

# **PERANCANGAN TANGKI PENCUCIAN PEMURNIAN $K_2SO_4$ PADA PRARANCANGAN PABRIK $K_2SO_4$ DARI PENGOLAHAN SENYAWA SULFAT PADA AIR SUNGAI KALIPAIT BONDOWOSO**

Muhammad Dusturuddin Robbany dan Hardjono

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141,  
Indonesia

dusturuddin12@gmail.com 1; [hardjono@polinema.ac.id]

## **ABSTRAK**

Sungai Kalipait di Banyuwangi mengandung senyawa asam sulfat alami yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk sintesis kalium sulfat ( $K_2SO_4$ ). Namun, proses reaksi menghasilkan campuran garam seperti KCl dan NaCl yang menurunkan kemurnian produk. Untuk meningkatkan kemurnian  $K_2SO_4$ , dilakukan pemisahan berbasis kelarutan diferensial dalam metanol melalui proses pencucian. Penelitian ini bertujuan merancang tangki pencucian berbasis metanol yang sesuai untuk proses pemurnian tersebut. Perancangan dilakukan secara sistematis menggunakan pendekatan mekanikal dan termodinamika, serta mengacu pada standar *American Society of Mechanical Engineers – Boiler and Pressure Vessel Code* dan *American Petroleum Institute*. Hasil desain menunjukkan bahwa tangki memiliki diameter total 75,32 inci dan tinggi silinder 31,49 inci, dengan tutup atas dan bawah berbentuk *ellipsodial*. Tangki dilengkapi sistem agitasi tipe turbin enam bilah dengan panjang bilah 180 mm dan kebutuhan daya pengaduk sebesar 2,54 HP. Selain itu, disertakan empat *nozzle* fungsional untuk pemasukan, pengeluaran, ventilasi, dan pengamatan. Evaluasi kekuatan struktur menunjukkan bahwa ketebalan dinding dan sambungan telah memenuhi kriteria keselamatan operasi pada tekanan atmosferik. Dengan demikian, tangki pencucian ini layak diimplementasikan untuk proses pemurnian  $K_2SO_4$  berbasis metanol.

**Kata kunci:** perancangan, pemurnian,  $K_2SO_4$ ,

## **ABSTRACT**

*The Kalipait River in Banyuwangi contains natural sulfuric acid compounds that have potential to be utilized as raw materials for potassium sulfate ( $K_2SO_4$ ) synthesis. However, the reaction process produces a mixture of salts such as KCl and NaCl, which reduces the product purity. To increase the purity of  $K_2SO_4$ , a separation process based on differential solubility in metanol was carried out through washing. This study aims to design a metanol-based washing tank suitable for the purification process. The design was carried out systematically using mechanical and thermodynamic approaches and referred to American Society of Mechanical Engineers – Boiler and Pressure Vessel Code and American Petroleum Institute. The design results show that the tank has a total diameter of 75.32 inches and a cylindrical height of 31.49 inches, with ellipsoidal top and bottom heads. The tank is equipped with a six-blade turbine agitator, with a blade length of 180 mm and a power requirement of 2.54 HP. In addition, four functional nozzles are provided for feed, discharge, ventilation, and inspection. Structural strength evaluation indicates that the wall and joint thicknesses meet safety criteria for operation under atmospheric pressure. Therefore, the designed washing tank is considered feasible for implementation in the methanol-based purification process of  $K_2SO_4$ .*

**Keywords:** design, purification,  $K_2SO_4$

---

Corresponding author: Hardjono

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: hardjono@polinema.ac.id



## 1. PENDAHULUAN

Sungai Kalipait merupakan salah satu destinasi wisata yang berada di kawasan cagar alam Geopark Ijen, Kabupaten Bondowoso. Air sungai ini mengandung senyawa sulfat dalam bentuk  $H_2SO_4$  yang terbentuk secara alami melalui rembesan belerang dari Kawah Ijen. Kandungan senyawa sulfat tersebut berpotensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam proses produksi  $K_2SO_4$ , yang bernilai ekonomis tinggi serta digunakan secara luas dalam industri pupuk dan kimia [1].

