



e-ISSN Number
3026-1392

Journal of Materials Processing and Environment

Volume 3 Nomor 1 (2025)



PRARANCANGAN PABRIK HIDROGEN DARI BATUBARA DENGAN MENGGUNAKAN METODE GASIFIKASI KAPASITAS 190.000 TON/TAHUN

(Preliminary Design of Hydrogen Plant from Coal Using the Gasification Method with Capacity of 190,000 Tons/Year)

Vira Safitriani*, Surya Abdi Bahtiar, La Ifa, Rismawati Rasyid

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia, Jl. Urip Sumaharjo No.Km5 Panaikang, Panakukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90231, Indonesia

Inti Sari

Hidrogen dapat dihasilkan dari proses gasifikasi batubara. Hidrogen dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan ammonia, bahan bakar alternatif, startup cracking, perengkahan fraksi-fraksi minyak bumi (hydrocracking), hidrogenasi, proses hidrodiesulfurisasi dan bahan baku berbagai zat kimia lainnya. Dikarenakan kebutuhan dan permintaan pasar terhadap hidrogen makin lama makin meningkat yang ditandai dengan kenaikan impor hidrogen berdasarkan data Biro Pusat Statistik maka perlu adanya pendirian suatu pabrik hydrogen. Kapasitas pabrik hidrogen ini sebesar 190.000 ton/tahun, beroperasi selama 330 hari. Pabrik direncanakan akan dibangun di Kutai Timur, Sangatta, Kalimantan Timur dengan jumlah pekerja 96 orang. Pabrik berdiri di tanah seluas 14.500 m². Proses pembentukan hidrogen menggunakan metode gasifikasi yang terjadi di dalam reaktor gasifier dengan kondisi operasi 450 °C. Pabrik hidrogen ini membutuhkan bahan baku batubara sebanyak 307743,1412 kg/jam. Utilitas pabrik hidrogen meliputi air sebanyak 16.121.687,9 kg/jam, kebutuhan listrik sebesar 308,4385 kWh, dan bahan bakar solar sebanyak 22,6950 L/jam. Analisa ekonomi pabrik hidrogen membutuhkan *total capital investment* sebesar Rp 466 milyar dan *working capital* sebesar Rp 5,4 triliun. Keuntungan sebelum pajak Rp 49 milyar per tahun, sedangkan keuntungan sesudah pajak sebesar Rp 32 milyar per tahun. Analisa kelayakan ini memberikan hasil bahwa *Percent Return on Investment* (ROI) sebelum pajak sebesar 47% dan setelah pajak sebesar 31%. *Pay Out Time* (POT) setelah pajak sebesar 2,47 tahun. *Break Even Point* (BEP) sebesar 44,48% kapasitas, dan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 19,56% kapasitas. *Discounted Cash Flow* (DCF) sebesar 20%. Berdasarkan hasil analisa kelayakan ekonomi, maka pabrik hidrogen ini cukup menarik untuk didirikan.

Kata Kunci: Hidrogen, Gasifikasi, Batubara, Reaktor, Gasifier

Key Words: *Hydrogen, Gasification, Coal, Reactor, Gasifier*

Abstract

Hydrogen can be produced through the coal gasification process. Hydrogen can be used as a raw material for ammonia production, an alternative fuel, startup cracking, the cracking of petroleum fractions (hydrocracking), hydrogenation, hydrodesulfurization processes, and as a raw material for various other chemicals. Due to the increasing demand and market need for hydrogen, as indicated by the rise in hydrogen imports based on data from the Central Statistics Agency, the establishment of a hydrogen plant is

Published by

Department of Chemical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Universitas Muslim Indonesia, Makassar

Address

Jalan Urip Sumohardjo km. 05 (Kampus 2 UMI)
Makassar- Sulawesi Selatan

Email :

