

Analisa Fleksibilitas Umpan Tahap Metanasi pada Proses *Power to Gas* dengan Model TREMP

Laporan Penelitian

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar
sarjana di bidang ilmu Teknik Kimia

oleh :

Samuel Billy Budyanto

(6141801065)

Pembimbing :

Dr. Ir. Budi Husodo Bisowarno, M. Eng.



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

2022

Feedstock Flexibility Analysis in Methanation Stage for Power to Gas Process with TTEMP Model

Research Report

Arranged to fulfill the final project in order to achieve a bachelor's degree
in Chemical Engineering

by :

Samuel Billy Budyanto

(6141801065)

Preceptor :

Dr. Ir. Budi Husodo Bisowarno, M. Eng.



CHEMICAL ENGINEERING UNDERGRADUATE STUDY PROGRAM

INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY

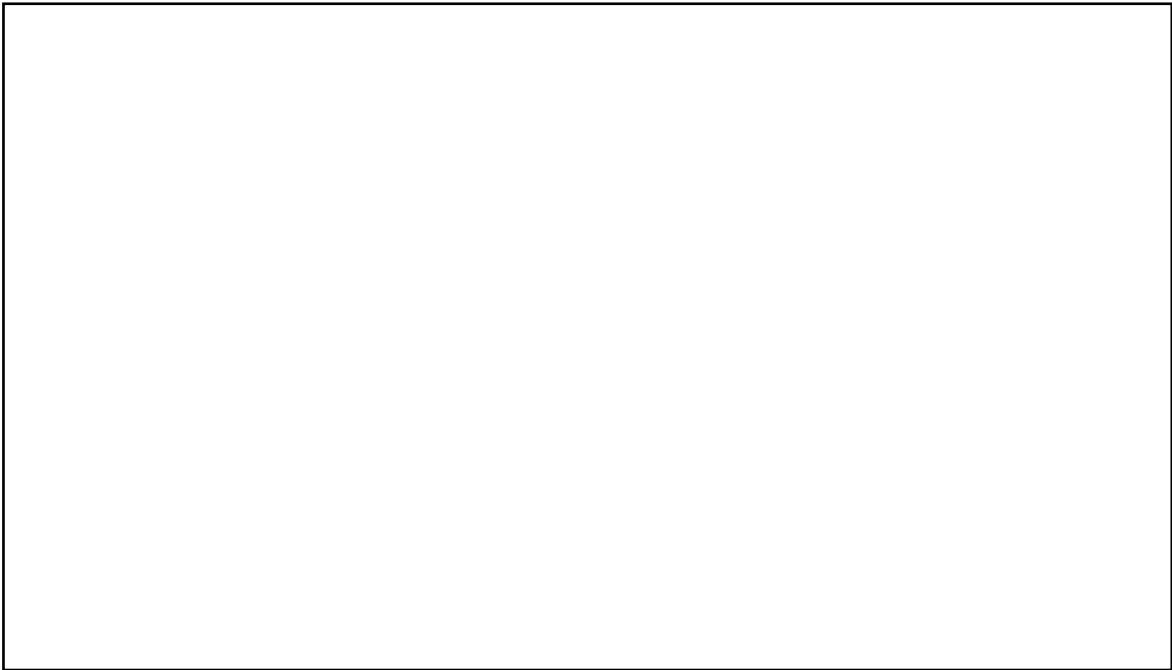
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY

2022

LEMBAR PENGESAHAN

**JUDUL : ANALISA FLEKSIBILITAS UMPAN TAHAP METANASI PADA
PROSES POWER TO GAS DENGAN MODEL TREMP**

CATATAN :



Telah diperiksa dan disetujui

Bandung, 10 Februari 2022

Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Budi Husodo Bisowarno, M. Eng.



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Samuel Billy Budyanto

NPM : 6141801065

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul :

Analisa Fleksibilitas Umpan Tahap Metanasi pada Proses *Power to Gas* dengan Model TREMP

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 07 Februari 2022



Samuel Billy Budyanto

(6141801065)

LEMBAR REVISI

**JUDUL : ANALISA FLEKSIBILITAS UMPAN TAHAP METANASI PADA
PROSES POWER TO GAS DENGAN MODEL TREMP**

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui

Bandung, 10 Februari 2022

Dosen Penguji 1


I Gede Pandega Wiratama, S.T., M.T.

Dosen Penguji 2


Yansen Hartanto, S.T., M.T.

