

Studi Kelayakan Pabrik *Dodecylbenzene Sulfonic Acid* dari Sulfur Dioksida Pada Gas Buang PLTU

Putri Zahra At Taufiq¹⁾ & Eduardus Budi Nursanto²⁾

^{1,2)} Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pertamina, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan, Indonesia Telp. (021) 29044308
Website: <https://universitaspertamina.ac.id/>, E-mail: putriz23att@gmail.com¹⁾, eduardus.bn@universitaspertamina.ac.id²⁾

Abstrak

Peningkatan populasi berbanding lurus dengan kebutuhan energi. Fosil sebagai sumber energi utama dalam berbagai industri, salah satunya adalah energi listrik yang diperoleh melalui PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap). PLTU menghasilkan gas buang dengan komposisi yang beragam, sulfur dioksida (SO_2) merupakan salah satu gas yang dihasilkan dan diatur konsentrasinya sebagai gas buang. Pemanfaatan SO_2 sebagai bahan baku pembuatan *Dodecylbenzene Sulfonic Acid* yang merupakan senyawa surfaktan dapat menurunkan konsentrasi SO_2 dalam gas buang PLTU hingga 98%. Studi kelayakan pabrik ini diuji melalui ROI (Return of Investment), POT (Pay Out Time), dan BEP (Break Even Point). Melalui analisis techno-economic ini diperoleh ROI sebesar 35,81%, POT selama 2,18 tahun, dan BEP 15,76%. Dengan demikian, pabrik ini layak didirikan menurut analisis techno-economic.

Kata kunci: analisis techno-economic, *Dodecylbenzene Sulfonic Acid*, PLTU, SO_2 , studi kelayakan

Abstract

The increase in population is directly proportional to the demand for energy. Fossil fuels serve as the main energy source in various industries, including electricity generation through PLTU (Steam Power Plant). These plants produce flue gases containing various components, among which sulfur dioxide (SO_2) is a major pollutant whose concentration is strictly regulated. Utilizing SO_2 as a raw material for producing *Dodecylbenzene Sulfonic Acid* – a surfactant compound – can reduce SO_2 emissions from PLTU by up to 98%. The feasibility of this plant was assessed through a techno-economic study using ROI (Return of Investment), POT (Pay Out Time), and BEP (Break Even Point) analyses. The results indicate an ROI of 35.81%, a POT of 2.18 years, and a BEP of 15.76%, demonstrating that the proposed plant is economically feasible to establish.

Keyword: *Dodecylbenzene Sulfonic Acid*, SO_2 , Steam Power Plant, techno-economic study

1 PENDAHULUAN

Dalam produksi deterjen, *Dodecylbenzene Sulfonic Acid* (DBSA) menjadi salah satu bahan utama yang banyak digunakan[1]. Data impor Indonesia menunjukkan peningkatan terhadap DBSA hingga 19.089 ton/tahun dan permintaan impor beberapa negara di Asia Tenggara menunjukkan angka 109.376 ton/tahun pada 2023[2]. Kondisi ini menunjukkan adanya peluang pengembangan pabrik DBSA di Indonesia untuk mengurangi ketergantungan impor serta meningkatkan devisa negara.

DBSA umumnya diproduksi melalui proses sulfonasi antara *Dodecylbenzene* dengan SO_3 , oleum, atau asam sulfat (H_2SO_4). Salah satu agen sulfonasi yang digunakan, yaitu SO_3 , dapat diperoleh melalui oksidasi SO_2 dengan Oksigen[1], [3]. Sementara itu, SO_2 (sulfur dioksida) merupakan polusi udara yang mendominasi negara berkembang dan umumnya diproduksi melalui pembakaran bahan bakar fosil, salah satunya sebagai gas buang PLTU (Pembangkit

Listrik Tenaga Uap)[4]. Di atmosfer, SO_2 merupakan polutan utama yang dapat berubah menjadi sulfat hingga 30% dari total massa partikel halus ($\text{PM}_{2.5}$), yang berdampak negatif terhadap iklim, ekosistem, dan manusia[4], [5].