jmpe@umi.ac.id

*Corresponding Author

vhira2007@gmail.com



Journal History

Paper received : 29 Januari 2025

Received in revised : 10 Februari 2025

Accepted : 20 Februari 2025

necessary. The hydrogen plant will have a capacity of 190,000 tons/year and will operate for 330 days. It is planned to be built in Kutai Timur, Sangatta, East Kalimantan, with a workforce of 96 employees. The plant will occupy an area of 14,500 m². Hydrogen production will use the gasification method in a gasifier reactor operating at 450°C. The hydrogen plant requires coal as a raw material at a rate of 307,743.1412 kg/hour. Utilities for the hydrogen plant include water at 16,121,687.9 kg/hour, electricity at 308.4385 kWh, and diesel fuel at 22.6950 L/hour. The economic analysis of the hydrogen plant estimates a total capital investment of IDR 466 billion and working capital of IDR 5.4 trillion. The profit before tax is IDR 49 billion per year, while the profit after tax is IDR 32 billion per year. This feasibility analysis indicates a Percent Return On Investment (ROI) of 47% before tax and 31% after tax. The Pay Out Time (POT) after tax is 2.47 years, the Break Even Point (BEP) is 44.48% capacity, and the Shut Down Point (SDP) is 19.56% capacity. The Discounted Cash Flow (DCF) is 20%. Based on the results of the economic feasibility analysis, this hydrogen plant is considered promising for establishment.

PENDAHULUAN

Kemajuan industri di Indonesia dewasa ini cukup pesat terutama dalam bidang pemanfaatan hasil-hasil pertanian, perkebunan, pertambangan, dan berbagai jenis hasil hutan. Kemajuan tersebut ditunjukkan untuk mendukung program pemerintah dalam pemanfaatan sumber daya alam bagi keperluan industry. Indonesia berpotensi sebagai produsen bahan-bahan produksi apabila di kelola secara intensif dan berpola pada permintaan pasar dalam negeri dan peluang ekspor [1]. Salah satu bahan yang dibutuhkan dalam industri adalah Hidrogen. Hidrogen berfungsi sebagai bahan baku pembuatan ammonia, bahan bakar alternatif, *startup cracking*, perengkahan fraksi-fraksi minyak bumi(hidrocracking), hidrogenasi, proses hidrodessulfurisasi dan bahan baku berbagai zat kimia lainnya [2]. Dikarenakan kebutuhan dan permintaan pasar terhadap hidrogen makin lama makin meningkat yang ditandai dengan kenaikan impor hidrogen berdasarkan data Biro Pusat Statistik (BPS) maka perlu adanya pendirian suatu pabrik hydrogen [3].

Hidrogen dapat disintesa dengan berbagai macam metode dan bahan baku. Seperti menggunakan *steam* dan gas alam. Proses ini sekarang banyak digunakan tetapi untuk kelangsungannya terhambat pada ketersediaan gas alam [4]. Proses yang lain yaitu pembuatan hidrogen dengan proses berbahan baku air dengan bantuan energi listrik dan larutan elektrolit NaOH 15% , menghasilkan O₂ sebagai produk samping. Katoda yang digunakan adalah besi sedangkan anoda yaitu nikel berlapis besi. Proses ini membutuhkan energi listrik tinggi sebesar 2 sampai 2,25 volt maka tidak cocok digunakan untuk skala yang besar karena tidak ekonomis [5]. Selain itu proses gasifikasi batubara juga dapat digunakan dalam memproduksi adalah proses konversi biomassa dari fasa solid menjadi fasa gas dengan komposisi kimia yaitu CO, CH₄, CO₂, H₂O dan H₂. Campuran gas-gas tersebut biasa disebut sebagai gas sintetis (*syngas*). Pada pembuatan hidrogen dibutuhkan pemisahan hidrogen dari gas sintetis. Kualitas biomassa sebagai bahan baku gasifikasi sangat bervariasi yang ditentukan oleh jenis, lokasi dan iklim biomassa berasal [6]. Dari proses-proses pembuatan hidrogen yang ada, maka gasifikasi batubara dipilih sebagai proses pembuatan hidrogen yang paling efisien dengan alasan ketersediaan bahan baku batubara mencukupi proses jangka panjang dan hasil samping dalam proses ini adalah CO₂ (karbondioksida) yang dapat diproses lagi menjadi produk *dry ice* (es kering) yang dapat menambah keuntungan [7].

Beberapa hal yang mendasari pendirian pabrik hydrogen diantaranya, keuntungan finansial, bahan baku yang melimpah di Indonesia, peningkatan nilai guna batubara yang awalnya hanya di jual mentah menjadi sesuatu yang bernilai ekonomis tinggi, membuka lapangan kerja baru dan membuka peluang investasi baru yang dapat menambah devisa negara [8]. Jenis-jenis pembentukan hidrogen dapat dilihat sebagai berikut: [9]

1. *Steam reforming*

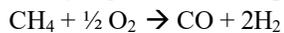
Bahan baku proses ini adalah *steam* dan gas alam. Proses ini sekarang banyak digunakan tetapi untuk kelangsungannya terhambat pada ketersediaan gas alam. Proses ini bersifat endotermis, memerlukan panas sebesar 206 KJ/mol dipisahkan dari CO dengan menggunakan *shift converter* dan PSA (*Pressure Swing Adsorption*).