Primahita, dkk (2024) telah melakukan prarancangan pabrik  $K_2SO_4$  dari pengolahan senyawa sulfat Sungai Kalipait dan diketahui bahwa hasil reaksi menghasilkan *mother liquor* yang mengandung campuran  $K_2SO_4$  sebagai produk utama, KCl sebagai reaktan berlebih, dan NaCl sebagai produk samping [1]. Proses pemurnian menjadi tahapan penting untuk meningkatkan kemurnian produk serta efisiensi proses industri. Penelitian oleh Iliuta, dkk (2022) menunjukkan bahwa kelarutan  $K_2SO_4$  dalam metanol dengan konsentrasi 80% berat pada suhu 298,15 K adalah 0%, sedangkan kelarutan NaCl sebesar 1,36% berat [2]. Selain itu, penelitian oleh Li, dkk (2022) juga mencatat bahwa kelarutan KCl dalam metanol sangat rendah, yakni sebesar 0,0736 mol/kg [3,4]. Fakta ini membuka peluang untuk menggunakan metanol sebagai media pencuci selektif dalam proses pemurnian  $K_2SO_4$  dari campuran garam.

Tangki pencucian (*wash tank*) menjadi komponen kunci dalam sistem pemurnian berbasis pencucian ini. Studi oleh Kumar, dkk (2021) menjelaskan rancangan tangki pencucian bertingkat lengkap dengan agitator dan katup kontrol aliran, yang terbukti mampu meningkatkan efektivitas pencucian dalam sistem pemrosesan garam [5]. Pendekatan perancangan tangki berdasarkan parameter teknik seperti waktu tinggal (*residence time*), sifat fluida, dan dimensi bejana [6- 8]. Waktu tinggal menjadi parameter penting yang menentukan efektivitas interaksi antara media pencuci dan senyawa garam, di mana kontak yang terlalu singkat dapat menyebabkan pemisahan yang tidak optimal [9].

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada integrasi data kelarutan terbaru dari sistem multikomponen garam dalam metanol, serta penerapannya dalam perancangan sistem pencucian garam yang disesuaikan untuk proses pemurnian  $K_2SO_4$  secara efisien. Tidak banyak penelitian sebelumnya yang secara spesifik merancang tangki pencucian untuk sistem ini dengan pendekatan berbasis kelarutan selektif dan waktu tinggal.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang tangki pencucian yang optimal dan sesuai untuk proses pemurnian  $K_2SO_4$ , guna meningkatkan efisiensi dan kemurnian produk akhir dalam proses produksi berskala industri.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian ini mencakup beberapa tahapan yang dirancang secara sistematis untuk mendukung keakuratan dan validitas dalam proses perancangan. Tahapan pertama dimulai dari pengumpulan data hasil perancangan pabrik sebagai dasar utama. Selanjutnya, dilakukan penerapan persamaan yang disusun secara berurutan berdasarkan literatur yang telah dibahas pada bab sebelumnya untuk membentuk model perancangan yang representatif.

Penetapan variabel-variabel proses dilakukan untuk keperluan perhitungan teknis, termasuk parameter desain utama seperti tekanan operasi, suhu, dan karakteristik fluida.

Sebagai bagian dari validasi teknis, dilakukan analisis kesesuaian terhadap standar dan regulasi internasional, yaitu:

- ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* (BPVC) khususnya *Section VIII*, untuk memverifikasi ketebalan dinding, desain sambungan pengelasan, dan penerapan faktor korosi yang sesuai untuk peralatan bertekanan.
- API *Standards* (API 650/653) digunakan untuk mengevaluasi desain *nozzle* pada tangki penyimpanan, guna memastikan kesesuaian terhadap persyaratan teknis dan keselamatan.

## 2.1. Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam perancangan tangki pencucian melibatkan pengumpulan informasi penting yang mencakup massa masuk dan keluar dari komponen yang diharapkan pada setiap aliran, suhu dan tekanan operasi, laju alir massa, densitas komponen serta persamaan yang mendukung proses perancangan [6-8].