INTISARI

Peningkatan emisi gas rumah kaca yang diproduksi oleh aktivitas manusia telah menyebabkan pemanasan global dengan laju yang semakin cepat setiap tahunnya. Pemanfaatan pembangkit listrik terbarukan seperti dari tenaga angin dan sinar matahari juga masih belum maksimal akibat fluktuasi energi yang dihasilkan dan penyimpanan energi yang terbatas. Proses *power to gas* dapat menjadi alternatif solusi untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk lain melalui proses elektrolisis air untuk menghasilkan gas hidrogen dan mereaksikannya dengan emisi gas rumah kaca, yaitu gas karbon dioksida untuk membentuk gas metana yang dapat disimpan dalam infrastruktur gas alam yang sudah ada. Penerapan dari proses ini memiliki tantangan tersendiri untuk dapat memiliki fleksibilitas terhadap sumber listrik pada proses elektrolisis dan gas hidrogen pada proses metanasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kondisi operasi dan modifikasi proses pada tahap metanasi proses *power to gas* dengan model TREMP terhadap temperatur maksimum reaktor dan perolehan komposisi metana pada gas SNG yang dihasilkan. Reaksi metanasi yang bersifat eksotermis dan umpan gas hidrogen yang fluktuatif dapat menyebabkan *thermal runaway* ketika konsentrasi umpan meningkat. Simulasi proses dilakukan dengan menggunakan *software* ASPEN Plus dengan analisa sensitivitas untuk mengetahui kondisi dan modifikasi proses agar tahap metanasi dapat memiliki fleksibilitas terhadap perubahan komposisi umpan (*feed ratio*).

Pada penelitian ini, hasil model reaktor RGibbs mampu mensimulasikan reaksi metanasi yang diharapkan meskipun stoikiometri reaksi yang terbentuk tidak dispesifikasi dalam simulasi seperti model REquil. Kebutuhan *recycle ratio* minimum pada keluaran reaktor pertama agar temperatur keluaran reaktor tidak melebihi batas maksimum dari katalis nikel yang digunakan akibat perubahan komposisi umpan adalah 0,74. Dari segi tekanan operasi ketika diturunkan relatif hanya sedikit berpengaruh terhadap konversi gas metana namun akan meningkatkan kebutuhan volume setiap aliran dan unit proses. Setiap perubahan komposisi umpan (*feed ratio*) memerlukan jumlah reaktor yang berbeda untuk memenuhi produk gas SNG dengan komposisi metana yang diharapkan. Pada kondisi umpan gas hidrogen dibuat berlebih, jumlah reaktor yang diperlukan ketika *feed ratio* jauh dari rasio stoikiometri reaktan ($F_{CO_2}/F_{H_2}=0.1-0.21$) hanya satu reaktor dan ketika *feed ratio* mendekati rasio stoikiometri ($F_{CO_2}/F_{H_2}=0.22-0.25$) diperlukan dua reaktor. Kemudian pada kondisi umpan gas karbon dioksida dibuat berlebih, diperlukan tiga reaktor untuk rentang *feed ratio* sebesar 0,25-0,5 dan menghasilkan tingkat fleksibilitas umpan tertinggi dengan rentang *feed ratio* paling luas dibandingkan konfigurasi TREMP menggunakan jumlah reaktor yang lebih rendah. Pada tahap ini, reaktan dibuat berlebih selain untuk memudahkan proses separasi sisa reaktan juga ditujukan agar proses reaksi metanasi dapat berjalan dengan maksimal sampai salah satu reaktan hanya tersisa dalam jumlah kecil. Teknologi proses pemisahan sisa reaktan gas hidrogen cenderung lebih rumit dan mahal dibandingkan dengan pemisahan gas karbon dioksida. Dalam hal penentuan jangkauan *feed ratio* yang ingin ditetapkan selain tingkat kedinamisan dari *feed ratio* juga beban pemisahan sisa reaktan yang semakin besar ketika *feed ratio* semakin menjauhi rasio stoikiometri.

Kata kunci : fleksibilitas umpan, metanasi, *power to gas*, *synthetic natural gas*, TREMP

ABSTRACT

Increased greenhouse gas emissions produced by human activities have caused global warming at an increasing rate every year. Utilization of renewable power plants like wind and solar energy is also still not optimum because of the fluctuations in the energy produced and limited energy storage. The power to gas process can be an alternative solution for storing electrical energy in other forms through the electrolysis of water to produce hydrogen and reacting it with greenhouse gas emissions, namely carbon dioxide to form methane which can be stored in the existing well-established natural gas distribution grid. The application of this process has its own challenges to have the flexibility of a power source in the electrolysis process and flexibility of hydrogen as an input in the methanation process.

