

PRARANCANGAN PABRIK SIKLOHEKSANA DARI BENZENA DAN HIDROGEN DENGAN PROSES HIDROGENASI KAPASITAS 5.000 TON/TAHUN

Liza Lestari^{1*}, Oktefany Kusuma Rawei¹

¹Program Studi S-1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

Jl. A. Yani Km. 35,5 Banjarbaru 70714

*Corresponding Author: 2010814220046@mhs.ulm.ac.id

Abstrak

Sikloheksana merupakan senyawa turunan benzena yang digunakan sebagai pelarut nonpolar untuk varnish, resin, lemak, minyak, lilin, penghilang cat, pada pembuatan nilon, dan untuk ekstraksi minyak atsiri. Pabrik ini direncanakan akan berdiri pada tahun 2029 dengan kapasitas 5000 ton/tahun di daerah Gresik, Jawa Timur dengan luas tanah sebesar $\pm 20.000 \text{ m}^2$. Pabrik beroperasi selama 330 hari dalam setahun dengan jumlah tenaga kerja 110 orang. Pembuatan sikloheksana menggunakan proses hidrogenasi, dimana proses ini dilakukan dengan mereaksikan benzena dan hidrogen di dalam reaktor batch dengan bantuan katalis Ru-Pt. Reaktor beroperasi pada kondisi temperatur 60°C dan tekanan 1 atm. Di dalam reaktor terjadi reaksi yang bersifat ireversibel, dan eksotermis. Konversi yang dihasilkan adalah 90%. Produk yang telah dipisah dari katalis dialirkan menuju mixer dengan solvent sulfolane. Selanjutnya menuju dekanter untuk memisahkan komponen berdasarkan berat jenisnya. Produk atas dari dekanter berupa benzene, air dan sikloheksana akan dialirkan menuju menara distilasi untuk memurnikan produk utama berupa sikloheksana 97%. Kemudian produk dialirkan ke tangki penyimpanan produk. Hasil Analisa ekonomi didapat modal investasi sebesar Rp. 492.200.150.273,99 dan diperoleh hasil penjualan yaitu sebesar Rp. 745.000.000.000. Selain itu diperoleh juga Return of Investment (ROI) sebelum pajak sebesar 15,49% dan Return of Investment (ROI) sesudah pajak sebesar 10,07%. Pay Out Time (POT) sebelum pajak 3,92 tahun dan Pay Out Time (POT) sesudah pajak sebesar 4,98 tahun. Sehingga diperoleh Break Event Point (BEP) sebesar 53% dan Shut down point (SDP) sebesar 23%. Berdasarkan pertimbangan hasil evaluasi tersebut, maka pabrik sikloheksana dengan kapasitas 5.000 ton/tahun ini layak untuk didirikan.

Kata kunci: Benzena, Hidrogen, Hidrogenasi, Ru-Pt, Sikloheksana.

1. Pendahuluan

Perkembangan industri dan persaingan antar negara dalam bidang industri saat ini semakin meningkat, sehingga Indonesia dituntut untuk mampu bersaing. Indonesia ditargetkan menjadi negara maju pada tahun 2045, maka adanya peluang yang cukup baik dalam sektor industri kimia di masa yang akan datang diharapkan mampu berperan dalam meningkatkan pendapatan negara. Kondisi tersebut sangat ditunjang dengan kebijakan pemerintah Indonesia dalam mendukung berkembangnya industri kimia. Selain itu, kegiatan penelitian dan pengembangan di bidang teknologi industri

merupakan salah satu faktor penunjang dalam mempercepat pertumbuhan industri- industri di Indonesia.

Sikloheksana merupakan senyawa turunan benzena yang berwujud cair pada temperatur kamar dan tekanan atmosferik. Sikloheksana digunakan sebagai pelarut nonpolar untuk varnish, resin, lemak, minyak, lilin, penghilang cat, pada pembuatan nilon, dan untuk ekstraksi minyak atsiri. Selain itu, sikloheksana digunakan dalam pembuatan asam adipat, benzena, sikloheksanon, sikloheksanol, sikloheksil klorida, nitrosikloheksana, dan bahan



bakar padat untuk kompor kemah serta digunakan dalam rekristalisasi industri steroid (Gad, 2014).