Proses reforming ini juga menghasilkan Produk samping berupa gas karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), dan syngas (CO + H₂) yang cukup bernilai untuk beberapa plant sebagai bahan baku. Kekurangan pada proses ini yaitu ketergantungannya terhadap gas alam yang kian lama makin menipis dan menghasilkan gas CO₂ sebagai gas efek rumah kaca.

2. *Partial oxidation*

Proses ini lebih ekonomis dan lebih bersifat eksotermis sebesar 249 kJ/mol dibandingkan dengan *steam reforming*. Bahan bakunya adalah gas alam dan fuel oil tapi ketersediannya juga semakin menipis dari tahun 2000 sebesar 9,61 milyar barel menjadi 8 milyar barel pada tahun 2009 (ESDM). Serta kekurangan yang lain pada proses ini yaitu katalis yang dibutuhkan seperti logam ruthenium dan rodium yang sangat mahal harganya.



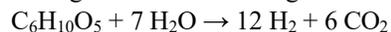
3. Elektrolisa air

Pembuatan hidrogen dengan proses ini berbahan baku air dengan bantuan energi listrik dan larutan elektrolit NaOH 15% , menghasilkan O₂ sebagai produk samping. Katoda yang digunakan adalah besi sedangkan anoda yaitu nikel berlapis besi. Proses ini membutuhkan energi listrik tinggi sebesar 2 sampai 2,25 volt maka tidak cocok digunakan untuk skala yang besar karena tidak ekonomis.



4. *Biological process*

Hidrogen dapat diproduksi dengan cara fermentasi dari biomassa (tongkol jagung, sekam padi, cangkang sawit, dan kayu karet) dengan bantuan mikroorganisme diantaranya dari genus *enterobacter*, *clostridium*, *thermotoga*, *thermoanaerobacter*, *pyrococcus*, *thermococcus* dan *caldicellulosiruptor*. Kekurangan dari proses ini yaitu bahan baku bersaing dengan bahan pangan, yield hidrogen yang dihasilkan kecil yaitu 10%-20% dan harga mikroorganisme cenderung mahal maka kurang cocok digunakan pada skala besar.

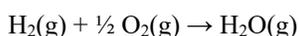
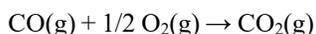
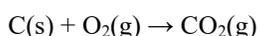
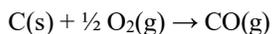


5. Gasifikasi batubara

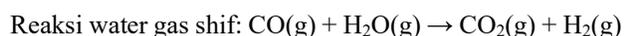
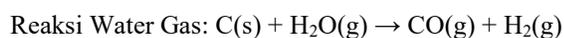
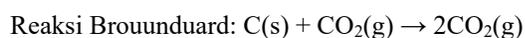
Gasifikasi batu bara adalah proses dimana karbon dalam batubara terkonversi menjadi gas (syngas) dengan menggunakan media gasifikasi (gasification agent). Zat yang dipakai sebagai media adalah karbon dioksida dan steam. Gas yang dihasilkan juga bermacam-macam, yaitu campuran karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H₂) sebagai produk utama, serta karbon dioksida (CO₂), metana dan steam.

Ada beberapa proses yang digunakan dalam gasifikasi batubara yang diklasifikasikan berdasarkan jenis reaktor (gasifier) yang digunakan. Tipe reaktornya dibedakan menjadi 3 yaitu moving-bed gasifier, fluidized gasifier dan entrained-flow gasifier, namun reaktor jenis fluidized-bed gasifier yang paling banyak digunakan karena dianggap paling menguntungkan. Teknologi ini cocok untuk berbagai jenis batubara, luas permukaan reaksinya juga besar dan efektif, pengontrolan kondisi operasi terkesan mudah dan fleksibel dengan hanya mengatur perbandingan antara masukan karbon dioksida dan steam serta masukan batubara [11]. Jenis gasifier ini dipilih karena jenis batubara sebagai masukan umpan bisa bervariasi yang merupakan parameter utama, selain itu harga dari jenis gasifier ini lebih ekonomis daripada jenis gasifier lainnya. Proses yang terjadi dalam gasifier jenis ini adalah :