This study aims to determine the effect of variations in operating conditions and process modifications at the methanation stage of the power to gas process with the TREMP model on the maximum reactor temperature and the acquisition of methane composition in the resulting SNG gas. The exothermic methanation reaction and fluctuating hydrogen gas feed can cause thermal runaway when the feed concentration increases. The process simulation is carried out using ASPEN Plus software with sensitivity analysis to determine the conditions and process modifications so that the methanation stage can have flexibility to change the feed composition (feed ratio).

In this study, the results showed that the RGibbs reactor model on the software could simulate the expected methanation reaction even though the stoichiometry of the reaction formed was not specified in the simulation like the REquil model. The minimum recycle ratio requirement at the first reactor outlet so that the reactor outlet temperature does not exceed the maximum limit of nickel catalyst used because of changes in feed composition is 0.74. In terms of operating pressure, when reduced, it will only slightly affect the conversion of methane gas, but will increase the volume requirements of each flow and process unit. Every change in the feed composition (feed ratio) requires a different number of reactors to meet the SNG gas product with the expected methane composition. In the condition that the hydrogen gas feed is excess, the number of reactors required when the feed ratio is far from the stoichiometric ratio of the reactants ($FCO_2/FH_2=0.1-0.21$) is only one reactor and when the feed ratio is close to the stoichiometric ratio ($FCO_2/FH_2=0.22-0.25$) two reactors are required. Then in the condition that the carbon dioxide gas feed is made excessive, three reactors are needed for a feed ratio range of 0.25-0.5 and produce the highest level of feed flexibility with the widest range of feed ratios compared to the TREMP configuration using a lower number of reactors. At this stage, excess reactants are made, besides facilitating the separation process of the rest of the reactants, it is also intended so that the methanation reaction process can run optimally until one of the reactants is left in a small amount. The process technology for separating the remaining hydrogen tends to be more complicated and expensive than the separation of carbon dioxide gas. To determine the range of feed ratios used, besides the dynamic level of the feed ratio, the separation load of the remaining reactants is also increasing when the feed ratio is further away from the stoichiometric ratio.

Keywords : feedstock flexibility, methanation, power to gas, synthetic natural gas, TREMP

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian berjudul “Analisa Fleksibilitas Umpan Tahap Metanasi pada Proses *Power to Gas* dengan Model TREMP” dengan tepat waktu. Proposal penelitian ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam penulisan proposal penelitian ini, penulis mendapatkan dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Budi Husodo Bisowarno, M. Eng. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan saran kepada penulis selama penyusunan proposal penelitian.
2. Orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberikan perhatian dan dukungan kepada penulis.
3. Teman-teman penulis yang telah memberikan semangat, dukungan, dan masukan kepada penulis selama penyusunan laporan penelitian.
4. Semua pihak lain yang telah memberikan bantuan dan dukungan baik secara langsung dan tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa proposal penelitian ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun dari para pembaca. Akhir kata, penulis berharap agar proposal penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandung, 07 Februari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR SIMBOL	x
INTISARI.....	xi
ABSTRACT	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tema Sentral Masalah.....	2
1.3. Identifikasi Masalah.....	3
1.4. Premis	3
1.5. Hipotesis	3
1.6. Tujuan Penelitian	4
1.7. Manfaat Penelitian	4
1.7.1. Manfaat bagi Peneliti	4
1.7.2. Manfaat bagi Industri	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Fleksibilitas	5
2.2. Power to Gas	9
2.3. Sumber Karbon	12
2.3.1. Biomassa	12
2.3.2. <i>Byproduct</i> Industri.....	13
2.4. Metanasi CO dan CO ₂	14
2.4.1. Reaksi Metanasi	15
2.4.2. Jenis Reaktor dan Termodinamika.....	16