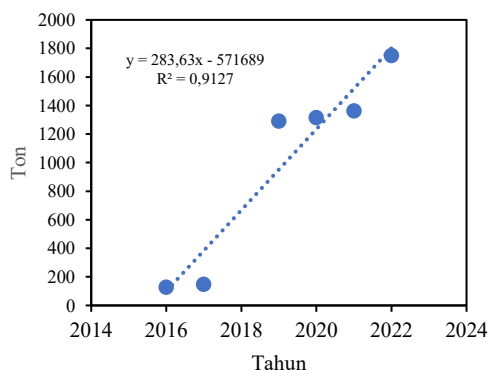
Perkembangan Sikloheksana pada tahun 2023 popularitasnya meningkat pada aplikasi produksi tekstil untuk sektor otomotif, produk sikloheksana berkontribusi dalam meningkatkan daya tahan dan kinerja komponen otomotif. Menurut reports Market.us (2023) ukuran pasar sikloheksana pada tahun 2023 sebesar 26,15 miliar USD dan diperkirakan akan terus meningkat 5,2% selama periode. Dari data impor sikloheksana di Indonesia pada tahun 2016-2023 rata-rata sebesar 1.500 ton/tahun. Konsumen utama sikloheksana adalah industri tekstil 54%, caprolactam 39%, lainnya meliputi bahan pelarut, bahan insektisida dan plasticizers, 7%, pasar untuk sikloheksana sangat besar dan dapat membantu perekonomian di Indonesia serta mengatasi kekurangan dalam negeri.

Data impor sikloheksana di Indonesia dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data Impor Sikloheksana di Indonesia (BPS, 2024)

No.	Tahun	Jumlah (ton/tahun)
1	2016	127,988
2	2017	146,337
3	2019	1291,148
4	2020	1313,901
5	2021	1361,713
6	2022	1749,451

Dapat diperkirakan jumlah kebutuhan impor sikloheksana di Indonesia pada tahun 2029 didapatkan dari perhitungan metode linear sebagai berikut:



Gambar 1. Tren Impor Sikloheksana

$$y = 283,63x - 571689 \quad \dots(1.1)$$

$$y = 283,63 (2029) - 571689$$

$$y = 3845,46 \text{ ton/tahun}$$

Keterangan:

y = besar data pada tahun berdiri pabrik

x = tahun berdiri pabrik

Dinamika pasar sikloheksana menurut Data Bridge Market Research meningkatnya permintaan dan konsumsi sikloheksana di dunia disebabkan meningkatnya popularitas produk nilon di berbagai industri, seperti tekstil, komponen otomatis dan meningkatnya permintaan sikloheksana oleh industri minyak dan gas. Produk sikloheksana diharapkan dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri dan dapat diekspor ke negara lain.

Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan sikloheksana di Indonesia, perhitungan kebutuhan impor sikloheksana di negara lain dan data kapasitas pabrik sikloheksana yang berdiri di dunia dapat disimpulkan kapasitas pabrik sikloheksana yang akan didirikan pada tahun 2029 adalah 5.000 ton/tahun. Pabrik yang akan didirikan di Indonesia selain untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri juga ditargetkan untuk diekspor ke wilayah Asia dan Eropa.

Pabrik sikloheksana direncanakan berlokasi di Kabupaten Cilacap, Provinsi Jawa Tengah. Pemilihan lokasi berdasarkan atas ketersediaan lahan yang cukup, area transportasi yang lancar, serta dekat dengan sumber bahan baku maupun pasar, serta dekat dengan sungai serayu sebagai penyedia air utilitas. Bentuk hukum perusahaan yang direncanakan adalah Perseroan Terbatas dan bentuk organisasi yaitu garis dan staff dengan total karyawan sebanyak 110 orang.

2. Deskripsi Proses

Proses pembuatan sikloheksana dapat dilakukan dengan dua cara berdasarkan perbedaan bahan baku yaitu proses hidrogenasi benzena dan proses *ptroleum fractionation*. Perbandingan proses dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Berdasarkan pilihan proses pembuatan sikloheksana di atas, maka dalam perancangan dipilih metode proses hidrogenasi menggunakan bahan benzena dan hidrogen dengan bantuan katalis Ru-Pt



lebih menguntungkan karena reaksi terjadi dengan suhu dan tekanan operasi yang relatif rendah yaitu 60 °C dan 1 atm dengan konversi reaksi sikloheksana yang mencapai 90%.