Pemanfaatan SO_2 dari gas buang PLTU sebagai bahan baku dalam pembuatan DBSA berpotensi memberikan dua keuntungan, yaitu mengurangi emisi polutan dan menyediakan sumber bahan baku lokal bagi industri surfaktan. Untuk mendukung pengembangan produksi DBSA yang berkelanjutan ini, diperlukan studi kelayakan secara *techno-economic*. Dalam penelitian ini dilakukan studi kelayakan pabrik *Dodecylbenzene Sulfonic Acid* dari gas buang PLTU dengan kapasitas produksi sebesar 72.452 ton/tahun.

2 LANDASAN TEORI

Techno-Economics Analysis merupakan pendekatan sistematis yang menggabungkan aspek teknis proses dengan evaluasi ekonomi untuk

menentukan kelayakan pendirian suatu pabrik. Dalam analisis ini, performa teknologi, seperti konversi, selektivitas, yield, konsumsi utilitas dan kapasitas produksi diterjemahkan secara kuantitatif menjadi parameter biaya menggunakan model proses dan data desain[6]. Data desain pada pabrik Dodecylbenzene Sulfonic Acid (DBSA) dari SO₂ ini didasarkan pada neraca massa dan energi untuk menentukan aliran SO₂, kebutuhan dodecylbenzene, dan kondisi operasinya.

Melalui data tersebut, estimasi harga peralatan dapat ditentukan. Estimasi harga peralatan proses merupakan komponen dasar dalam analisis ekonomi pabrik kimia. Biaya peralatan yang diperoleh melalui literatur atau vendor harus disesuaikan dengan kondisi tahun analisis karena nilai ekonominya akan berubah dari waktu ke waktu. Oleh karena itu, CEPCI (*Chemical Engineering Plant Cost Index*) digunakan untuk melakukan penyesuaian harga alat dari tahun referensi ke tahun perhitungan dengan hubungan [7], [8]:

$$C_{new} = C_{ref} \times \frac{CEPCI_{new}}{CEPCI_{ref}} \quad (1)$$

CAPEX (*Capital Expenditure*) mencakup seluruh biaya modal yang diperlokkan untuk membangun fasilitas proses, termasuk pembelian peralatan, instalasi, konstruksi sipil, perpipaan, instrumensasi, hingga biaya *engineering* dan kontingensi. Biaya CAPEX dihitung berdasarkan harga peralatan yang telah disesuaikan dengan CEPCI[7], [9]. OPEX (*Operational Expenditure*) mencakup biaya operasional tahunan yang terdiri dari bahan baku, utilitas, bahan kimia tambahan, tenaga kerja, pemeliharaan, perbaikan, dan penanganan limbah. OPEX sering menjadi komponen terbesar dalam arus kas tahunan dan sangat mempengaruhi keuntunganabilitas jangka panjang suatu proses. Studi *techno-economic* yang dilakukan oleh Lim et al (2025) menunjukkan bahwa sensitivitas ekonomi terhadap OPEX biasanya lebih tinggi dibandingkan CAPEX, terutama pada proses energi-intensif, sehingga optimasi konsumsi energi dan bahan baku menjadi strategi utama untuk meningkatkan kelayakan ekonomi[10].

3 METODOLOGI PENELITIAN

Biaya setiap peralatan dihitung berdasarkan dimensi masing-masing unit alat. Seluruh peralatan dalam proses ini telah dirancang sesuai dengan kebutuhan kapasitas pabrik sebesar 72.452 ton/tahun. Estimasi biaya peralatan merujuk pada referensi Aries dkk[9]. Harga peralatan disesuaikan dengan *Chemical Engineering Plant Index* (CEPI) sebagai faktor koreksi terhadap perubahan harga dari tahun referensi ke 2025[9].

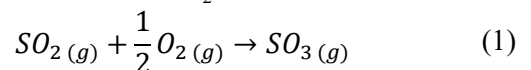
Untuk menganalisis kelayakan ekonomi, perhitungan mengacu pada metode yang dijelaskan oleh Aries dkk. dan Timmerhaus dkk[9], [11].