2.4.2.1. Reaktor <i>Fixed Bed</i>	17
2.4.2.2. Reaktor <i>Fluidized Bed</i>	18
2.4.2.3. <i>Three-Phase Reactor</i>	18
2.4.2.4. <i>Honeycomb Methanation (HCM) Reactor</i>	19
2.4.3. Katalis.....	20
2.4.3.1. Jenis Katalis	20
2.4.3.2. Reduksi dan Aktivasi.....	22
2.4.3.3. Deaktivasi	22
2.5. Model Proses Metanasi Karbon Dioksida	24
2.6. Analisa Sensitivitas	24
2.7. Simulator ASPEN Plus	25
BAB 3 METODE PENELITIAN	27
3.1. Pemodelan Proses Metanasi Model TREMP dengan Data Validasi	28
3.2. Validasi	31
3.3. Simulasi Proses Metanasi Model TREMP.....	31
3.4. Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian.....	33
BAB 4 PEMBAHASAN	34
4.1. Pemodelan Proses Metanasi Model TREMP	34
4.2. Validasi	36
4.3. Simulasi Proses Metanasi Model TREMP.....	39
4.3.1. Jenis Reaktor	39
4.3.2. <i>Recycle Ratio</i> Minimum.....	42
4.3.3. Kondisi Operasi.....	44
4.3.4. Jumlah Reaktor.....	45
4.4. Pembahasan Keseluruhan	48
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1. Kesimpulan	51
5.2. Saran	51
DAFTAR PUSTAKA.....	533
LAMPIRAN A	577
A.1. Hasil Lengkap Analisa Sensitivitas <i>Recycle Ratio</i> Minimum Reaktor Pertama.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram venn dimensi fleksibilitas pada bidang teknik kimia	7
Gambar 2.2. Klasifikasi fleksibilitas berdasarkan tingkat proses di industri	8
Gambar 2.3. Contoh rantai proses <i>power to gas</i>	10
Gambar 2.4. Profil peningkatan temperatur reaksi dan sistem pendingin	16
Gambar 2.5. Skema model proses Lurgi	17
Gambar 2.6. Skema model proses TREMP	18
Gambar 2.7. Skema model <i>three-phase reactor</i>	19
Gambar 2.8. Skema model <i>honeycomb methanation (HCM) reactor</i>	20
Gambar 3.1. Bagan kerja penelitian	27
Gambar 3.2. <i>Flowsheet</i> metanasi CO ₂ model TREMP	29
Gambar 3.3. Hasil analisa sensitivitas reaktor pertama	29
Gambar 4.1. <i>Flowsheet</i> analisa sensitivitas dengan satu reaktor	34
Gambar 4.2. <i>Flowsheet</i> dalam <i>software</i> ASPEN Plus dengan model reaktor RGibbs untuk (a) kasus A dan (b) kasus B	35
Gambar 4.3. Hasil analisa sensitivitas pengaruh <i>feed ratio</i> dan <i>recycle ratio</i> terhadap temperatur maksimum reaktor pertama	36
Gambar 4.4. <i>Flowsheet</i> dalam <i>software</i> ASPEN Plus dengan model reaktor REquil untuk (a) kasus A dan (b) kasus B	40
Gambar 4.5. Profil temperatur maksimum reaktor pertama terhadap <i>feed ratio</i> pada <i>recycle ratio</i> minimum 0,74	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Dimensi fleksibilitas	7
Tabel 3.1. Spesifikasi Umpan	28
Tabel 3.2. Kondisi operasi dan hasil produk SNG untuk kasus A	30
Tabel 3.3. Kondisi operasi dan hasil produk SNG untuk kasus B	30
Tabel 3.4. Variasi percobaan	33
Tabel 3.5. Jadwal kerja penelitian	33
Tabel 4.1. Data laju umpan dan kondisi operasi	34
Tabel 4.2. Data kasus A dan kasus B	35
Tabel 4.3. Data hasil simulasi kasus A dengan model reaktor RGibbs	38
Tabel 4.4. Data hasil simulasi kasus B dengan model reaktor RGibbs	38
Tabel 4.5. Data hasil simulasi kasus A dengan model reaktor REquil	41
Tabel 4.6. Data hasil simulasi kasus B dengan model reaktor REquil	41
Tabel 4.7. Simulasi variasi <i>recycle ratio</i> pada reaktor pertama kasus A dan B	44
Tabel 4.8. Simulasi variasi tekanan operasi dengan kasus A	44
Tabel 4.9. Hasil simulasi variasi <i>feed ratio</i> terhadap komposisi metana pada gas SNG dengan konfigurasi satu reaktor	46
Tabel 4.10. Hasil simulasi variasi <i>feed ratio</i> terhadap komposisi metana pada gas SNG dengan konfigurasi dua reaktor	46
Tabel 4.11. Hasil simulasi variasi <i>feed ratio</i> terhadap komposisi metana pada gas SNG dengan konfigurasi tiga reaktor	47
Tabel 4.12. Peninjauan laju alir volumetrik keluaran reaktor pertama kasus A dan B	49
Tabel 4.13. Hasil peninjauan sisa reaktan gas karbon dioksida yang perlu dipisahkan terhadap variasi <i>feed ratio</i>	50
Tabel A.1. Hasil Lengkap Analisa Sensitivitas Recycle Ratio Minimum Reaktor Pertama	57