Reaksi Oksidasi

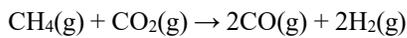
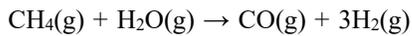


Untuk meningkatkan hasil syngas yang pertama dari CO dan H₂



Reaksi metanation: $C(s) + 2H_2(g) \rightarrow CH_4(g)$

Reaksi *dry reforming*:



Reaksi yang menghasilkan H_2S : $S(g) + H_2(g) \rightarrow H_2S(g)$

Teknologi gasifikasi adalah teknologi yang paling cocok untuk menghasilkan syngas (gas sintetis) yang mengandung campuran karbon monoksida (CO) dan Hidrogen (H_2) sebagai produk utama, serta karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4) dan steam (H_2O) karena dapat menghasilkan konversi paling tinggi dan ditunjang ketersediaan bahan baku yang bisa memenuhi proses dalam jangka panjang.

Tabel 1. Perbandingan Proses Pembuatan Hidrogen [9]

Parameter	Proses Methane Steam Reforming (MSR)	Oksidasi Parsial (POX)	Elektrolisis Air	Proses Biologi	Gasifikasi Batubara
Bahan Baku	Gas alam (metana)	Hidrokarbon (metana, minyak berat)	Air dan listrik	Biomassa atau limbah organik	Batubara, oksigen, uap air
Kondisi Operasi	700-1,000°C, 20-30 atm	1,000-1,400°C, 20-80 atm	25-80°C, tekanan atmosfer	30-70°C, tekanan atmosfer	800-1,200°C, 20-40 atm
Kemurnian Produk (%)	99-99.9	85-95	99.99	85-95	90-95
Konversi Reaksi (%)	70-85	60-75	100	30-50	90-99
Kelebihan	Efisien untuk skala besar, teknologi matang	Cepat, tidak memerlukan uap air	Emisi karbon nol jika menggunakan energi terbarukan	Ramah lingkungan, memanfaatkan limbah organik	Sumber batubara melimpah, dapat menghasilkan syngas
Kekurangan	Menghasilkan CO_2 , membutuhkan katalis	Kemurnian H_2 lebih rendah, efisiensi energi lebih rendah	Konsumsi energi tinggi, biaya operasi tinggi	Efisiensi rendah, masih dalam tahap pengembangan	Emisi karbon tinggi tanpa CCS, memerlukan suhu tinggi
Hasil	H_2 , CO_2 , dan CO	H_2 , CO_2 , CO, H_2O	H_2 dan O_2	H_2 , CO_2	H_2 , CO_2 , CO

Proses-proses pembuatan hidrogen yang ada, maka gasifikasi batubara dipilih sebagai proses pembuatan hidrogen dalam pendirian pabrik ini dengan alasan ketersediaan bahan baku batubara mencukupi proses jangka panjang.

Tabel 2. Data Pertumbuhan Ekspor dan Impor di Indonesia

Tahun	Impor (ton)	Pertumbuhan Impor (%)	Ekspor (ton)	Pertumbuhan Ekspor (%)
2019	3675	-	1076	-
2020	3884	6%	2004	86%
2021	4368	12%	3631	81%
2022	7181	64%	3707	2%
2023	8753	22%	3896	5%
Jumlah		104%		175%
Rata-rata (i)		26%		44%

Penentuan kapasitas perancangan pabrik Hidrogen menggunakan data pertumbuhan ekspor, dan impor Hidrogen di Indonesia. Kebutuhan Hidrogen di Indonesia diperkirakan akan selalu meningkat karena penggunaannya dalam jumlah besar digunakan sebagai bahan baku pembuatan ammonia, methanol, bahan pemurnian minyak jelantah dan dapat digunakan dalam bidang farmasi [8]. Selain itu keberadaan pabrik hydrogen di Indonesia juga dapat dijadikan sebagai dasar dalam penentuan kapasitas pabrik yang akan didirikan. Peluang kapasitas produksi jika sudah ada pabrik yang serupa di dalam negeri yaitu sebesar 60% dari peluang produksi. Di Indonesia produksi dalam negeri, terdapat lima pabrik hidrogen,