Kelayakan proses dievaluasi berdasarkan CAPEX (*Capital Expenditures*) dan OPEX (*Operational Expenditures*). Perhitungan CAPEX dan OPEX dibutuhkan untuk menentukan parameter penting dalam studi kelayakan ekonomi seperti ROI (*Return of Investment*), POT (*Pay Out Time*), dan BEP (*Break Even Point*).

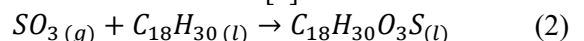
4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 menunjukkan proses produksi dari pabrik DBSA yang disajikan dalam *block flow diagram*. Kapasitas produksi pabrik ini sebesar 72.452 ton/tahun. Pada proses ini diperlukan bahan baku utama berupa SO₂ yang dialirkan melalui gas buang PLTU melalui proses absorpsi dengan *solvent* N-N-dimethylcyclohexylamine (DMCHA) dan liquid paraffin (LP), serta dodecylbenzene yang dialirkan dari *storage tank*. Selain itu, terdapat O₂ sebagai oksidator pada proses oksidasi SO₂ yang diperoleh melalui udara dan diproses melalui adsorber (AD-102) untuk menghilangkan kandungan air pada udara sesuai dengan **Gambar 2**.

Selanjutnya, SO₂ mengalami proses oksidasi di dalam reaktor *multibed* (R-101). Pada proses ini, reaksi dibantu oleh katalis V₂O₅. Menurut Kamata, reaksi ini terjadi pada suhu 573-733K (299,85-459,85°C) dengan tekanan yang mendekati tekanan atmosfer[12]. Konversi SO₂ menjadi SO₃ mencapai 98% pada suhu 400°C dan 1.12 atm[3]. Reaksi ini merupakan reaksi eksotermis sehingga terjadi peningkatan suhu setelah keluar dari reaktor sehingga dibutuhkan pendingin untuk menyesuaikan suhu dengan kondisi operasi reaktor sulfonasi. Berikut adalah reaksi oksidasi SO₂:



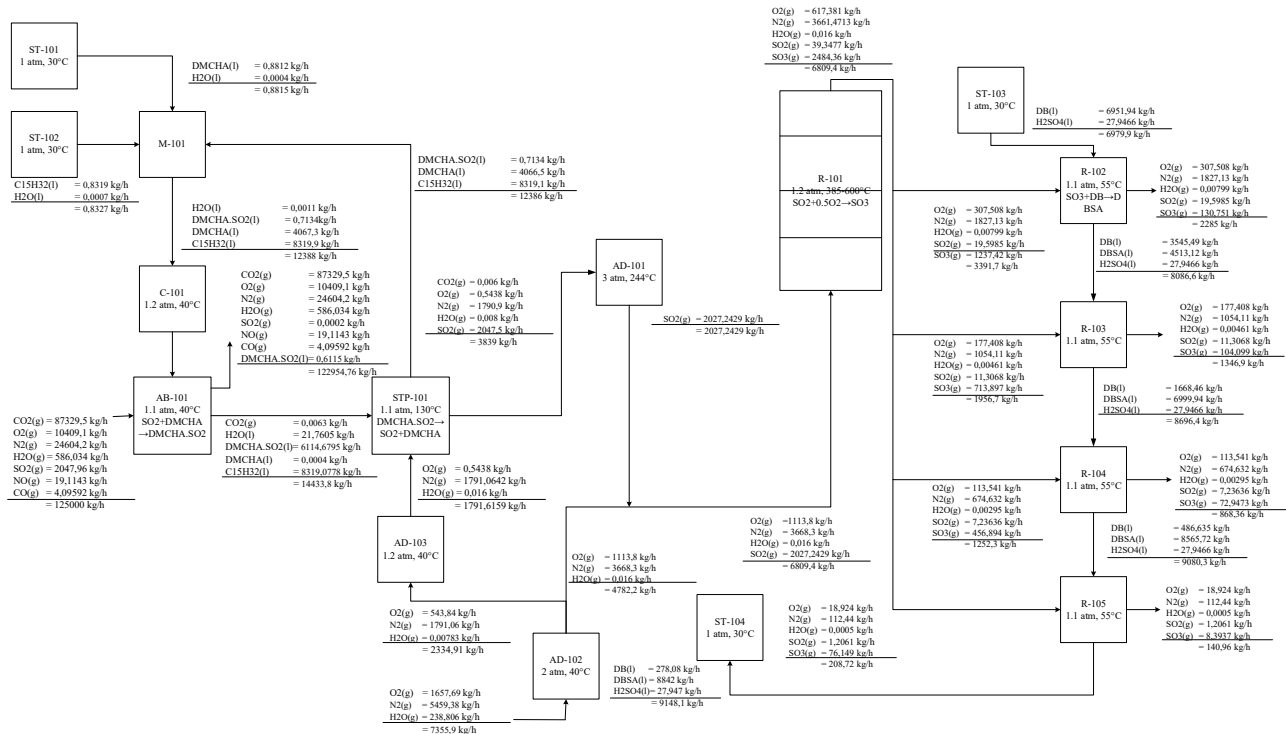
Setelah SO₃ terbentuk, Dodecylbenzene sebagai *raw material* disesuaikan suhunya menjadi 45°C sesuai dengan kondisi operasi reaktor sulfonasi, yaitu 32.2-54.4°C dan 6-15 psig. Jenis reaktor yang digunakan adalah *bubble reactor* (R-102) dengan stirrer dan jaket untuk mengontrol suhu reaktor karena reaksi ini berjalan secara eksotermal[1].