DAFTAR SIMBOL

CH ₄	= Metana
CO	= Karbon monoksida
CO ₂	= Karbon dioksida
H ₂	= Hidrogen
H ₂ O	= Air
LHHW	= <i>Langmuir-Hinschelwood-Hougen-Watson</i>
RWGS	= <i>Reverse Water Gas Shift</i>
SNG	= <i>Substitute Natural Gas</i>
TREMP	= <i>Topsoe's Recycle Energy efficient Methanation Process</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pengurangan emisi gas rumah kaca merupakan salah satu tantangan bersama dalam beberapa dekade kedepan untuk mengurangi kenaikan level temperatur global dan mengurangi konsekuensi perubahan iklim. Sebagian besar sumber emisi gas rumah kaca ini berasal dari hasil pembakaran bahan bakar fosil yang digunakan sebagai sumber listrik, panas, dan transportasi. Pada tahun 2016, sebesar 24,2 % emisi gas rumah kaca dunia dihasilkan dari hasil pembakaran bahan bakar fosil di industri yang dikonversi menjadi energi dan hasil reaksi kimia tertentu yang diperlukan untuk menghasilkan produk dari bahan baku (Ritchie & Roser, 2020). Oleh sebab itu, diperlukan sumber energi lain yang dapat digunakan sebagai alternatif dari bahan bakar fosil untuk memenuhi kebutuhan energi di suatu industri.

Salah satu alternatif energi yang dapat digunakan merupakan sumber energi terbarukan seperti energi angin dan matahari. Energi terbarukan ini namun hanya dapat menghasilkan energi listrik yang berfluktuasi bahkan terputus-putus dan harus diseimbangkan untuk tujuan stabilitas pada jaringan listrik. Oleh sebab itu diperlukan penyimpanan energi listrik jangka panjang dengan kapasitas yang besar serta cadangan kapasitas produksi. Proses *power to gas* dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini dengan menghubungkan jaringan energi listrik dengan jaringan gas alam lewat konversi energi listrik menjadi *substitute natural gas* (SNG) seperti gas metana. Proses ini dilakukan melalui dua tahap, elektrolisis air dan konversi gas hidrogen dengan sumber karbon menjadi gas metana lewat proses metanasi. Gas metana yang terbentuk ini dapat didistribusikan ke dalam jaringan gas alam yang sudah ada.

Tantangan dari proses *power to gas* ini merupakan bagaimana keseluruhan proses memiliki fleksibilitas terhadap *input* sumber listrik dari energi terbarukan yang berfluktuasi untuk menghasilkan gas metana sesuai standar dan tetap menjaga *safety* dari keseluruhan proses. Reaksi eksotermis pada tahap metanasi sebagai inti dari proses *power to gas* dapat menghasilkan peningkatan temperatur yang signifikan akibat *input* gas hidrogen yang fluktuatif, sehingga diperlukan adanya modifikasi sistem proses dan kontrol yang baik dalam penerapannya.

Salah satu model yang dapat digunakan dalam tahap metanasi untuk menghasilkan SNG adalah model TREMP (*Topsoe's Recycle Energy efficient Methanation Process*) dimana reaktor adiabatik disusun secara seri dan terdapat *product recycle* pada produk keluaran reaktor pertama untuk mengurangi konsentrasi reaktan. Kondisi operasi seperti temperatur awal dan tekanan sistem juga dapat berpengaruh terhadap peningkatan temperatur akibat reaksi metanasi eksotermis dan perolehan komposisi metana pada gas SNG. Analisa sensitivitas dapat dilakukan untuk mengetahui pengaruh kondisi proses dan modifikasi proses tersebut terhadap temperatur maksimum reaktor dan perolehan akhir gas SNG akibat fluktuasi gas hidrogen yang diumpankan ke reaktor.

Penelitian terkait fleksibilitas umpan pada proses *power to gas* khususnya pada bagian tahap metanasi masih belum banyak dilakukan, sehingga diharapkan penelitian ini dapat menjadi referensi untuk membantu dalam pemahaman kondisi operasi yang baik serta variabel yang dapat disesuaikan agar sistem dapat fleksibel terhadap laju umpan gas hidrogen yang berfluktuatif.