Tabel 3. Pabrik Hidrogen yang Ada Di Indonesia [9]

Pabrik	Kapasitas (ton/tahun)
PT. Samator Gresik	96.960
PT. BOC Gas	48.480
PT. Air Liquid	218.176
PT. Sarimitra Jaya	15.000
PT. Aneka Gas Industri	25.000

Perhitungan kapasitas pabrik dapat dihitung menggunakan persamaan yaitu $m_{\text{tahun}} \text{ yang dicari} = m_{\text{tahun terakhir}} \times (1+i)^a$ dimana $i = \frac{\sum \%P}{n}$ [10]. Keterangan: a adalah Selisih tahun, i adalah Pertumbuhan rata-rata per tahun, %P adalah Persen pertumbuhan per tahun dan n adalah Jumlah data %P [11]. Berdasarkan prediksi kebutuhan dalam negeri pada tahun 2029, maka kapasitas produksi yang dapat dirancang yaitu sebesar 190.000 ton/tahun, dengan harapan mengurangi Ketergantungan Impor dengan meningkatkan kapasitas produksi hidrogen domestik, Indonesia dapat mengurangi ketergantungan pada impor, yang akan meningkatkan keamanan energi nasional dan mengurangi risiko fluktuasi harga di pasar internasional. Meningkatkan Ketahanan Energi dimana produksi hidrogen dalam negeri akan memperkuat ketahanan energi Indonesia, memberikan sumber energi alternatif yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Pengembangan Teknologi dan Inovasi dengan pendirian pabrik hidrogen akan mendorong pengembangan teknologi terkait dan inovasi dalam sektor energi, yang bisa berkontribusi pada kemajuan industri dan penelitian di Indonesia. Penciptaan lapangan Kerja dimana pabrik hidrogen akan menciptakan lapangan kerja baru di berbagai sektor, termasuk konstruksi, operasional, dan pemeliharaan, sehingga dapat mengurangi tingkat pengangguran dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

PERANCANGAN PROSES

Pembuatan Hidrogen dari Batubara dengan proses gasifikasi dilakukan dalam tiga tahapan, yaitu persiapan bahan baku, proses reaksi, dan pemurnian [12].

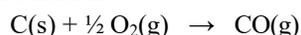
1. Tahap Persiapan Bahan Baku

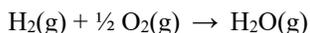
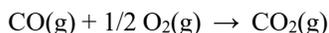
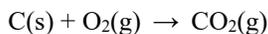
Tahap awal sebelum batubara masuk ke reaktor gasifier adalah memperkecil ukurannya menggunakan alat Crusher hingga mencapai 100 μ atau 0,1 mm untuk memudahkan pencampuran dengan air. Setelah ukurannya diperkecil, batubara dicampur dengan air di dalam Tangki Mixer yang dilengkapi dengan pengaduk, karena fase slurry diperlukan untuk masuk ke dalam reaktor. Campuran batubara tersebut kemudian dimasukkan ke reaktor gasifier tipe entrained flow dengan kondisi operasi suhu 1200-1500 °C dan tekanan 40 atm. Oksigen disimpan dalam tangki penyimpanan oksigen dan kemudian dialirkan ke reaktor gasifier.

2. Proses Reaksi

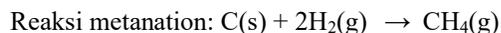
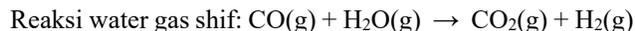
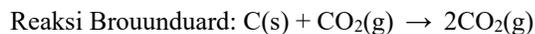
Media gasifikasi yang digunakan adalah oksigen dengan kemurnian 100% (v/v). Proses ini menghasilkan syngas yang terdiri dari H₂, CO, CO₂, H₂O, H₂S, N₂ dan slagging. Suhu keluaran dari reaktor gasifier sekitar 450 °C. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

Reaksi Oksidasi

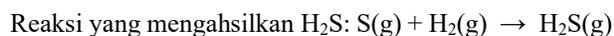
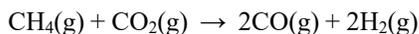
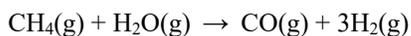




Untuk meningkatkan hasil syngas yang utama dari CO dan H₂

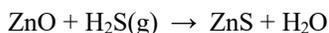


Reaksi dry reforming:

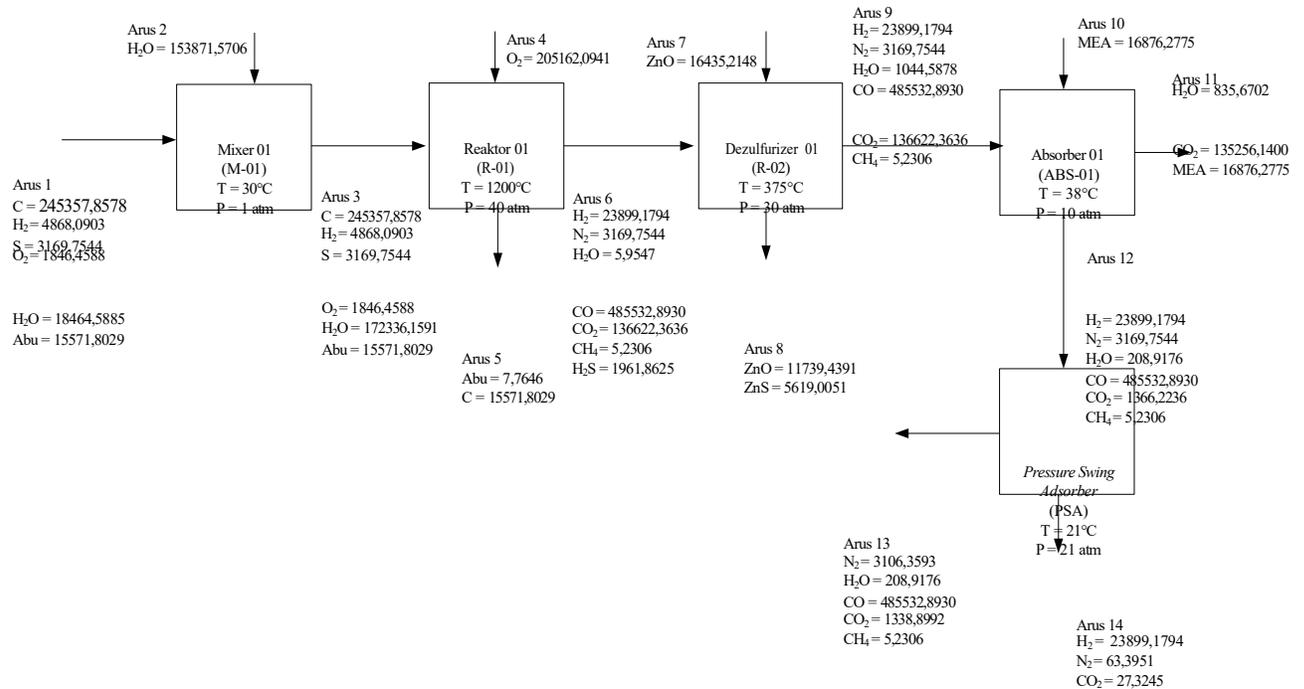


3. Proses Pemurnian

Proses penghilangan sulfur dilakukan di Desulfurizer dengan menggunakan katalis ZnO. Kondisi operasi desulfurizer ini berkisar pada tekanan 30 atm dan suhu 375 °C. Gas yang dihasilkan dari proses ini diharapkan sudah bebas dari kandungan sulfur sehingga dapat menghasilkan syngas tanpa sulfur. Reaksi penyerapan sulfur adalah sebagai berikut:



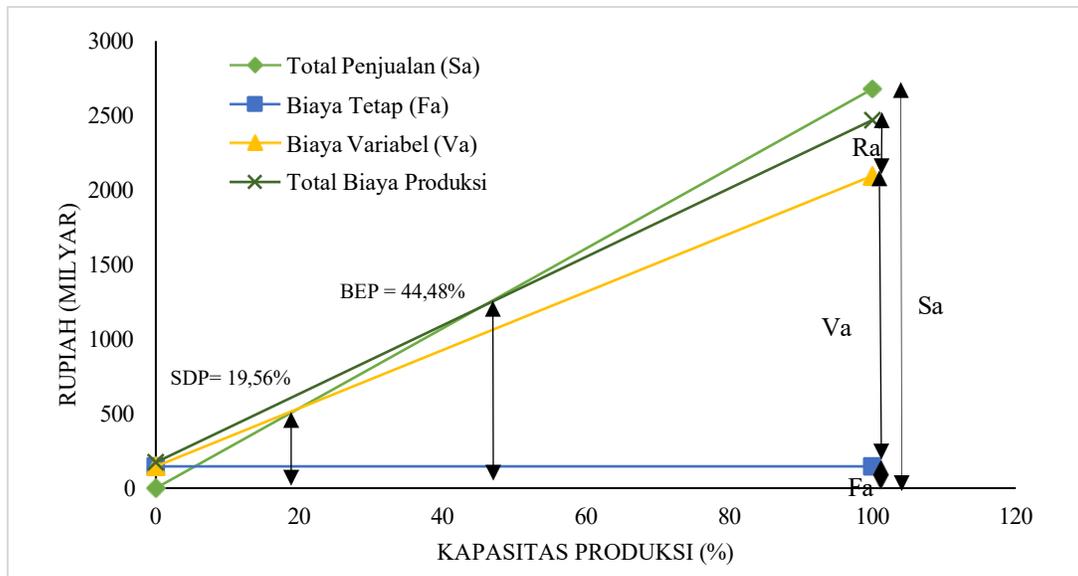
Langkah berikutnya adalah penyerapan CO₂ dalam absorber. Gas proses (syngas) akan masuk ke Absorber 01 yang berfungsi menyerap gas CO₂ dari gas proses menggunakan larutan MEA (Monoethanolamine). Gas yang masuk ke absorber bersuhu 38 °C. MEA adalah adsorben CO₂ berbentuk cair yang terdiri dari gugus alkanol dan amina [10,5]. Gas keluaran (top product) dari alat absorber dengan suhu 70 °C akan diteruskan ke proses pemurniaan selanjutnya menggunakan *Pressure Swing Adsorber* (PSA) untuk pemurniaan gas dari pengotor yang masih tersisa. PSA memiliki prinsip adsorpsi gas yang bertekanan. PSA dilengkapi bed adsorben untuk adsorpsi gas yang bertekanan tinggi. Hidrogen dari PSA memiliki kemurnian 99,99%. Hidrogen yang telah dimurnikan tersebut disimpan dalam fase gas menggunakan tangki berbentuk bola.



Gambar 1. Diagram Alir Kuantitatif Prarancangan Pabrik Hidrogen

ANALISA EKONOMI

Analisis ekonomi dimaksudkan untuk mengetahui sebuah proyek (pabrik) yang direncanakan menguntungkan atau tidak, disamping itu sebagai gambaran apakah suatu pabrik yang dibuat cukup fleksibel jika ditinjau dari segi ekonomi [13, 14]. Parameter dalam analisa ekonomi seperti [15] total Investasi (TCI) sebesar Rp 466.893.532.735. Manufacturing Cost sebesar Rp 2.124.680.455.240. *General Expencc* sebesar Rp 492.012.053.389. Total *Production Cost* sebesar Rp 2.616.692.508.628. Untuk Analisa kelayakan dapat dilihat dari nilai IRR sebesar 20%, waktu pengembalian modal (POT) selama 2,47 tahun, *Break Event Point* (BEP) sebesar 44,48% dan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 19,56%. Berdasarkan nilai BEP yang diperoleh pada pabrik ini layak didirikan karena berada pada range nilai BEP secara teoritis (40%-60%) [16]. Grafik *break even point* dan *shut down point* dapat dilihat pada gamabr 2 berikut.