Tabel 2. Perbandingan Proses Pembuatan Sikloheksana

Parameter	Hidrogenasi Benzena	Petroleum Fractination
Bahan Baku	Benzena dan hidrogen	Crude oil
Fasa Reaksi	Gas-Cair	Cair
Katalis	Ru-Pt	-
Konversi Produk	90%	60%
Tekanan Operasi	1 atm	5 – 50 atm
Suhu	60 °C	425 – 550 °C
Jenis Reaktor	Bubble reactor	CSTR

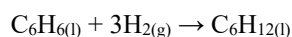
Proses hidrogenasi benzena lebih lanjut dapat dijelaskan dalam beberapa tahapan berikut:

1. Tahap Persiapan Bahan Baku

Bahan baku benzena fase cair dalam tangki penyimpanan (F-110) disimpan pada suhu 30oC dan tekanan 1 atm dengan kemurnian 99,9%. Kemudian dialirkan menggunakan pompa menuju reaktor fluidized untuk direaksikan dengan hidrogen dan katalis Ru-Pt. Bahan baku hidrogen fase gas dalam tangki gas (F-120) yang disimpan pada suhu 35oC dan tekanan 5 atm. Kemudian dialirkan menuju expander (G-121) untuk menurunkan tekanannya menjadi 1 atm. Keluaran expander diumpankan ke reaktor fluidized bed (R-210). Selanjutnya katalisator Ruthenium – Platinum fase padat dalam tangki penyimpanan (F-140) disimpan pada suhu 30oC dan tekanan 1 atm ditransportasikan menggunakan belt conveyor untuk dimasukkan ke dalam reaktor.

2. Tahap Pembentukan Produk

Bahan baku yang telah sesuai dengan kondisi operasi masuk ke dalam reaktor fluidized (R-210) pada kondisi fase gas-cair. Reaksi berlangsung secara isothermal pada kondisi temperatur 60oC dan pada tekanan 1 atm selama 6 jam. Perbandingan benzena dan hidrogen adalah 1 : 3 mol. Reaksi yang terjadi adalah.



3. Tahap Pemurnian

Hasil keluaran reaktor berupa fase cair yaitu benzena, cyclohexane dan air dan fase gas yaitu hidrogen. Fase gas akan dialirkan menuju tangki penyimpanan (F-310) kemudian fase cair yang keluar dari bawah reaktor akan dialirkan menuju mixer (M-310) dan ditambahkan pelarut sulfolane. Hasil mixer (M-310) dialirkan menuju dekanter (H-320) untuk dipisahkan berdasarkan berat jenis dan kelarutannya. Di dalam dekanter (H-320) dipisahkan menjadi fase ringan dan fase berat. Fase berat yang berupa campuran solvent dan benzena ini dialirkan menuju WTP, sedangkan fraksi ringan yang berupa sikloheksana dan air diumpankan ke menara distilasi (D-330) untuk memisahkan produk sikloheksana dari campuran. Hasil atas menara distilasi yang berupa sikloheksana dengan kemurnian yang sesuai pasaran dialirkan menuju tangki penyimpanan sikloheksana (F-340), sedangkan hasil bawah menara distilasi akan dialirkan ke WWTP.

Menurut tinjauan termodinamika, dapat diketahui suatu reaksi yang berlangsung melepas panas (eksotermis) atau membutuhkan panas (endotermis) dengan data dan perhitungan berikut.

