

SIMULASI PERANCANGAN PABRIK HIDROGEN BIRU DENGAN TEKNOLOGI CARBON CAPTURE STORAGE (CCS)

M Nur Fakhri Al Mujadid ¹⁾, Alfian Rizqi ²⁾, Ratnasari Dewi Purnomo ³⁾,
Vibianti Dwi Pratiwi ^{4,*}

^{1,2,3,4)} Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Teknologi Nasional Bandung

*Corresponding author: vibiantidwi@itenas.ac.id

ABSTRAK

PT. Alfara Hydrogen merupakan pabrik produksi *Blue Hydrogen* yang menggunakan teknologi reformasi uap, pemanfaatan dan penyimpanan CO₂ (CCS) dengan menggunakan simulasi *software Aspen Hysys*. Pabrik ini akan memproduksi *Blue Hydrogen* dengan bahan baku berasal dari Gas alam dengan bertujuan mengurangi emisi gas rumah kaca. Metode pembuatan *Blue Hydrogen* mereaksikan gas alam dengan *steam* dalam reactor *Steam Methane Reforming* (SMR) untuk memisahkan CO₂ dari komponen sehingga menghasilkan hydrogen yang murni dengan CO₂ sebagai produk samping nya yang akan di proses dengan teknologi *Carbon Capture Storage* (CCS) dan di injeksikan ke tempat geologis untuk di simpan. Perencanaan pembangunan pabrik PT. Alfara Hydrogen akan berlokasi di plaju, Palembang, Sumatera Selatan. Rancangan yang diusulkan bertujuan untuk memenuhi kebutuhan hydrogen di Indonesia, mengurangi nilai impor hydrogen, renewable energy.

Kata kunci: *Emisi gas, Renewable Energy, Simulasi Proses, Teknologi CCS, Teknologi Reformasi*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gas alam saat ini banyak digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk perumahan, komersial, dan industri, termasuk untuk produksi hidrogen. Jumlah permintaan Hidrogen terus meningkat. Secara global, 76% hidrogen diproduksi dari gas alam dengan teknologi Steam Methane Reforming (SMR), 22% dengan gasifikasi, dan 2% dari elektrolisis (EMEKA R. OCHU et al., 2021). Teknologi SMR ini paling menguntungkan secara ekonomi, namun menghasilkan emisi CO₂. Teknologi ini dapat diintegrasikan dengan sistem Carbon Capture, and Storage (CCS) menjadikannya blue hydrogen, dengan tidak melepaskan emisi, melainkan menangkap CO₂ yang dihasilkan. Perpindahan dari hidrogen abu-abu menjadi biru ini merupakan salah satu upaya untuk mencapai Net Zero 2050 (Ahn et al., 2023). Hingga saat ini, Indonesia memiliki 15 proyek CCUS, hampir 80% milik Pertamina (IESR, 2022).

Hidrogen memiliki berbagai fungsi penting dalam industri, namun produksi di Indonesia masih belum mencukupi kebutuhan domestik, sehingga hidrogen harus diimpor. Hidrogen digunakan dalam banyak aplikasi industri, seperti sintesis metanol. Oleh karena itu, pengembangan teknologi untuk dekarbonisasi produksi hidrogen menjadi sangat penting. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik, impor hidrogen Indonesia terus meningkat (Badan Pusat Statistik, 2023). Data kebutuhan hidrogen

dalam negeri mengacu pada data impor Hidrogen di Indonesia seperti yang terdapat pada Tabel 1.1

Tabel 1.1 Data impor dan ekspor hidrogen di Indonesia

Tahun	Kapasitas impor (Ton)	Kapasitas ekspor (Ton)
2018	511,50	7,04
2019	100,78	0,32
2020	157,64	2,54
2021	566,36	35,98
2022	1.460,40	150,62
2023	1.140,58	63,31

Sumber : Badan Pusat Statistik (2023)

Berdasarkan data diatas, maka di dapatkan persamaan regresi linier yang menyatakan hubungan antara tahun dengan jumlah impor hidrogen dengan persamaannya dapat ditulis sebagai berikut :

$$Y = 218,09 X - 439985 \quad (1)$$

Keterangan :

