Evaluasi Kinerja dan Kelayakan Finansial Sintesis Asam Salisilat Skala Industri Menggunakan Metode Kolbe-Schmitt

Rindu Alifa Khaila Balqis[1], Vibianti Dwi Pratiwi[2], Prasdyandi Yanuar Samramadhan[3], Safira Luthfia Romadhona[4], Erlinda Ningsih[5]
Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional, Bandung[1,2,3]
Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[3,4,5]
e-mail: erlindaningsih84@gmail.com[5]

ABSTRACT

Salicylic acid ($C_7H_6O_3$) is a vital aromatic carboxylic acid extensively used in pharmaceuticals, cosmetics, and chemical intermediate manufacturing. Indonesia currently satisfies its domestic salicylic acid consumption through importation. To mitigate import dependence, stimulate growth of the domestic chemical industry, and optimize national industrial value-added, establishing a commercial-scale salicylic acid production plant is strategic. This preliminary plant design evaluates the synthesis of salicylic acid from phenol using sodium hydroxide via the Kolbe-Schmitt carboxylation route. The core manufacturing sequence comprises three main reaction stages: neutralization in a continuous stirred-tank reactor to form sodium phenolate; direct solid-gas carboxylation with carbon dioxide at 185 °C and 1 atm to yield sodium salicylate; and subsequent acidification with sulfuric acid to precipitate salicylic acid crystals, followed by rotary drying. Based on projected national consumption and export-import dynamics, a production capacity of 60,000 tons/year is established for operation in the Cikande Industrial Estate, Serang Regency, Banten. Economic feasibility analysis reveals a Fixed Capital Investment (FCI) of IDR 903.10 billion, Total Capital Investment (TCI) of IDR 1.062 trillion, and Total Production Cost (TPC) of IDR 2.783 trillion. Financial metrics yield an Internal Rate of Return (IRR) of 54.91%, Pay Out Time (POT) of 2.30 years, and a Break-Even Point (BEP) of 33.58%, confirming that the proposed plant is technically and economically viable

Kata kunci: *Fenol, Kolbe-Schmitt, Natrium Hidroksida, Pra-Perancangan Pabrik, Salicylic Acid*

ABSTRAK

Asam salisilat ($C_7H_6O_3$) merupakan senyawa intermediet esensial yang banyak digunakan dalam industri farmasi, kosmetik, dan tekstil, serta dalam sintesis metil salisilat. Selama ini kebutuhan asam salisilat dalam negeri dipenuhi melalui impor dari berbagai negara. Ketergantungan tersebut membuka peluang strategis untuk mendirikan pabrik asam salisilat di Indonesia guna menekan defisit impor, mengoptimalkan pemanfaatan bahan baku lokal, serta menciptakan lapangan kerja baru. Perancangan pabrik ini mengkaji sintesis asam salisilat dari bahan baku fenol dan natrium hidroksida melalui proses Kolbe-Schmitt. Rangkaian proses utama meliputi tiga tahap reaksi, yaitu netralisasi untuk membentuk natrium fenolat, karboksilasi dengan gas CO_2 pada suhu 185 °C dan tekanan 1 atm untuk menghasilkan natrium salisilat, serta pengasaman dengan asam sulfat untuk mengendapkan asam salisilat murni yang kemudian dikeringkan menggunakan rotary dryer. Berdasarkan analisis data ekspor-impor BPS, kapasitas pabrik ditetapkan sebesar 60.000 ton/tahun dan direncanakan beroperasi di Kawasan Industri Cikande, Serang, Banten. Evaluasi ekonomi menunjukkan nilai Fixed Capital Investment (FCI) sebesar Rp903,10 miliar, Total Capital Investment (TCI) sebesar Rp1,062 triliun, dan Total Production Cost (TPC) sebesar Rp2,783 triliun. Parameter profitabilitas menghasilkan Internal Rate of Return (IRR) sebesar 54,91%, Pay Out Time (POT) selama 2,30 tahun, dan Break-Even Point (BEP) 33,58%, sehingga pabrik ini dinilai sangat layak didirikan
Kata kunci: Asam Salisilat, Fenol, Natrium Hidroksida, Pra Perancangan Pabrik, Proses Kolbe-Schmitt.

PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai salah satu negara berkembang di kawasan Asia Tenggara, terus memacu akselerasi pertumbuhan sektor industri manufaktur dan industri kimia hilir. Sektor industri kimia memiliki peranan vital dalam struktur perekonomian nasional, baik sebagai pemasok bahan baku intermediet bagi industri hilir maupun sebagai penggerak ekspor nonmigas [1]. Penguatan kemandirian industri bahan kimia dasar dan turunan ditujukan untuk meminimalkan ketergantungan pada impor, menghemat cadangan devisa negara, serta membuka lapangan kerja terampil secara luas. Salah satu komoditas kimia organik bernilai tinggi yang kebutuhannya terus meningkat seiring dinamika industri kosmetik, farmasi, polimer, dan agrokimia adalah asam salisilat (2-hydroxybenzoic acid, $C_7H_6O_3$) [2].

Secara struktur kimia, asam salisilat tersusun atas sebuah cincin benzena yang tersubstitusi dengan gugus hidroksil (-OH) dan karboksil (-COOH) pada posisi orto. Karakteristik fungsional ganda ini menjadikannya reagen kunci dalam sintesis asam asetilsalisilat (aspirin), metil salisilat (analgesik topikal), fiksatif parfum, penstabil pewarna tekstil, serta agen keratolotik aktif dalam formulasi perawatan kulit [3], [4]. Hingga saat ini, pasokan asam salisilat di dalam negeri masih sangat bergantung pada impor dari beberapa negara produsen seperti Tiongkok, India, Prancis, Jerman, Jepang, Korea Selatan, dan Amerika Serikat [5]. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), profil konsumsi dan impor asam salisilat di Indonesia selama periode 2019–2024 menunjukkan pergerakan yang dinamis, sebagaimana dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data Pertumbuhan Impor Asam Salisilat di Indonesia (2019–2024)

Tahun	Total Impor (kg/tahun)	Laju Pertumbuhan (%)
2019	618.783	0,00
2020	474.766	-23,28
2021	570.522	20,17
2022	704.471	23,48
2023	589.990	-16,25
2024	662.022	12,21
Rata-Rata Pertumbuhan (i)	-	3,27

Sumber: Olahan data Badan Pusat Statistik (2025)

Berdasarkan analisis tren impor pada Tabel 1, diperoleh nilai rata-rata laju pertumbuhan impor tahunan (i) sebesar 3,27%. Untuk memprediksi kebutuhan impor pada tahun perancangan (2030), digunakan metode pendekatan pertumbuhan discounted (bunga majemuk) sesuai Persamaan (1) [6]:

$$F = P\,(1 + i)^{n} \qquad (1)$$

Di mana F adalah estimasi kuantitas pada tahun rencana perancangan 2030 (kg/tahun), P adalah kuantitas acuan tahun 2023 (589.990 kg/tahun), i merupakan rata-rata laju pertumbuhan tahunan (3,27%), dan n adalah selisih rentang tahun proyeksi (7 tahun). Melalui substitusi nilai ke dalam Persamaan (1), diperoleh proyeksi kebutuhan impor asam salisilat tahun 2030 sebesar 738.836,08 kg/tahun (atau setara 738,84 ton/tahun). Selanjutnya, penetapan kapasitas produksi pabrik dievaluasi berdasarkan keseimbangan neraca makro pasar domestik dan peluang ekspor regional, berdasarkan data pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Proyeksi Pasar dan Kebutuhan Asam Salisilat Indonesia (Tahun 2030)

Variabel Neraca Pasar	Kuantitas Proyeksi (ton/tahun)
Jumlah Impor (M1)	67,29
Produksi Domestik Eksisting (M2)	0,00
Kebutuhan Ekspor Potensial (M4)	144.398,84
Konsumsi Domestik (M5)	74,77

Berdasarkan kesetimbangan massa pasar makro: M1 + M2 + M3 = M4 + M5, kapasitas teoritis yang diperlukan (M3) dirumuskan sebagai: M3 = (M4 + M5) - (M1 + M2) = (144.398,84 + 74,77) - (67,29 + 0) = 144.406,32 ton/tahun. Mempertimbangkan bahwa pendirian pabrik ini berstatus sebagai industri baru (greenfield investment) guna meminimalkan risiko pasar dan saturasi kapasitas awal, maka target pemenuhan pasar ditetapkan sebesar ~40% dari total potensi kebutuhan, yaitu 57.762,26 ton/tahun, yang kemudian dibulatkan menjadi 60.000 ton/tahun (181,82 ton/hari dengan basis operasi 330 hari kerja efektif/tahun).