## 2.2. Perancangan Bejana Pencuci

- Perhitungan Dimensi Bagian Bawah Bejana

Pada bagian bawah bejana digunakan alas jenis *conical* dengan volume perhitungan seperti tampak pada Persamaan nomor (1) [6]:

$$V_{conical} = \frac{1}{3} \pi r^2 h \quad (1)$$

Dimana:

$V_{conical}$  = volume tutup bejana bagian bawah (in<sup>3</sup>)

$\pi$  = konstanta matematika (3,14)

$r$  = jari – jari tutup bejana bagian bawah (in)

$h$  = ketinggian tutup bejana bagian bawah (in)

Ketinggian tutup bejana bagian bawah dapat dihitung dengan persamaan nomor (2) [6]:

$$h_{conical} = \tan(\vartheta) \times \frac{D_o}{2} \quad (2)$$

Dimana:

$\tan(\vartheta)$  = sudut tutup bejana bagian bawah

$D_o$  = diameter luar bejana bagian bawah (in)

Sudut tutup bejana bagian bawah dapat dicari dengan persamaan nomor (3) [6]:

$$\vartheta = \sqrt{\left(\frac{D}{D_s}\right)^{-1}} \quad (3)$$

Dimana:

$D$  = diameter tangka (in)

$D_s$  = diameter standar pada [6] (in)

Do dapat dicari dengan persamaan nomor (4) [7]:

$$Do = D + THB \quad (4)$$

Dimana:

D = diameter tangki, [6] (dengan rasio H=2D) (in)

THB = ketebalan bejana bawah tangki (in)

Ketebalan bejana bawah tangki dapat dihitung dengan persamaan nomor (5) [6]:

$$THB = \frac{\sqrt{(D^2 - R_{min}^2)}}{2\pi} \quad (5)$$

Dimana:

D = diameter tangki, [6] (dengan rasio optimum  $L_s = 2D$ ) (in)

$R_{min}$  = radius minimum (in)

$\pi$  = konstanta matematika (3,14)

b. Perhitungan Dimensi Silinder Bejana

Pada bagian silinder bejana digunakan persamaan perhitungan dimensi nomor (6) [6]:

$$V_{silinder} = D^2 \times \frac{L_s}{4} \quad (6)$$

Dimana:

D = diameter bejana (in)

$L_s$  = panjang optimum bejana (in)

Ketebalan silinder bejana dapat diketahui dengan perhitungan nomor (7) [6]:

$$TS = (PiDi) / (2SE - 1,2Pi) \quad (7)$$

Dimana:

Pi = tekanan internal pada tangki (psi)

Di = diameter bagian dalam tangki (in)

S = tegangan desain yang diizinkan

E = efisiensi pengelasan

c. Perhitungan Dimensi Bagian Atas Bejana

Pada bagian atas bejana digunakan penutup jenis *torispherical* dengan perhitungan dimensi nomor (8) [6]:

$$V_{torispherical} = 0,0000494 \times D^3 \quad (8)$$

Dimana:

D = diameter bejana (in)

Ketebalan bagian atas bejana dapat diketahui dengan persamaan nomor (9) [6]:

$$TBA = \frac{0,885 \times Pi \times Rc}{(S \times E) - (0,1 \times Pi)} \quad (9)$$

Dimana:

- $P_i$  = tekanan internal pada tangki (psi)  
 $R_c$  = *radius bagian atas bejana* (in)  
 $S$  = tegangan desain yang diizinkan  
 $E$  = efisiensi pengelasan

### 2.3. Perancangan *Agitator* pada Tangki Pencucian

#### a. Perhitungan Dimensi *Agitator*

Mengacu dari gambar 477 pada G.G Brown: *Unit Operations*, (1951) pengaduk yang digunakan adalah jenis turbin dengan enam bilah datar (*flat blade*) dan empat *baffle* [8]. Pemilihan ini didasarkan pada pertimbangan bahwa rentang viskositas pengaduk jenis tersebut sesuai dengan viskositas bahan pada tangki. Pada turbin jenis ini memiliki nilai ketentuan untuk:

**Tabel 1.** Ketentuan dimensi *Agitator*

Ketentuan	Nilai
$Z_i/D_i$	0,75
$D_t/D_i$	3
$W/D_t$	0,1
$L/D_t$	0,25
$Z_i/D_i$	3,9

Dimana:

- $D_t$  = diameter dalam tangki (in)  
 $Z_i$  = tinggi cairan dalam tangki (in)  
 $D_i$  = diameter pengaduk (in)  
 $L$  = Panjang *blade* (in)  
 $W$  = lebar *baffle* (in)  
 $Z_i/D_i$  = jarak pengaduk dari dasar reaktor (in)

Perhitungan didasarkan pada nilai diameter dalam tangki sebagai acuan awal untuk mengetahui nilai dimensi pengaduk yang lain berdasarkan nilai ketentuan yang didapat pada tabel data

#### b. Perhitungan Daya Pengadukan

Pada G.G Brown: *Unit Operations*, (1951) disajikan persamaan yang ditunjukkan pada nomor (10) dalam mencari daya pengadukan *agitator* sebagai berikut [8]:

$$P = \frac{P_0 \times \rho \times N^3 \times D_i^5}{g_c} \quad (10)$$

Dimana:

- $P$  = Tenaga pengaduk (HP)  
 $P_0$  = bilangan power dari bilangan *Reynold* fluida pada [9]  
 $N$  = kecepatan pengaduk (rph)  
 $D_i$  = diameter pengaduk (in)  
 $\rho$  = densitas fluida ( $\text{lb}/\text{ft}^2$ )

gc = gravitasi standar (32,174 ft/s<sup>2</sup>)

Kecepatan pengaduk dapat dicari dengan persamaan nomor (11) [7]:

$$\frac{WELH}{Dt} = \left( \frac{\pi \times Di \times N}{600} \right)^2 \quad (11)$$

Sehingga N :

$$N = \frac{600}{\pi \times Di} \times \sqrt{\frac{WELH}{2Dt}} \quad (12)$$

Dimana:

WELH = *water equivalent liquid height*

Di = diameter pengaduk (in)

Dt = diameter dalam tangki (in)

$\pi$  = konstanta matematika (3,14)

WELH dapat dicari dengan persamaan nomor (13) [7]:

$$WELH = (Di \times 'Zi/Di') \times sg \quad (13)$$

Dimana:

Di = diameter pengaduk (in)

Zi/Di = jarak pengaduk dari dasar reaktor (in)

sg = *specific gravity* fluida

Bilangan PO didapatkan dari grafik pada gambar 477 pada G.G Brown: *Unit Operations* dengan memperkirakan nilai bilangan *Reynold* dengan persamaan nomor (14) [8]:

$$Re = \frac{\rho \times D_i^2 \times N}{\mu} \quad (14)$$

Dimana:

$\rho$  = densitas fluida (lb/ft<sup>2</sup>)

Di = diameter pengaduk (in)

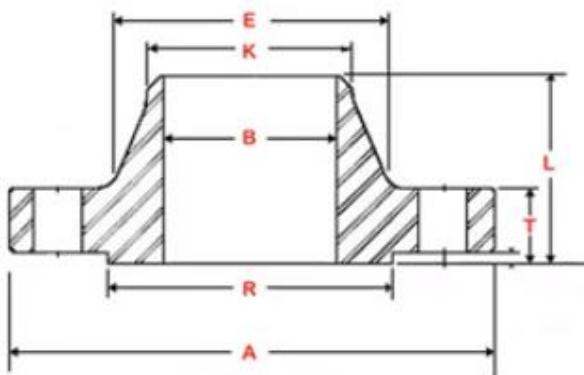
N = kecepatan pengadukan (rph)

$\mu$  = viskositas fluida (lb/(ft.h))

## 2.4. Perancangan Nozzle / katup Tangki Pencucian

### a. Perhitungan Dimensi nozzle

Dimensi *nozzle* dibagi menjadi beberapa bagian, dan setiap bagian diberi simbol berupa huruf, sebagaimana ditunjukkan pada gambar di buku yang ditulis oleh Young (1959) [6] berikut:



**Gambar 1.** Dimensi bagian – bagian *nozzle*

Dimana pada gambar diketahui:

- A = diameter luar *flange* (in)
- B = diameter dalam dinding pipa (in)
- E = diameter *hub of base* (in)
- K = diameter *hub* pada titik pengelasan (in)
- L = panjang lintasan *hub* (in)
- R = diameter luar bagian permukaan yang tinggi (in)

Nilai dari bagian-bagian *nozzle* pada symbol dapat diketahui pada grafik [6] dimana nominal nilai pipa standar dijadikan sebagai acuan standar untuk menentukan nilai variable symbol bagian – bagian dimensi *nozzle*. Nominal nilai pipa dapat dihitung dengan persamaan nomor (15) [6]:

$$Di = 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (15)$$

Dimana:

- Q = laju alir fluida (lb/h)
- $\rho$  = densitas fluida (lb/ft<sup>3</sup>)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

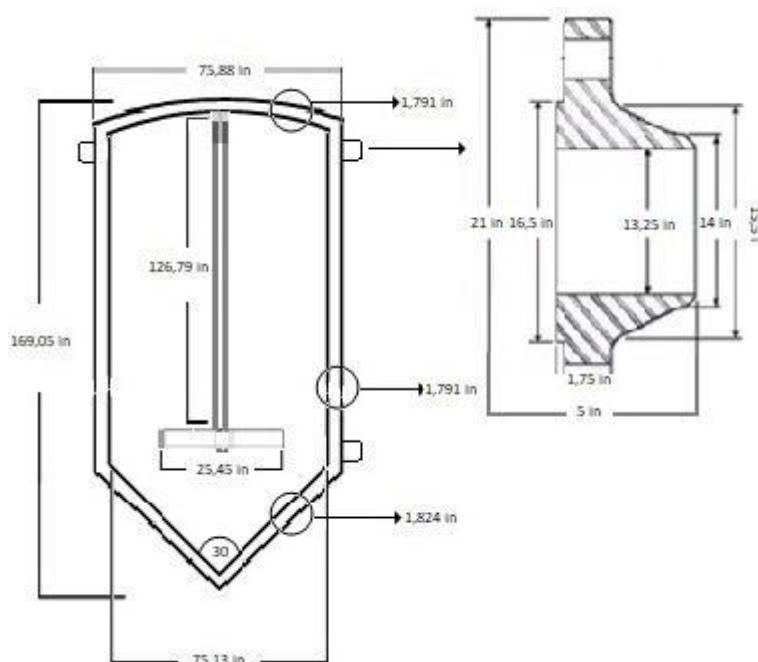
Pada Gambar 2 diatas dilakukan Data perhitungan mengacu pada penelitian prarancangan pabrik kimia oleh Primahita, dkk (2024) yang sebelumnya telah dipublikasikan. Perhitungan dilakukan untuk operasi selama 1 jam, dengan parameter operasional laju alir massa 26.792,64 lb/jam, densitas 75,17 lb/ft<sup>3</sup>, suhu 25 °C, dan tekanan 1 atm [1].

#### 3.1. Hasil Perhitungan tangki

Tangki dirancang menggunakan material *stainless steel*, khususnya tipe SS 304 atau SS 316 karena merupakan material industri yang kuar dan ekonomis [10], berdasarkan ketahanan korosi yang baik terhadap larutan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ), sebagaimana ditunjukkan pada penelitian oleh Al-Sabagh, dkk (2022) [11]. Sebuah studi oleh *Poly Processing*, (2024) menekankan bahwa diameter dan tinggi tangki harus diperhitungkan untuk memastikan *nozzle* pembersih dapat menghasilkan energi yang cukup untuk membersihkan permukaan tangki secara efektif [12].