Tabel 3. Data ΔH_f pada suhu 298 K

Komponen	ΔH_{f298} (kJ/mol)
Benzena	49,09
Sikloheksana	-156,23
Hidrogen	0

Perhitungan Entalpi pada suhu 298 K

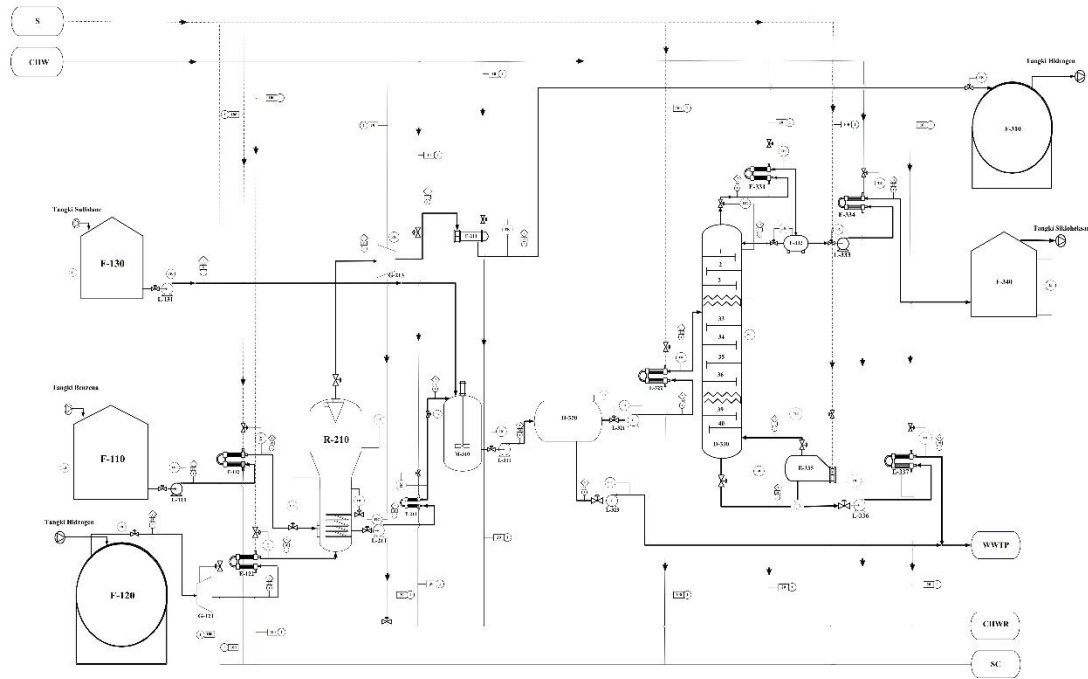
$$\begin{aligned}\Delta H_{r298} &= (\Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}}) \\ &= (-156,23) - (49,08) - 3(0) \\ &= -205 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Nilai ΔH_{r298} untuk reaksi pembentukan sikloheksana menunjukkan nilai negatif, sehingga reaksi berlangsung secara eksotermis atau melepas panas. Selanjutnya, dapat diketahui suatu reaksi bersifat spontan atau tidak spontan dengan menghitung nilai energi bebas Gibbs dengan data dan perhitungan pada tabel 4.

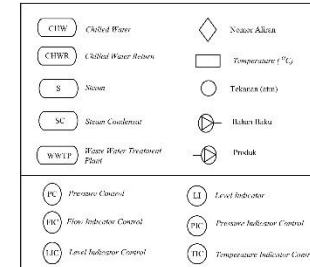
Nilai ΔG_{r298} untuk reaksi pembentukan sikloheksana menunjukkan nilai negatif, sehingga reaksi berlangsung secara spontan. Dan, untuk mengetahui suatu reaksi bersifat *irreversibel* atau



**PRARANCANGAN PABRIK SIKLOHEKSANA DARI BENZENA DAN HIDROGEN
MENGUNAKAN PROSES HIDROGENASI DENGAN
KAPASITAS 5.000 TON/TAHUN**



Komponen	Neraca Massa (kg/jam)													
	Arus													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
C ₆ H ₆	985.3199	-	98.5320	-	-	98.5320	11.2864	87.2456	21.2981	13.2514	9.0291	2.6858	0.42851	2.2573
H ₂ O	9.9527	0.0758	10.0286	-	-	10.0286	10.0286	-	23.4191	14.5711	8.1857	0.1193	0.01904	0.1003
H ₂	-	75.7938	-	7.5794	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C ₄ H ₈ O ₂ S	-	-	-	-	320.2217	320.2217	-	320.2217	-	-	-	-	-	-



30	F-310	Tangki hidrogen	1
29	F-340	Tangki produk	1
28	E-337	Cooler 04	1
27	E-336	Pompa 8	1
26	E-335	Reboiler	1
25	E-334	Cooler 03	1
24	E-333	Pompa 7	1
23	F-332	Tangki Akumulator	1
22	E-331	Kondensor	1
21	D-330	Menara Distilasi	1
20	L-323	Pompa 6	1
19	L-322	Heater 03	1
18	L-321	Pompa 5	1
17	H-320	Dekanter	1
16	L-331	Pompa 4	1
15	M-310	Mixer	1
14	E-214	Cooler 02	1
13	L-213	Pompa 3	1
12	E-212	Cooler 01	1
11	G-211	Kompresor	1
10	R-210	Reaktor	5
9	F-140	Gudang Katalis	1
8	L-131	Pompa 2	1
7	F-130	Tangki Sulfonasi	1
6	E-122	Heater 02	1
5	G-121	Ekspander	1
4	F-120	Tangki Hidrogen	3
3	F-112	Heater 01	1
2	L-111	Pompa 1	1
1	F-110	Tangki Benzene	1