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam perancangan pabrik kimia, pemilihan rute sintesis memegang peranan krusial terhadap keandalan operasional, fleksibilitas teknologi, aspek keselamatan kerja, serta keekonomian pabrik secara menyeluruh [7]. Secara komersial dan berdasarkan literatur paten, terdapat tiga jalur utama produksi asam salisilat:

proses Kolbe-Schmitt termodifikasi [8], proses saponifikasi minyak gandapura (metode Olmsted) [9], dan proses biosintesis mikrobiologis (metode Rogoff) [10]. Perbandingan komprehensif ketiga proses tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Matriks Perbandingan Teknologi Sintesis Asam Salisilat

Parameter Komparasi	Proses Kolbe-Schmitt	Proses Olmsted	Proses Rogoff
Bahan Baku Utama	Fenol (C6H5OH) & NaOH padat/larutan, gas CO2, H2SO4	Minyak gandapura (metil salisilat alam) & NaOH teknis	Hidrokarbon naftalena / mikroba Pseudomonas sp.
Kondisi Operasi Reaksi	T = 185 °C, P = 1 atm, fase gas-padat/cair	T = 90 °C, P = 1 atm, fase cair-padat	T = 30 °C, P = 1 atm, sistem bioproses
Karakter Reaksi & Durasi	Eksotermis, waktu tinggal ~5 jam	Eksotermis, waktu tinggal ~3 jam	Eksotermis, waktu fermentasi ~162 jam
Mode Operasi Pabrik	Kontinu (continuous system)	Partaian (batch system)	Partaian (batch system multi-tahap)
Pengendalian & Instrumentasi	Sederhana, loop kontrol suhu dan tekanan standar	Cukup rumit karena pemisahan fase dan pemulihan metanol	Sangat rumit (sterilisasi ketat, aerasi, kultur bakteri 72 jam)
Aspek Ekonomis & Raw Material	Bahan baku melimpah dalam negeri, unit operasi konvensional	Bahan baku minyak gandapura langka dan berbiaya tinggi	Bahan baku banyak, konsumsi energi aerasi tinggi, yield rendah
Yield / Konversi Produk	98,0 %	93,7 %	70,0 %

Dari analisis matriks komparasi pada Tabel 3, proses Kolbe-Schmitt dipilih sebagai teknologi terbaik untuk perancangan pabrik ini dengan pertimbangan: (1) ketersediaan bahan baku fenol dan natrium hidroksida yang terjamin secara domestik, (2) yield perolehan produk yang sangat tinggi mencapai 98%, (3) kemudahan pengoperasian secara kontinu pada skala industri besar, serta (4) efisiensi investasi peralatan tanpa memerlukan reaktor biokimia khusus berbiaya tinggi.

METODE

Metodologi perancangan pabrik asam salisilat ini disusun secara sistematis, meliputi penetapan neraca massa makro, neraca panas pada setiap unit operasi, spesifikasi teknis peralatan utama, evaluasi tata letak fasilitas, keselamatan kerja, hingga analisis kelayakan finansial. Tahapan proses sintesis menggunakan jalur Kolbe-Schmitt terbagi dalam 4 area utama:

1. Tahap pembentukan Natrium Fenolat (Reaktor Netralisasi)
   Bahan baku fenol cair (C6H5OH) direaksikan dengan larutan natrium hidroksida (NaOH 50%) di dalam Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) untuk netralisasi pada suhu 100–130 °C. Reaksi pembentukan garam natrium fenolat berlangsung secara eksotermis menurut persamaan kimia:
   $C_6H_5OH_{(l)} + NaOH_{(aq)} \rightarrow C_6H_5ONa_{(aq)} + H_2O_{(g)}$
   Campuran pekat kemudian dialirkan ke unit dehidrasi vakum untuk menghilangkan kandungan air hingga terbentuk padatan serbuk natrium fenolat anhidrat
2. Tahap Karboksilasi Kolbe-Schmitt (Reaktor Karboksilasi)
   Padatan natrium fenolat anhidrat diumpankan ke dalam reaktor karboksilasi kontak gas-padat dengan injeksi gas karbon dioksida (CO_2) bertekanan pada suhu operasi 185 °C. Pada kondisi ini terjadi penataan ulang intramolekuler menghasilkan garam natrium salisilat:
   $C_6H_5ONa(s) + CO_{2(g)} \rightarrow C_6H_4(OH)COONa_{(s)}$
   Konversi reaksi karboksilasi dijaga optimal pada 98% melalui pengendalian suhu distribusi jaket pemanas
3. Tahap Pengasaman dan Kristalisasi (Reaktor Asidifikasi)
   Garam natrium salisilat yang keluar dilarutkan kembali dalam air proses, lalu dialirkan ke tangki reaktor pengasaman yang dilengkapi pengaduk. Asam sulfat teknis (H_2SO_4 98%) ditambahkan secara terukur pada pH 2–3 untuk mengonversi natrium salisilat menjadi endapan kristal asam salisilat mentah dengan produk samping natrium sulfat:

$2\ C_6H_4(OH)COONa_{(aq)} + H_2SO_{4(aq)} \rightarrow 2\ C_6H_4(OH)COOH_{(s)}\downarrow + Na_2SO_{4(aq)}$

4. Tahap Pemisahan, Pemurnian, dan Pengeringan Produk
   Bubur (slurry) kristal asam salisilat dipisahkan dari larutan induknya (mother liquor Na_2SO_4) menggunakan unit Centrifuge Filter. Cake kristal kemudian dicuci dengan air demineralisasi dingin untuk menghilangkan sisa ion sulfat bebas, selanjutnya dikeringkan dalam Rotary Dryer menggunakan udara panas pada 80–90 °C hingga kadar air < 0,5%. Produk kering dengan kemurnian 99% dihaluskan dan dikemas dalam kantong 25 kg siap didistribusikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi Lokasi Pabrik dan Tata Letak Fasilitas

Pabrik asam salisilat ini direncanakan berlokasi di Kawasan Industri Cikande, Kabupaten Serang, Provinsi Banten. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada pertimbangan ketersediaan infrastruktur industri terpadu, kedekatan dengan sumber bahan baku utama (PT Chandra Asri Petrochemical dan PT Asahimas Chemical di Cilegon untuk pasokan fenol dan caustic soda), akses logistik strategis melalui Jalan Tol Jakarta-Merak dan Pelabuhan Ciwandan/Merak untuk pengiriman domestik maupun ekspor, serta ketersediaan jaringan utilitas listrik dan air industri yang andal [11].

Karakteristik Operasional dan Manajemen Sumber Daya Manusia

Pabrik beroperasi secara kontinu selama 24 jam per hari dengan 330 hari kerja efektif per tahun (35 hari dialokasikan untuk jadwal perawatan berkala/turnaround maintenance). Struktur organisasi perusahaan dirancang sebagai badan hukum Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem garis dan staf (line and staff system). Jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan diestimasi sebanyak 207 orang, terdiri dari jajaran manajemen, tenaga ahli proses/kimia, operator shift pabrik (dibagi dalam 3 shift kerja dengan 4 regu operasional), tim pemeliharaan, divisi penjaminan mutu (QC/QA), serta unit penunjang administratif dan keselamatan kerja (HSE).

Analisis Kelayakan Finansial dan Parameter Ekonomi

Evaluasi ekonomi teknik dilakukan untuk menilai profitabilitas, risiko investasi, serta kelayakan pendirian pabrik asam salisilat berkapasitas 60.000 ton/tahun. Perhitungan didasarkan pada estimasi biaya peralatan indeks Marshall & Swift serta metode Peters & Timmerhaus [12]. Ringkasan komponen investasi modal dan indikator profitabilitas disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Ringkasan Evaluasi Ekonomi Pabrik Asam Salisilat Kapasitas 60.000 Ton/Tahun