Y = Jumlah produksi hidrogen (Ton)

X = Tahun produksi hidrogen

Berdasarkan persamaan regresi untuk jumlah impor Hidrogen Indonesia, dapat diperkirakan jumlah impor hidrogen pada tahun 2041 sebesar 5000 ton/tahun. Jenis penting dari H₂ adalah H₂ biru, diproduksi terutama dari gas alam melalui proses yang berbeda yang menghasilkan CO₂ sebagai produk sampingan. Namun, karena CO₂ ini terperangkap dan disimpan, H₂ yang dihasilkan adalah disebut sebagai H₂ biru. Alternatif lain terdapat produksi blue hydrogen dengan memanfaatkan biomassa yang melimpah di Indonesia (Basu, 2010; Novita et al., 2021). Hasil analisis TRL untuk teknologi produksi hidrogen dari biomassa menunjukkan kesiapan beberapa metode produksi untuk tingkat komersial (Buffi et al., 2022). Teknologi ini juga menangkap karbon dioksida yang membuat emisi karbon rendah yang sesuai dengan persyaratan blue hydrogen. Karbon dioksida kemudian dapat dimanfaatkan kembali untuk kebutuhan industri. Selain itu, pemilihan lokasi pabrik secara geografis dapat memberikan pengaruh yang besar terhadap lancarnya kegiatan industri. Pabrik *Blue hydrogen* ini direncanakan akan didirikan di Pemilihan lokasi di Plaju, Sumatera Selatan

1.2 Tujuan Penelitian

- Mengurangi permasalahan emisi CO₂ dengan menggunakan metode CCS
- Memacu pertumbuhan pabrik *blue hydrogen* dalam negeri.
- Melakukan simulasi pembuatan blue hydrogen dengan menggunakan software *Aspen Hysys*

2. METODE

Pembuatan blue hydrogen adalah proses produksi hidrogen dari gas alam dengan teknologi penangkapan dan penyimpanan karbon (CCS) untuk mengurangi emisi CO₂. Berikut adalah langkah-langkah utama dalam pembuatan blue hydrogen

menggunakan CCS:

2.1. Steam Methane Reforming (SMR)

Proses reformasi metana uap (SMR) adalah metode utama produksi hidrogen, yang menyumbang 75% pasokan global. Gas alam didesulfurisasi, lalu metana direaksikan dengan uap menggunakan katalis nikel pada suhu tinggi (697–827°C) dan tekanan 35 bar, menghasilkan hidrogen dan karbon monoksida. Kotoran dan CO₂ yang dihasilkan ditangkap dari offgas menggunakan metode yang berbeda tergantung pada jumlah CO₂ untuk meningkatkan kualitas H₂ yang diproduksi.

Secondary Reformer terdiri dari mixing zone dan reaction zone dengan katalis nikel. Gas proses dan udara steam dicampur dalam mixing zone, menghasilkan panas untuk reaksi reforming. Reaksi pembakaran gas H₂ endotermis, menghasilkan suhu 903,4°C, yang kemudian turun menjadi 371°C sebelum memasuki high temperature shift converter, dengan tekanan 33 kg/cm².

2.2 Penangkapan dan Penyimpanan karbon

Metode perencanaan sistem CCS telah diaplikasikan selama beberapa dekade untuk manajemen karbon yang didasarkan pada evaluasi ketersediaan sumber karbon dan penyimpanannya. Semakin besar perbedaan waktu maka semakin besar pula kapasitas penyimpanan. Oleh karena itu, memiliki perbedaan waktu yang lebih pendek lebih dapat diterima dalam desain sistem CCS (Handogo, 2018). Di sejumlah literatur tentang perencanaan CCSU, opsi utilisasi cenderung lebih diprioritaskan dibandingkan opsi penyimpanan CO₂ ke dalam geological storage. Hal ini dikarenakan utilisasi CO₂ lebih memberikan nilai keekonomian yang positif (Dwi Pratiwi et al., 2024).