No	Kode	Nama Alat	Jumlah
Dikerjakan Oleh : LEZA LESTARI (2010014220604) OKTEFANI KUSUMA RAYE (2010014220610)			
Dosen Pembimbing : PRIMATA MARDINA, S.T., M.Eng., Ph.D. NIP. 19010342006042402			
PRARANCANGAN PABRIK SIKLOHEKSANA DARI BENZENA DAN HIDROGEN MENGGUNAKAN PROSES HIDROGENASI DENGAN KAPASITAS 5000 TON/TAHUN			
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMBUK MANGKURAT BANGKALARA 2024			

Gambar 2. Process Engineering Flow Diagram Pabrik Sikloheksana Kapasitas 5.000 Ton/Tahun

reversible dengan menghitung nilai konstanta kesetimbangan (K).

Tabel 4. Data ΔG_f pada suhu 298 K

Komponen	ΔH_{f298} (kJ/Kmol)
Benzena	124,52
Sikloheksana	26,68
Hidrogen	0

Perhitungan Energi Gibbs pada suhu 298 K

$$\begin{aligned}\Delta G_{r298} &= (\Delta G_{\text{produk}} - \Delta G_{\text{reaktan}}) \\ &= (26,68) - (124,52) - 3(0) \\ &= -97,7 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_{298} &= \exp[-\Delta G_{r298}/(RT)] \\ &= \exp[-(-97,7)/(0,008314 \times 298)] \\ &= \exp[39,4018] \\ &= 1,294 \times 10^{17}\end{aligned}$$

Menurut perhitungan tersebut, maka reaksi pembentukan sikloheksana berlangsung ke arah kanan atau produk (*irreversible*).

Reaksi pembentukan sikloheksana merupakan reaksi yang mengikuti kinetika reaksi orde 0, dengan konstanta laju reaksi (k) berikut (Liu, dkk., 2015):

$$\begin{aligned}k &= 1,76 \times 10^4 \text{ l/jam.MPa} \\ X &= 90\% \\ t &= 6 \text{ jam}\end{aligned}$$

Menurut perhitungan neraca massa reaktor, laju alir massa masuk serta keluar reaktor (R-210) dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Neraca Massa Reaktor (R-210)

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
	Arus 1	Arus 2	Arus 3	Arus 4
C ₆ H ₆	985,320	-	98,532	-
H ₂ O	9,953	0,076	10,029	-
H ₂	-	75,794	-	7,579
C ₆ H ₁₂	-	-	955,002	-
Subtotal	995,273	75,870	1063,563	7,579
Total	1071,142		1071,142	

3. Utilitas

Unit utilitas adalah unit yang mendukung operasi dari unit produksi, di mana bekerja sebagai penyedia kebutuhan rutin baik sanitasi maupun produksi. Unit utilitas menyediakan beberapa unit yaitu adanya unit penyediaan *steam*, penyediaan air, penyediaan listrik, penyediaan bahan bakar, unit pengelolaan limbah, penyediaan udara, serta unit

refrigerasi amonia. Sumber air yang digunakan berasal dari sungai serayu, serta pembangkit listrik pada pabrik menggunakan AC-generator yang menggunakan bahan bakar berupa *diesel oil*. Kebutuhan listrik utama *disupply* dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Kebutuhan utilitas keseluruhan yang diperlukan dalam operasi pabrik pupuk DAP dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Kebutuhan utilitas pada Pabrik (NH₄)₂HPO₄

Kebutuhan	Jumlah
Steam	454,94 kg/jam
Air Pendingin	24232,03 kg/jam
Air Sanitasi	86,66 kg/jam
Listrik	393,77 kW
Bahan bakar	336,68 L/jam

4. Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi diperhitungkan sebagai upaya penentuan kelayakan pabrik baik itu keuntungan maupun kerugian. Berdasarkan perhitungan, suatu pabrik dapat dikatakan layak apabila memenuhi kewajiban finansial serta dapat memberikan keuntungan yang layak bagi perusahaan.

Untuk mengetahui kelayakan pembangunan suatu pabrik, dapat diketahui dari beberapa parameter ekonomi yaitu *Percent Profit on Sales* (POS), *Percent Return On Investment* (ROI), *Pay Out Time* (POT), *Net Present Value* (NPV), *Interest Rate of Return* (IRR), *Break Even Point* (BEP), dan *Shut Down Point* (SDP). Hasil analisis kelayakan pabrik sikloheksana dapat dilihat pada **Tabel 9**.