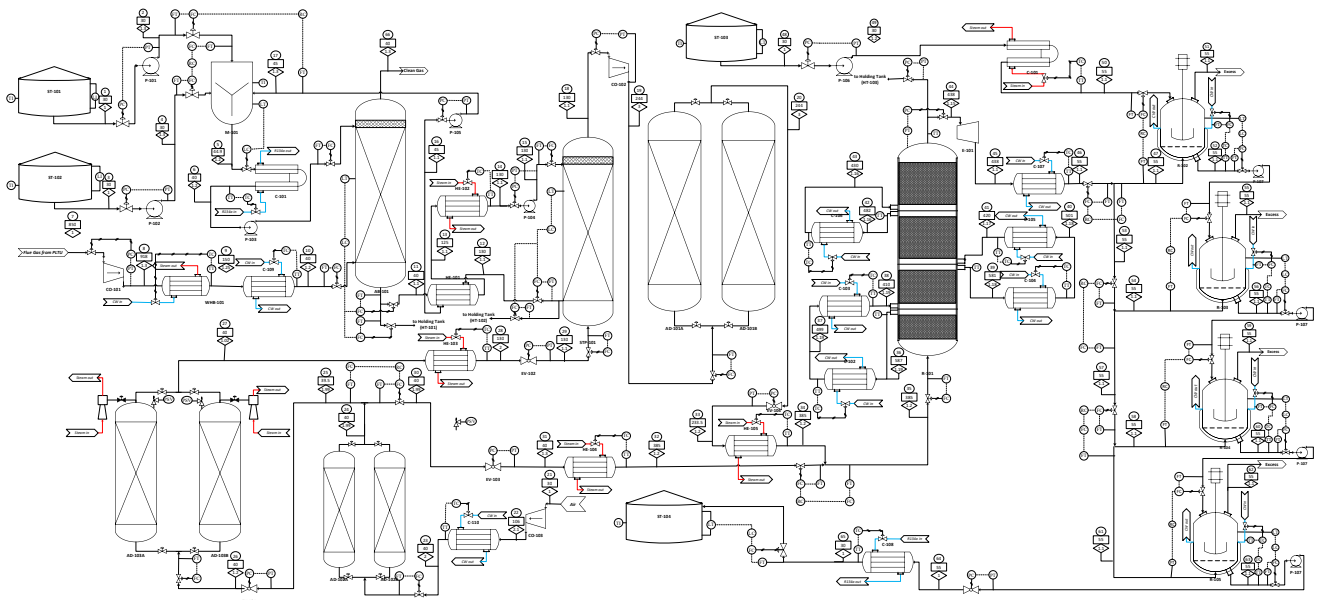
Tabel 1 menunjukkan CAPEX (*Capital Expenditures*) untuk pabrik DBSA sebesar Rp2.483.799.879.559,47. **Tabel 2** menunjukkan *manufacturing cost* dan **Tabel 3** untuk *general expenses* pada pabrik DBSA. OPEX (*Operating Expenditures*) adalah jumlah dari *manufacturing cost* dan *general expenses*. Nilai OPEX untuk pabrik ini adalah Rp1.338.837.711.471,75.