Pada penelitian ini, CO₂ yang dihasilkan dalam proses SMR ditangkap menggunakan teknologi CCS. Teknologi CCS mencakup berbagai metode untuk menangkap CO₂ seperti menggunakan larutan amina atau membran. Setelah ditangkap, CO₂ dipisahkan dari campuran gas. CO₂ yang ditangkap disimpan di lokasi aman seperti formasi geologis, sumur minyak kosong, atau bawah laut untuk mencegahnya kembali ke atmosfer dan mengurangi emisi karbon. Teknologi CCS terus berkembang untuk efisiensi biaya (Putra et al, 2016).

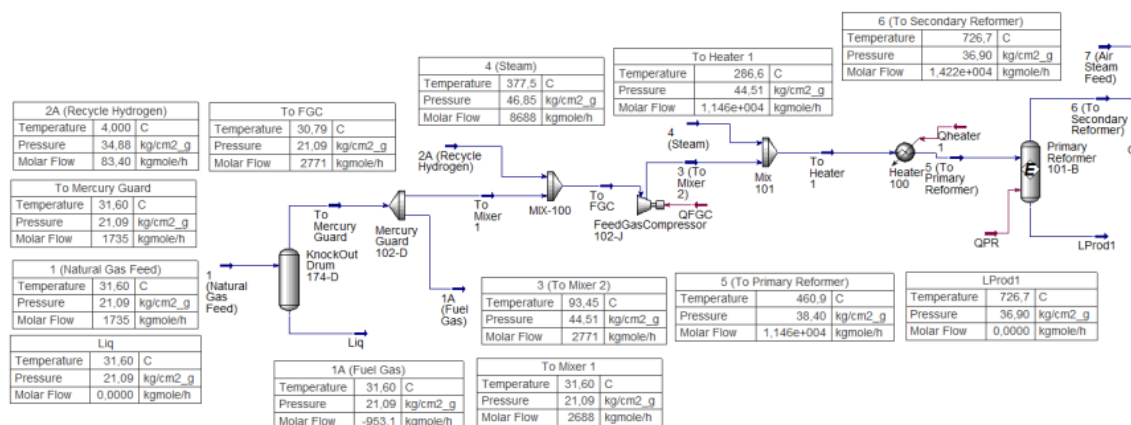
Indonesia memiliki cekungan sedimen untuk penyimpanan geologis CO₂, dengan kapasitas lebih dari 600 Mt di reservoir migas yang habis, seperti Sukowati dan Tangguh. Namun, perancangan sistem CCS/CCUS di Indonesia masih belum optimal, sehingga perlu kajian konfigurasi untuk merancang pasangan CCS/CCUS dari sumber emisi pabrik yang dapat diinjeksikan ke penyimpanan geologi (Dwi Pratiwi et al., 2024)

2.3 Simulasi Aspen Hysys

Aspen Hysys merupakan *software* simulasi yang digunakan untuk merancang suatu plant atau pabrik. Dalam penelitian ini, perancangan pabrik hidrogen disimulasikan menggunakan Aspen Hysys V.12.0. Simulasi dilakukan dalam beberapa tahap yaitu (1) memasukkan komponen gas alam yang digunakan, (2) menentukan fluid package yaitu Peng-Robinson dan Acid gas – Chemical Solvent, (3) memasukkan reaksi yang digunakan, (4) merancang simulasi sesuai, dan (5) memasukkan data yang diperlukan.