Parameter Finansial	Nilai Perhitungan	Keterangan / Batas Standar
Fixed Capital Investment (FCI)	Rp 903.101.605.130,32	Investasi modal tetap (peralatan, perpipaan, sipil)
Working Capital Investment (WCI)	Rp 159.370.871.494,00	Modal kerja operasional 1 siklus produksi
Total Capital Investment (TCI)	Rp 1.062.472.476.624,32	TCI = FCI + WCI
Total Production Cost (TPC)	Rp 2.783.264.681.231,00	Biaya manufaktur tahunan dan pengeluaran umum
Internal Rate of Return (IRR)	54,91 %	Jauh di atas suku bunga perbankan (6,00%)
Pay Out Time (POT)	2,30 tahun	Umur ekonomis pabrik 10 tahun (maks 5 tahun)
Break-Even Point (BEP)	33,58 %	Kapasitas impas berada pada rentang ideal (30–60%)
Shut Down Point (SDP)	18,45 %	Batas minimum kapasitas operasi sebelum penutupan

Hasil analisis finansial membuktikan bahwa nilai Internal Rate of Return (IRR) sebesar 54,91% jauh melampaui tingkat suku bunga komersial (6%), yang menandakan kapasitas pengembalian investasi yang sangat tinggi. Nilai Pay Out Time (POT) selama 2,30 tahun menunjukkan periode modal kembali yang sangat singkat dibandingkan dengan umur pabrik 10 tahun. Selain itu, nilai Break-Even Point (BEP) sebesar 33,58% menunjukkan ketahanan bisnis yang kuat terhadap fluktuasi penurunan kapasitas penjualan di pasar.

KESIMPULAN

Berdasarkan kajian teknis dan evaluasi ekonomi teknik pra-perancangan pabrik asam salisilat dari fenol dan natrium hidroksida dengan proses Kolbe-Schmitt, dapat ditarik kesimpulan bahwa pabrik berkapasitas 60.000 ton/tahun yang direncanakan beroperasi di Kawasan Industri Cikande, Serang, Banten selama 330 hari/tahun memiliki kelayakan tinggi untuk direalisasikan. Proses Kolbe-Schmitt terbukti unggul dengan konversi reaksi mencapai 98% serta operasi kontinu yang efisien. Dari tinjauan keekonomian, kebutuhan Total Capital Investment sebesar Rp1,062 triliun mampu menghasilkan Internal Rate of Return sebesar 54,91%, Pay Out Time selama 2,30 tahun, dan Break-Even Point sebesar 33,58%. Dengan demikian, pendirian pabrik ini layak secara teknis dan finansial serta berpotensi besar untuk memperkuat substitusi impor industri kimia nasional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS) atas penyediaan fasilitas riset, bimbingan akademik, serta dukungan institusional selama penyusunan praperancangan pabrik ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] F. Keyes, Industrial Chemicals, 4th ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1975.
[2] K. Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, 4th ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1991.
[3] J. Olmsted, “Synthesis of aspirin: A general chemistry experiment,” J. Chem. Educ., vol. 75, no. 10, pp. 1261–1263, Oct. 1998.
[4] Ullmann's, Encyclopedia of Industrial Chemistry, 7th ed. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2012.
[5] Badan Pusat Statistik (BPS), “Data Ekspor dan Impor Komoditas Kimia Indonesia 2019–2024,” BPS RI, Jakarta, Laporan Statistik, 2025. [Daring]. Tersedia: http://bps.go.id.
[6] G. D. Ulrich, A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1984.
[7] D. M. Himmelblau, Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 6th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, Inc., 1996.
[8] X. Hu, “New process of solvent method to obtain salicylic acid,” R.O.C. Patent CN 1 119 314C, 2003.
[9] C. J. Geankoplis and J. F. Richardson, Transport Processes and Unit Operations, 3rd ed. Singapore: Pergamon Press, 1989.
[10] M. H. Rogoff, “Method for the preparation of salicylic acid,” U.S. Patent 3 420 741, Jan. 7, 1969.
[11] L. E. Brownell and E. H. Young, Process Equipment Design: Vessel Design. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1959.
[12] M. S. Peters and K. D. Timmerhaus, Plant Design and Economics for Chemical Engineers, 4th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Book Co., 1991.
[13] J. M. Smith and H. C. Van Ness, Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 3rd ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Book Co., 1975.
[14] J. M. Smith, Chemical Engineering Kinetics, 3rd ed. Singapore: McGraw-Hill Book Company, 1985.
[15] C. L. Yaws, Chemical Properties Handbook. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1999.