

سپاسگزاری

نویسنده گان این مقاله تحقیقی از کمک های مالی پوهنتون پهنگ مالیزیا با بودجه نمبر (RDU130376) فدرالی می کنند. فهیم فیاض نیز از بورسیه تحقیقی (GRS) Graduate Research Scheme Award پوهنتون پهنگ مالیزیا سپاسگزار است.

References

- [1] D. Das, "Hydrogen production by biological processes: A survey of literature," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 26, pp. 13-28, 2001. Available at: [https://doi.org/10.1016/s0360-3199\(00\)00058-6](https://doi.org/10.1016/s0360-3199(00)00058-6).
- [2] M. Ball and M. Wietschel, "The future of hydrogen—opportunities and challenges," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 34, pp. 615-627, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.11.014>.
- [3] F. Joensen and J. R. Rostrup-Nielsen, "Conversion of hydrocarbons and alcohols for fuel cells," *Journal of Power Sources*, vol. 105, pp. 195-201, 2002. Available at: [https://doi.org/10.1016/s0378-7753\(01\)00939-9](https://doi.org/10.1016/s0378-7753(01)00939-9).
- [4] M. Bradford and M. Vannice, "CO₂ reforming of methane," *Catalysis Reviews - Science and Engineering*, vol. 41, pp. 1.1999, 42-
- [5] K. Selvarajah, N. H. H. Phuc, B. Abdullah, F. Alenazey, and D.-V. N. Vo, "Syngas production from methane dry reforming over Ni/Al₂O₃ catalyst," *Research on Chemical Intermediates*, vol. 42, pp. 269-288, 2016.
- [6] F. Barbir, "Transition to renewable energy systems with hydrogen as an energy carrier," *Energy*, vol. 34, pp. 308-312, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.07.007>.
- [7] A. N. Fatsikostas, D. I. Kondarides, and X. E. Verykios, "Production of hydrogen for fuel cells by reformation of biomass-derived ethanol," *Catalysis Today*, vol. 75, pp. 145-155, 2002. Available at: [https://doi.org/10.1016/s0920-5861\(02\)00057-3](https://doi.org/10.1016/s0920-5861(02)00057-3).
- [8] M. Ni, D. Y. Leung, M. K. Leung, and K. Sumathy, "An overview of hydrogen production from biomass," *Fuel Processing Technology*, vol. 87, pp. 461-472, 2006.
- [9] W. Wang and Y. Wang, "Dry reforming of ethanol for hydrogen production: Thermodynamic investigation," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 34, pp. 5382-5389, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.04.054>.
- [10] M. S. Batista, R. K. Santos, E. M. Assaf, J. M. Assaf, and E. A. Ticianelli, "High efficiency steam reforming of ethanol by cobalt-based catalysts," *Journal of Power Sources*, vol. 134, pp. 27-32, 2004. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2004.01.052>.
- [11] M. B. Bahari, N. H. H. Phuc, B. Abdullah, F. Alenazey, and D.-V. N. Vo, "Ethanol dry reforming for syngas production over Ce-promoted Ni/Al₂O₃ catalyst," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 4, pp. 4830-4838, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.01.038>.
- [12] X. Hu and G. Lu, "Syngas production by CO₂ reforming of ethanol over Ni/Al₂O₃ catalyst," *Catalysis Communications*, vol. 10, pp. 1633-1637, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2009.04.030>.
- [13] S. Jankhah, N. Abatzoglou, and F. Gitzhofer, "Thermal and catalytic dry reforming and cracking of ethanol for hydrogen and carbon nanofilaments' production," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 33, pp. 4769-4779, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.06.058>.
- [14] H. Wang, L. ZHANG, L. Miao, L. Yuan, and B. Xue, "Co/CeO₂ for ethanol steam reforming: Effect of ceria morphology," *Journal of Rare Earths*, vol. 31, pp. 565-571, 2013. Available at: [https://doi.org/10.1016/s1002-0721\(12\)60321-4](https://doi.org/10.1016/s1002-0721(12)60321-4).
- [15] M. B. Bahari, F. Fayaz, N. Ainirazali, N. H. H. Phuc, and D.-V. N. Vo, "Evaluation of Co-promoted Ni/Al₂O₃ catalyst for CO₂ reforming of ethanol," *ARNP: Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 11, pp. 7249-7253, 2016.