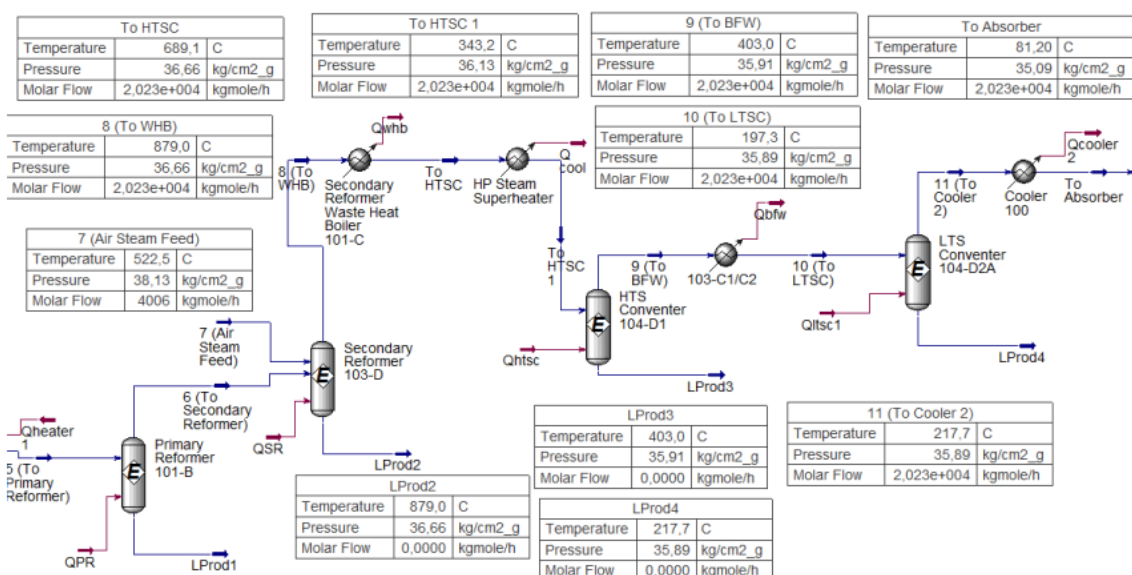
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan dengan menggunakan *Aspen Hysys*, pembuatan pabrik Blue Hydrogen dengan kapasitas 5000 ton/tahun dimulai dengan gas alam dari PT. Pertamina yang disimpan dalam tangki (T- 101). Gas alam dipanaskan di furnace (F-101) dan dicampur dengan steam di pre-reformer (R-101) untuk menghasilkan hidrogen, karbon monoksida, dan karbon dioksida. Gas hasil reaksi dipanaskan lagi di heater (H-101) sebelum memasuki secondary reformer (R-102) untuk menghasilkan lebih banyak hidrogen yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Simulasi *Primary Reformer*

Pada Gambar 2, gas sintesis kemudian didinginkan dan diproses melalui reaktor high temperature gas shift (HTS) dan low temperature gas shift (LTS) untuk menghasilkan hidrogen tambahan. Setelah didinginkan di cooler (C-102, C- 103) dan dipisahkan di separator (SP-101), gas sintesis diarahkan ke absorber (AB-101) untuk memisahkan H₂ dan CO₂ menggunakan katalis MDEA. Hidrogen murni dipisahkan di adsorber (AD-101) dan disimpan dalam tangki penyimpanan (T-103).



Gambar 2. Simulasi *Secondary Reformer, HTSC, dan LTSC*

Secara ringkas proses pembuatan *Blue hydrogen* diawali dari penyiapan bahan baku, lalu Gas Alam akan dipanaskan dengan menggunakan Furnace hingga 375 C sebelum dimasukkan ke reactor pre reformer yang Dimana nantinya akan di reaksi Bersama dengan Steam, hasil reaksi pre reformer akan di panaskan menggunakan heater hingga 570 C dan di alirkan ke dalam Reaktor Reforming yang Dimana akan di reaksi lagi dengan steam, setelah itu dialirkan ke cooler untuk di dinginkan hingga 342 C sebelum ke reactor HTS, setelah dari reactor HTS akan di dinginkan lagi dengan cooler sebelum ke reactor LTS, reaksi akan di dinginkan Kembali hingga 87 C sebelum memasuki separator yg Dimana separator berfungsi untuk memisahkan gas dengan limbah Air. Gas yang telah dipisahkan dengan air akan di masukan ke dalam absorber lalu stripper untuk mengurangi hasil.

CO₂ yang dihasilkan dipisahkan dan disalurkan ke kompresor (K-101) untuk disimpan di geological storage. Produk bawah stripper yang terdiri dari gas sintesis yang tersisa, MDEA dan H₂O akan di gunakan Kembali unuk mereaksikan pada proses CO₂ removal di alat absorber. Emisi CO₂ dengan menangkapnya menggunakan bahan baku MDEA, gas hasil absorber akan di alirkan ke Adsorber (PSA) yang dimana gas hydrogen akan di pisahkan dari flue gas, sedangkan Gas CO₂ akan dialirkan ke geological storage.