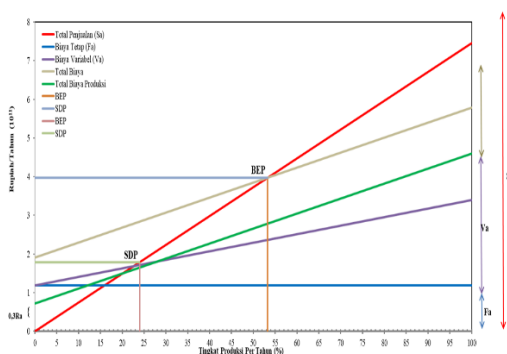
Tabel 9. Analisa Ekonomi

Parameter	Nilai	Batasan	Ket
ROI	10,07%	Minimal 10%	Layak
POT	4,98 th	Maksimal 5 th	Layak
IRR	12%	>10%	Layak
BEP	53%	40 – 60%	Layak
SDP	24%	20 – 40%	Layak

Return on investment (ROI) merupakan parameter keuntungan suatu pabrik yang didasarkan pada modal investasi. *Pay out time* (POT) merupakan lamanya atau waktu yang dibutuhkan agar modal dapat dikembalikan dengan keuntungan yang suatu pabrik. *Interest rate of return* (IRR) merupakan perkiraan tingkat bunga di masa



yang akan datang yang mana tepat dapat menutup pengeluaran modal. *Break Event Point* (BEP) merupakan suatu kondisi di mana tidak adanya keuntungan maupun kerugian sehingga kondisi ini merupakan kondisi minimum produksi suatu produk untuk pabrik dapat tetap berjalan. *Shut down point* merupakan kondisi di mana suatu pabrik lebih baik untuk ditutup karena lebih murah biaya pembelian daripada harus memproduksi. Beberapa penyebabnya yaitu adanya pengeluaran dari variabel yang terlalu tinggi. Grafik analisis kelayakan pabrik berdasarkan penilaian ekonomi untuk pabrik pupuk DAP dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Grafik BEP dan SDP Pabrik Sikloheksana kapasitas 5.000 Ton/tahun

5. Kesimpulan

Prarancangan pabrik sikloheksana dari benzena dan hisrogen dengan proses hidrogenasi benzena kapasitas 5.000 ton/tahun dapat diperoleh kesimpulan bahwa pabrik ini akan didirikan di Kabupaten Cilacap, Provinsi Jawa Tengah pada tahun 2029 dengan luas tanah sebesar 25.000 m². Bentuk hukum perusahaan yang direncanakan adalah Perseroan Terbatas (PT) dan bentuk organisasi direncanakan adalah garis dan staf dengan jumlah karyawan yang dibutuhkan sebanyak 110 orang. Kelayakan pembangunan pabrik dari beberapa faktor ekonomi, yaitu didapatkan nilai ROI 10,07%, POT 4,98 tahun, IRR 12%, BEP 53% dan SDP 24%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pabrik sikloheksana ini layak untuk dipertimbangkan pendiriannya dan dapat diteruskan ke tahap perencanaan pabrik.

DAFTAR PUSTAKA

- BPS. 2024. *Impor Ekspor* [Online]. Available: <https://www.bps.go.id> [Accessed 4 Februari 2024].
- Fuller, D. L. dan Greensfelder, B. S. (1942): *Production of cyclohexane from petroleum*. san francisco
- Gad, S. (2014): *Cyclohexane*. Elsevier.
- Liu, H., Fang, R., Li, Z. dan Li, Y. (2015): Solventless hydrogenation of benzene to cyclohexane over a heterogeneous Ru–Pt bimetallic catalyst. *Chemical Engineering Science*. 122. 350–359
- Peter, M. S., Timmerhaus, K. D. dan West, R. E. (2003): *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. McGraw-Hill Education.
- PubChem (2023): *PubChem Compound Summary for CID 16028 Tetrabutylammonium Bromide*. 27 Maret, 2024
- PubChem (2024): *PubChem Compound Summary for CID 241 Benzene*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/241>. 15 Februari, 2024
- PubChem (2024): *PubChem Compound Summary for CID 783 Hydrogen*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/783>. 15 Februari 2024
- PubChem (2024): *PubChem Compound Summary for CID 8078 cyclohexane*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/8078>. 15 Februari, 2024
- PubChem (2024): *PubChem Compound Summary for CID 23939 Platinum*. 20 Februari 2024, 2024
- Ulrich, G. D. (1984): *A Guide to Chemical Engineering process design and economics*. Wiley.