Gambar 2. Grafik *Break Even Point* Dan *Shut Down Point*

KESIMPULAN

Prarancangan pabrik hidrogen ini direncanakan 190.000 ton/tahun dengan tenaga kerja 96 orang. Pabrik direncanakan didirikan sekitar Kutai Timur, Sangatta, Kalimantan Timur yang merupakan daerah yang mudah untuk akses batubara sebagai bahan baku yang digunakan pada produksi hidrogen. Dari analisa ekonomi untuk pendirian pabrik hidrogen dibutuhkan investasi sebesar Rp 466.893.532.735. *Pay Out Time* (POT) 2,47 tahun, *Internal Rate of Return* 20%, *Shut Down Point* (SDP) sebesar 19,56% dan *Break Event Point* (BEP) sebesar 44,48%. Berdasarkan pertimbangan ekonomi dan evaluasi ekonomi diatas, maka pabrik hidrogen dari batubara kapasitas 190.000 ton/tahun layak untuk dipertimbangkan ketahap perancangan berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Priambodo, E. Dewita, and S. Ariyanto, "Pra-Rancangan Primary Reformer Pada Pabrik Hidrogen yang Dikopel Dengan OLTN HTGR," 2012.
- [2] A. N. Amartya, R. V. Pramudiska, M. Nabilla, P. Agustin, M. F. Rizkiana, and H. W. Amini, "Pra Rancangan Pabrik Asam Sulfat Dari Hidrogen Sulfida Dengan Kapasitas Produksi 150.000 Ton/Tahun," 2023.
- [3] F. S. Sukma, "Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Hidrogen Sianida Dengan Proses Andrussow Kapasitas 18.200 Ton/Tahun," *Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya*, 2021.
- [4] N. M. Randa, "Pra Rancangan Pabrik Hidrogen Dari Biogas Plant Menggunakan Metode Chemical Looping Dengan Kapasitas 44.000 Ton/Tahu," *Universitas Bung Hatta*, 2022.
- [5] F. Junianti, "Produksi Hidrogen Dari Sabut Kelapa Melalui Pretreatment Air Subkritis Dan Hidrolisis Enzimatik," 2016.
- [6] F. A. S. Assagaf, "Pra Rencana Pabrik Hidrogen dari Natural Gas dengan Metode Steam Methane Reforming dan Pemurnian PSA (Pressure Swing Adsorbent)," 2020.
- [7] N. Hidayanti, "Prarancangan Pabrik Hidrogen Peroksida Proses Autooksidasi 2-Ethyl Anthraquinone Kapasitas 40.000 Ton Per Tahun," 2005.

- [8] W. Indriyanto and A. A. Akbar, "Pra Rancangan Pabrik Hidrogen Melalui Proses Gasifikasi Batubara Kapasitas 25.000 Ton/Tahun," *Skripsi Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret*, 2012.
- [9] B. A. Wibowo and A. N. Rahman, "Pra Rancangan Pabrik Hidrogen Dari Syngas Batu Bara Kapasitas 10.000 Ton/Tahun," 2020.
- [10] I. R. Hutagalung, A. Jabbar, M. Rambe, and & Nazlina, "Perencanaan Kebutuhan Kapasitas Produksi Pada Pt XYZ," 2013.
- [11] A. Choirunnisa and A. Mustain, "Penentuan Kapasitas Produksi Dan Seleksi Proses Pra Rancangan Pabrik Kimia Bioetanol Gel Kapasitas 5000 Ton/Tahun," *Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 8, no. 1, pp. 86–93, 2022, [Online]. Available: <http://distilat.polinema.ac.id>
- [12] Y. S. P. P and B. E. Putra, "Pra Rancangan Pabrik Hidrogen Dari Syngas Batu Bara Kapasitas 20.000 Ton/Tahun," *Konsentrasi Teknik Kimia Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta*, 2018.
- [13] Aqilah Az zahirah, & Oktaviana, A. E. N. A. (2025). The Effect of Impurities on Nickel Content In Ore Samples Using Oven and Roasted Preparation Methods. *Journal of Green Chemical and Environmental Engineering*, 1(2), 117-125. <https://doi.org/10.63288/jgcee.v1i2.10>
- [14] F. P. Putri, D. Ernia, and N. Dewi, "Seleksi Proses Dan Penentuan Kapasitas Pabrik Pada Pra-Rancangan Pabrik Bubuk Kaldu Jamur Tiram," *Jurnal teknologi Separasi*, vol. 8, no. 3, pp. 502–508, 2022, [Online]. Available: <http://distilat.polinema.ac.id>
- [15] R. Yolandha Parapat, S. Noviyana Rosa, V. Dwi Pratiwi, and R. Kurniawan, "ANALISIS EKONOMI PRA-RANCANGAN PABRIK BIO-OIL DARI TONGKOL JAGUNG MENGGUNAKAN PROSES PIROLISIS CEPAT," 2023.
- [16] N. Feranika, D. Ernia, and N. Dewi, "Analisis Ekonomi Pra Rancangan Pabrik Kimia Pembuatan Bubuk Kaldu Jamur Tiram Kapasitas 5000 Ton/Tahun," *Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 9, no. 1, pp. 50–58, 2023, [Online]. Available: <http://distilat.polinema.ac.id>