4 KESIMPULAN

Berikut ini merupakan kesimpulan yang didapatkan dari hasil pembahasan bahwa produk hidrogen yang didapatkan dengan menggunakan teknologi CCS dengan menghitung melalui software Aspen Hysys sebesar 620,4407 kg/jam sedangkan CO₂ yang berhasil ditangkap dan akan disimpan menggunakan teknologi CCS sebesar 4417,3493 kg/jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahn, S.-Y., Kim, K.-J., Kim, B.-J., Hong, G.-R., Jang, W.-J., Bae, J. W., Park, Y.-K., Jeon, B.-H., & Roh, H.-S. (2023). *From gray to blue hydrogen: Trends and forecasts of catalysts and sorbents for unit process*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 186, 113635. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113635>
- Basu, P. (2010). *Biomass gasification and pyrolysis: Practical design and theory*. In *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-20099-7>
- Buffi, M., Prussi, M., & Scarlat, N. (2022). *Energy and environmental assessment of hydrogen from biomass sources: Challenges and perspectives*. *Biomass and Bioenergy*, 165. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106556>
- Dunn, S., 2002. *Hydrogen Futures: Toward a Sustainable Energy System*, *International Journal of Hydrogen Energy*, diakses 27 September 2024, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319901001318>
- Dwi Pratiwi, V., Renanto, R., Juwari, J., Panca Anugraha, R., Arifin, R., 2024. *Evaluation of Efficient CCUS System Design from Chemical Industry Emission in Indonesia*. *E3S Web of Conferences* 481, 02001.
- EIA. (2021). *Natural Gas Explained*. U.S. Energy Information Administration **IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)**. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*, diakses 27 September 2024,

- <https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/>
- Emeka R. Ochu, Sarah Braverman, Griffin Smith, & Julio Friedmann. (2021). *Hydrogen Fact Sheet: Production Of Low-Carbon Hydrogen*.
- Handogo, R., 2018. *Carbon capture and storage system using pinch design method*. In: MATEC Web of Conferences. EDP Sciences.
- Koroneos, C., Dompros, A., Roumbas, G., & Moussiopoulos, N. (2004). *Life cycle assessment of hydrogen fuel production processes*. *International Journal of Hydrogen Energy*, diakses 27 September 2024, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319904000655>
- Hertina,P.(2010) *Pra rancangan pabrik pembuatan gas hidrogen dari natural gas dengan proses cracking dengan kapasitas 720 ton/tahun*.Fakultas Teknik universitas sumatera utara medan (diakses 27 september pukul 8)
- IESR. (2022). *Indonesia Energy Transition Outlook 2023: Tracking Progress of Energy Transition in Indonesia: Pursuing Energy Security in the Time of Transition*.
- Novita, S. A., Santosa, S., Nofialdi, N., Andasuryani, A., & Fudholi, A. (2021). *Artikel Review: Parameter Operasional Pirolisis Biomassa*. *Agroteknika*, 4(1). <https://doi.org/10.32530/agroteknika.v4i1.105>
- Osama M,Maha A,Manal A,Yusuf B,Ahmad S,Abushaikha (2023) *Blue hydrogen production from natural gas reservoirs: a review of application and feasibility*,diakses 27 september pukul 8, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212982023000495>
- Polaris Market Research (2024) *Blue hydrogen market share, size, trends, industry analysis report,by technology (steam methane reforming, gas partial oxidation,and auto thermal reforming); by end-user; by Region; segment forecast, 2024- 2032*,diakses 27 september pukul 8.19, <https://www.polarismarketresearch.com/industry-analysis/blue-hydrogen-market>
- Putra, A.A., Handogo, R., Gani, R., 2016. *Evaluation and Comparison of Carbon Dioxide Capture Using MEA and DEA*, *International Journal of Applied Chemistry*