Berdasarkan kapasitas produksi pabrik ini, hasil penjualan produk terdapat pada

Tabel 4. Jumlah hasil penjualan yang didapatkan sebesar Rp2.574.117.521.212,53. Dari **Tabel 3**, keuntungan sebelum pajak dapat ditentukan.



Gambar 1. BFD (Block Flow Diagram) dari pabrik DBSA



Gambar 2. PFD (Process Flow Diagram) dari pabrik DBSA

$$\text{Profit sebelum pajak} = \text{Penjualan} - \text{OPEX} \quad (3)$$

Menurut UU No. 36 Pasal 17 Ayat 1(b) Tahun 2018, pajak industri sebesar 28%. Dengan demikian, keuntungan setelah pajak sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Profit setelah pajak} &= \text{Profit sebelum pajak} \\ &\quad - (\text{Pajak} \\ &\quad \times \text{Profit sebelum pajak}) \end{aligned} \quad (4)$$

Tabel 1. Capital expenditure (CAPEX) of factory

No	Komponen	Harga, Rp
1	Harga Peralatan	243.243.983.526,80
2	Instalasi Alat	114.324.672.257,60
3	Instrumentasi	87.567.834.069,65
4	Piping	165.405.908.798,23
5	Kelistrikan	36.486.597.529,02
6	Insulasi	19.459.518.682,14
7	Bangunan	109.459.792.587,06

8	<i>Yard Improvements</i>	24.324.398.352,68
9	Tanah	134.750.000.000,00
10	<i>Service facilities (Utilitas)</i>	194.595.186.821,44
Total Direct Cost		1.129.617.892.624,62
1	<i>Engineering and supervision</i>	72.973.195.058,04
2	Biaya konstruksi	99.730.033.245,99
3	<i>Legal expenses</i>	9.729.759.341,07
4	Biaya kontraktor	53.513.676.375,90
5	<i>Contingency</i>	107.027.352.751,79
Total Indirect Cost		342.974.016.772,79
Fixed Capital Cost		1.472.591.909.397,41
1	Kas	30.503.362.243,27
2	Bahan Baku dan Utilitas	618.935.623.544,67
3	<i>Start-up</i>	147.259.190.939,74
4	Piutang Dagang	214.509.793.434,38
Working Capital		1.011.207.970.162,06
Capital Expenditures Cost		2.483.799.879.559,47

Tabel 2. *Manufacturing cost of factory*

No	Komponen	Harga, Rp
1	Bahan Baku dan Utilitas	619.551.264.778,14
2	Pekerja	15.570.027.933,60
3	<i>Maintenance</i>	103.081.433.657,82
4	<i>Plant Supplies</i>	15.462.215.048,67
5	Royalti dan Paten	40.165.131.344,15
Direct Manufacturing Cost		793.830.072.762,39
7	<i>Payroll Overhead</i>	284.750.318.545,75
8	Laboratorium	93.718.639.803,02
9	<i>Plant Overhead</i>	59.994.718.507,31
Indirect Manufacturing Cost		438.463.676.856,08
10	Depresiasi	91.329.623.174,14
11	Pajak Properti	488.419.585,17
12	Asuransi	14.725.919.093,97
Fixed Manufacturing Cost		106.543.961.853,28
Manufacturing Cost		1.338.837.711.471,75