1.2. Tema Sentral Masalah

Tema sentral masalah pada penelitian ini adalah mengetahui simulasi reaksi metanasi pada proses *power to gas* dengan perubahan komposisi umpan (rasio mol umpan) menggunakan model reaktor REquil. Model reaktor ini dapat lebih spesifik mensimulasikan keadaan setimbang dari reaksi metanasi dengan adanya *input* stoikiometri reaksi sehingga fenomena reaksi dapat lebih dijelaskan dibandingkan dengan model RGibbs. Kondisi operasi dan modifikasi proses juga divariasikan untuk ditinjau pengaruhnya terhadap temperatur maksimum reaktor dan komposisi gas SNG yang dihasilkan dalam *substitute natural gas* (SNG) dengan menggunakan analisa sensitivitas.

1.3. Identifikasi Masalah

1. Bagaimana simulasi tahap metanasi proses *power to gas* dengan model TREMP dilakukan dengan model reaktor REquil?
2. Bagaimana pengaruh perubahan komposisi umpan terhadap temperatur maksimum reaktor dan komposisi akhir gas SNG?
3. Bagaimana kondisi operasi (temperatur dan tekanan) dan modifikasi proses (*recycle ratio* dan jumlah reaktor) yang dapat diterapkan sehingga proses metanasi dapat berjalan fleksibel?

1.4. Premis

1. Pada proses metanasi model TREMP, temperatur maksimum reaktor dapat dikontrol dengan rasio *product recycle* pada reaktor pertama (Balan, dkk., 2016).
2. Pada proses metanasi model TREMP, kondisi operasi dan jumlah reaktor dapat divariasikan untuk memperoleh hasil konversi gas metana yang sesuai standar (Balan, dkk., 2016).
3. Peningkatan temperatur awal dan tekanan reaktor dapat meningkatkan hasil konversi gas metana (Sibai, 2019).
4. Penggunaan katalis nikel memiliki batasan temperatur proses 573 - 850 K (Bremer, 2020).
5. Model termodinamika yang digunakan pada simulasi ini menggunakan persamaan Peng-Robinson (Jeong, dkk., 2021).

1.5. Hipotesis

1. Penggunaan model reaktor REquil pada *software* ASPEN Plus akan memiliki hasil fenomena reaksi yang dapat lebih spesifik dibandingkan model RGibbs.
2. Semakin besar *recycle ratio* produk keluaran reaktor pertama, temperatur maksimum reaktor akan semakin rendah.
3. Perubahan *feed ratio* pada proses metanasi model TREMP akan berpengaruh terhadap temperatur keluaran reaktor dan jumlah reaktor yang diperlukan untuk memperoleh gas SNG dengan komposisi gas metana sesuai standar.

1.6. Tujuan Penelitian

1. Mensimulasikan tahap metanasi pada proses *power to gas* dengan model reaktor yang dapat spesifik mensimulasikan keadaan setimbang dari reaksi metanasi yaitu REquil.
2. Mengetahui pengaruh perubahan komposisi umpan terhadap temperatur maksimum reaktor dan komposisi akhir gas SNG.
3. Mengetahui pengaruh kondisi operasi (temperatur dan tekanan) dan modifikasi proses (*recycle ratio* dan jumlah reaktor) yang dapat diterapkan sehingga proses metanasi dapat berjalan fleksibel.

1.7. Manfaat Penelitian

1.7.1. Manfaat bagi Peneliti

Dengan adanya penelitian ini, peneliti dapat mengetahui peran pembangkit listrik terbarukan dan gas karbon dioksida untuk dikonversi menjadi sumber energi terbarukan, yaitu *synthetic natural gas* (SNG). Peneliti juga dapat memahami fleksibilitas umpan pada tahap metanasi proses *power to gas* terhadap perolehan komposisi gas SNG dan keselamatan dari proses tersebut dengan memvariasikan parameter dalam sistem.

1.7.2. Manfaat bagi Industri

Memberikan opsi energi alternatif yang ramah lingkungan dan dapat memanfaatkan limbah gas karbon di industri untuk dapat dikonversi menjadi gas SNG. Penelitian ini juga bermanfaat dalam penentuan parameter dan kondisi operasi sistem yang dapat toleran terhadap laju umpan gas hidrogen yang fluktuatif.