**Tabel 2.** Dimensi utama hasil prarancangan tangki pencucian

Komponen	Ketebalan (in)	Diameter dalam (in)	Diameter luar (in)	Tinggi (in)
Tangki bagian bawah (conical)	1,824	75,10	75,32	31,49
Silinder	1,791	75,13	75,24	118,77
Tangki bagian atas (torispherical)	1,791	75,13	75,24	18,78

**Gambar 2.** Sketsa hasil desain tangki pencucian

### 3.2. Sistem Pengadukan

Pada sistem Sistem pengadukan menggunakan pengaduk jenis *turbine* dengan enam bilah datar (*flat blades*) dan empat *baffles*. Perancangan menghasilkan konsumsi daya sebesar 2,54 HP, dengan diameter impeler 25,45 in dan tinggi 126,79 in. Desain ini mengacu pada penelitian oleh Suryani dkk, (2020) yang menunjukkan efektivitas pengaduk turbin dalam meningkatkan perpindahan panas dan massa dalam sistem tangki [13].

### 3.3. Desain Nozzle dan Flange

Dimensi empat *nozzle* ini dirancang untuk mendukung kestabilan sistem dan efisiensi aliran fluida, sekaligus memastikan keandalan mekanis terhadap tekanan operasi. Pada buku Coulson and Richardson (2019), perancangan yang tepat dapat mendukung kestabilan sistem melalui optimasi rasio tinggi-diameter (H/D) guna mencapai distribusi tekanan yang stabil, meningkatkan efisiensi aliran fluida dengan meminimalkan *pressure drop* dan *turbulensi*, serta memastikan keandalan mekanis terhadap tekanan operasi [14].

**Tabel 3.** Dimensi komponen *nozzle* dan *flange*

Komponen	Dimensi (in)
Diameter luar flange (A)	21,00
Diameter dalam pipa (B)	13,25
Diameter hub dasar (E)	15,50
Diameter hub titik pengelasan (K)	14,00
Panjang lintasan hub (L)	5,00
Diameter luar bagian tinggi (R)	16,50

### 3.4. Analisis Kesesuaian Terhadap Standar ASME dan API

Untuk memastikan kesesuaian teknis dan keselamatan desain tangki, dilakukan analisis terhadap standar berikut:

- ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* (BPVC) *Section VIII* [15]: Verifikasi dilakukan terhadap ketebalan dinding bejana, desain sambungan pengelasan, serta penerapan faktor korosi. Hasil menunjukkan bahwa ketebalan 1,791–1,824 in sudah mencukupi terhadap tekanan internal pada kondisi 1 atm dan mendukung integritas struktur secara keseluruhan.
- API Standards (API 650/653) [16]: Evaluasi dimensi nozzle dan flange dilakukan untuk memastikan bahwa koneksi antar komponen perpipaan sesuai dengan standar API, termasuk dalam hal diameter luar flange, diameter pipa, serta panjang dan diameter hub. Desain menunjukkan kepatuhan terhadap dimensi minimum dan rasio penguatan sesuai dengan ketentuan API.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil merancang tangki pencucian berbasis metanol untuk proses pemurnian  $K_2SO_4$  dari campuran garam hasil reaksi senyawa sulfat Sungai Kalipait. Rancangan tangki terdiri dari bagian bawah berbentuk konikal, silinder tengah, dan bagian atas torispherical, serta dilengkapi dengan sistem pengaduk tipe turbin dan sistem *nozzle* yang sesuai standar. Dengan mempertimbangkan data kelarutan garam dalam metanol, rancangan ini memungkinkan pencucian selektif yang efektif untuk meningkatkan kemurnian produk  $K_2SO_4$ . Hasil perancangan menunjukkan bahwa tangki pencucian memiliki diameter total 75,32 inci, tinggi silinder 118,77 inci, dan dilengkapi dengan pengaduk turbin berdaya 2,54 HP. Dimensi dan spesifikasi teknis, termasuk ketebalan dinding 1,791–1,824 inci serta desain nozzle dan flange, telah memenuhi standar internasional ASME Section VIII dan API 650/653, sehingga memastikan keamanan dan keandalan operasional dalam skala industri.

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan agar dilakukan uji coba eksperimental terhadap sistem pencucian yang dirancang guna mengevaluasi performa nyata di lapangan dan menyesuaikan parameter desain berdasarkan hasil operasi aktual. Penggunaan data kelarutan dari sistem multikomponen sebaiknya terus diperbarui agar akurasi proses pemisahan tetap terjaga. Selain itu, integrasi sistem kontrol otomatis untuk agitator dan aliran fluida dapat meningkatkan efisiensi serta konsistensi hasil produksi dalam skala besar.