Tabel 3. *General expenses of factory*

No	Komponen	Harga, Rp
1	Administrasi	26.024.189.546,16
2	Distribusi	160.660.525.376,61
3	Penelitian	93.718.639.803,02
General Expenses		280.403.354.725,79

Tabel 4. *Keuntungan of factory*

No	Komponen	Harga, Rp
----	----------	-----------

1	Penjualan	2.574.117.521.212,53
2	<i>Manufacturing Cost (MC)</i>	1.058.434.356.745,96
3	<i>General Expenses (GE)</i>	280.403.354.725,79
4	Total Cost (MC+GE)	1.338.837.711.471,75
Keuntungan Sebelum Pajak		1.235.279.809.740,78
Keuntungan Setelah Pajak		889.401.463.013,36

Dengan menggunakan data dari **Tabel 1** sampai **Tabel 4**, *discounted value* (i) dapat dihitung untuk membuktikan keuntungan pada pendirian pabrik. Perhitungan *discounted value* dapat ditentukan dengan persamaan[11]:

$$WC + SV + \left(C \times \frac{(1+i)^N - 1}{i} \right) = (FC + WC) + (1+i)^N \quad (5)$$

Keterangan:

- WC : *working capital*
= Rp1,011,207,970,162.06
- SV : *salvage value*, terdiri dari harga bangunan dan tanah
= Rp244,209,792,587.06
- C : *cash flow*, terdiri dari keuntungan setelah pajak, depresiasi, dan *loan interest*
= Rp889,401,463,013.36
- FC : *fixed capital cost*
= Rp1,472,591,909,397.41
- i : *discounted value*
- N : *operational life of factory*
= 10 tahun

Discounted value (i) diperoleh dengan metode *trial and error* dan diperoleh nilainya, yaitu 72%. Nilai ini lebih besar dibandingkan rata-rata *saving deposito interest rate* di Indonesia yang nilainya 3%. Semakin besar *discounted value*-nya, maka membuktikan bahwa pabrik DBSA di Indonesia menguntungkan.

Aspek lain yang dapat mengukur kelayakan dari pendirian pabrik adalah ROI (*Return of Investment*) dan POT (*Pay Out Time*). ROI dan POT setelah pajak dapat dihitung berdasarkan persamaan[11]:

$$ROI = \frac{\text{keuntungan setelah pajak}}{TCI} \times 100\% \quad (6)$$

$$POT = \frac{TCI}{\text{keuntungan setelah pajak} + (0.1 \times TCI)} \times 100\% \quad (7)$$

Dari kedua persamaan tersebut dapat diperoleh nilai ROI sebesar 35,81%. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan nilai inflasi tertinggi di Indonesia dalam data tahun 2002-2025, yaitu pada tahun 2005 sebesar 18,38%[13]. Nilai ini menunjukkan bahwa investasi untuk pabrik DBSA dapat diterima. Selain itu, investasi dinilai memiliki risiko rendah jika memiliki POT kurang dari 5 tahun[9]. Dengan demikian, pabrik ini memiliki risiko investasi dan kegagalan yang

rendah karena nilai POT yang diperoleh sebesar 2,18 tahun.

BEP (*Break Event Point*) dan SDP (*Shut Down Point*) merupakan parameter lain untuk menilai kelayakan sebuah investasi. Nilai BEP dan SDP dihitung berdasarkan persamaan yang diperoleh dari referensi[11]. Nilai BEP yang diperoleh sebesar 15,76% berhubungan dengan kapasitas produksi yang biaya operasionalnya sama dengan keuntungannya. Nilai SDP yang diperoleh adalah 9,03% berhubungan dengan batas suatu pabrik melakukan *shutdown*. Jika kapasitas produksi kurang dari 9,03%, maka produksi harus dihentikan karena biaya operasional akan lebih tinggi dibandingkan keuntungan yang diterima.

5 SIMPULAN

Berdasarkan studi kelayakan yang telah dilakukan, pabrik Dodecylbenzene Sulfonic Acid dari SO₂ gas buang PLTU layak untuk didirikan di Indonesia. Nilai *discounted cash* (72%) yang lebih besar dibandingkan *saving deposito interest* di Indonesia (3%), membuktikan bahwa investasi untuk pabrik DBSA dari SO₂ gas buang PLTU menjadi hal yang menjanjikan. Selain itu, dengan nilai ROI 35,81% yang lebih besar dibandingkan laju inflasi di Indonesia selama 23 tahun terakhir pada 2005 (18,38%) dan POT selama 2,18 tahun membuktikan bahwa investasi pada pabrik ini menjanjikan.

KEPUSTAKAAN

- [1] W. H. de Groot, *Sulphonation Technology in the Detergent Industry*. Springer Netherlands, 1991. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=KkcbhFwGvA0C>
- [2] B. P. S. Indonesia, "Data Ekspor Impor - Badan Pusat Statistik Indonesia." Accessed: Oct. 21, 2025. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/exim>
- [3] M. R. Zaker, C. Fauteux-Lefebvre, and J. Thibault, "Modelling and Multi-Objective Optimization of the Sulphur Dioxide Oxidation Process," *Processes*, vol. 9, no. 6, 2021, doi: 10.3390/pr9061072.
- [4] K. Li *et al.*, "Atmospheric organic complexation enhanced sulfate formation and iron dissolution on nano α -Fe₂O₃," *Environ. Sci. Nano*, vol. 8, no. 3, pp. 698–710, Mar. 2021, doi: 10.1039/D0EN01220C.
- [5] H. Yang, W. Yang, X. Nan, N. Tang, and C. Han, "Significantly surfactant-enhanced photochemical conversion of SO₂ to sulfates on photosensitive substances," *J. Environ. Sci.*, vol. 156, pp. 539–548, Oct. 2025, doi: 10.1016/j.jes.2024.10.014.
- [6] G. A. Buchner, A. W. Zimmermann, A. E. Hohgräve, and R. Schomäcker, "Techno-economic Assessment Framework for the Chemical Industry—Based on Technology Readiness Levels," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 57, no. 25, pp. 8502–8517, Jun. 2018, doi: 10.1021/acs.iecr.8b01248.
- [7] R. Turton, R. C. Bailie, W. B. Whiting, and J. A. Shaeiwitz, *Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes*. in Prentice Hall International Series in the Physical and Chemical Engineering Sciences. Pearson Education, 2008. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=kWXyhVXztZ8C>
- [8] A. Mukherjee, J. A. Okolie, C. Niu, and A. K. Dalai, "Techno – Economic analysis of activated carbon production from spent coffee grounds: Comparative evaluation of different production routes," *Energy Convers. Manag. X*, vol. 14, p. 100218, May 2022, doi: 10.1016/j.ecmx.2022.100218.
- [9] R. S. Aries and R. D. Newton, *Chemical Engineering Cost Estimation*. Chemonomics, 1955. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=6fKmb-KJ5NwC>
- [10] J. T. Lim, E. Y.-K. Ng, and H. X. Ong, "Techno-Economic Analysis of Onsite Sustainable Hydrogen Production via Ammonia Decomposition with Heat Recovery System," *Sustainability*, vol. 17, no. 12, 2025, doi: 10.3390/su17125399.
- [11] M. S. Peters, K. D. Timmerhaus, and R. E. West, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. in McGraw-Hill chemical engineering series. McGraw-Hill Education, 2003. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=yNZTAAAMA AJ>
- [12] H. Kamata, H. Ohara, K. Takahashi, A. Yukimura, and Y. Seo, "SO₂ oxidation over the V₂O₅/TiO₂ SCR catalyst," *Catal. Lett.*, vol. 73, no. 1, pp. 79–83, Apr. 2001, doi: 10.1023/A:1009065030750.
- [13] "Data Inflasi." Accessed: Nov. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.bi.go.id/id/statistik/indikator/data-inflasi.aspx>