Penelitian lanjutan juga dapat mengkaji potensi penggunaan pelarut alternatif ramah lingkungan untuk menyempurnakan proses pemurnian.

## REFERENSI

- [1] D. Primahita, H. Maulana, M. D. Robbany, dan V. Ariella, "Prarancangan Pabrik  $K_2SO_4$  dari Pengolahan Senyawa Sulfat pada Air Sungai Kalipait Bondowoso dengan Kapasitas 5327 Ton/Tahun," *Laporan Perancangan Pabrik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang*, 2024.
- [2] M. C. Iliuta, K. Thomsen, dan P. Rasmussen, "Modeling of Salt Solubility in Mixed-Solvent Electrolyte Systems: New Extension of the eCPA Equation of State," *Fluid Phase Equilibria*, vol. 555, no. 113, 2022.
- [3] M. Li, L. Wang, D. Constantinescu, dan J. Gmehling, "Comprehensive Solubility Data for Alkali Metal Halides in Alcohol-Based Solvents at Elevated Temperatures," *Journal of Chemical and Engineering Data*, vol. 67, no. 8, hal. 1912–1920, 2022.
- [4] European Salt Producers Association (ESPA), *Salt for Chemical Applications: Technical Specifications and Production Processes*. Brussels, Belgium: European Salt Producers Association, 2022. Diakses pada 29 Desember 2024 online pada <https://www.eusalt.com/scientific-publications>
- [5] R. Kumar, A. Singh, dan V. Patel, "CFD Analysis of Multi-Impeller Agitation System for Efficient Salt Washing," *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 60, no. 32, hal. 12021–12032, 2021.
- [6] I. E. Brownell dan E. H. Young, *Process Equipment Design Handbook*. New York, NY, Amerika Serikat: John Wiley & Sons, 1959.
- [7] R. H. Perry dan D. W. Green, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, edisi ke-8. New York, NY, Amerika Serikat: McGraw-Hill Education, 2008.
- [8] G. G. Brown, *Unit Operations*. New York, NY, Amerika Serikat: John Wiley & Sons, 1951.
- [9] M. F. Hashad, "Study of Salt Wash Water Toxicity on Wastewater Treatment," *Tesis Magister Sains*, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Delaware, Newark, DE, USA, 2006.
- [10] C. T. Ewing dan K. H. Stern, "Equilibrium vaporization rates and vapor pressures of solid and liquid sodium chloride, potassium chloride, potassium bromide, cesium iodide, and lithium fluoride," *Journal of Physical Chemistry*, vol. 67, no. 2, hal. 411–416, 2023.
- [11] A. M. Al-Sabagh, H. M. Abd-El-Bary, dan M. M. El-Hosary, "Long-Term Immersion Behavior of Austenitic Stainless Steels in Industrial Sulfuric Acid Media," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 287, hal. 126312, 2022.
- [12] Poly Processing, "Panduan dan Daftar Periksa untuk Desain Tangki yang Tepat," Diakses pada 29 Desember 2024 online pada <https://blog.polyprocessing.com/blog/guidelines-design>
- [13] A. Suryani dan M. R. R. Lubis, "Penggunaan Model Pengaduk Pitched Blade Turbin dan Five Blade Turbin Pada Produksi Biodiesel dari Residu Minyak dalam Tanah Pemucat Bekas (SBE) Secara In Situ," *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, vol. 15, no. 2, 2020.
- [14] J. M. Coulson dan J. F. Richardson, *Chemical Engineering Design*, vol. 6, edisi ke-5.

- Oxford, Inggris: Elsevier, 2019.
- [15] *ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII: Rules for Construction of Pressure Vessels*. New York, NY, Amerika Serikat: American Society of Mechanical Engineers, 2023.
- [16] American Petroleum Institute, *Standard 650/653: Welded Steel Tanks for Oil Storage and Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction*. Washington, DC, Amerika Serikat: American Petroleum Institute, 2022.