

Prarancang Pabrik SnCl₄ dari Batangan Timah dan Gas Cl₂ dengan Kapasitas 2.000 Ton/Tahun

(Preliminary Plant Design of SnCl₄ from Tin Ingot and Cl₂ Gas with a Capacity of 2.000 Tons per Year)

Jeremia Deni Adjie^{*}, Joelianingsih

Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Indonesia
Jl. Raya Puspipetek, Serpong, Kota Tangerang Selatan, Banten 15320

Abstrak

Salah satu logam yang banyak digunakan dan diolah menjadi senyawa turunan lainnya yang memiliki nilai guna lebih tinggi adalah timah. Salah satu senyawa turunan timah yang banyak digunakan dalam industri kimia merupakan SnCl₄. Senyawa ini memiliki keunggulan dalam bahan pelapis kaca, pengikat warna pada tekstil, serta menjadi salah satu bahan dalam pembuatan senyawa organotin. Analisis kebutuhan SnCl₄ pada tahun 2028 yang didapat dari hasil proyeksi data, terdapat kegiatan impor SnCl₄ yang masih tinggi sebesar 2.360,74 ton. Dalam perancangan pabrik SnCl₄ ditunjukkan untuk menurunkan kebutuhan impor dalam negeri dengan kapasitas 2.000 ton per tahun. Bahan baku yang digunakan yaitu batangan timah dan gas klorin. Proses ini dilakukan dengan melakukan kontak antara batangan timah dengan gas klorin di dalam reaktor dengan suhu dijaga pada 85°C dengan tekanan 1 atm, reaktor beroperasi secara isothermal dan reaksi bersifat eksotermis. SnCl₄ yang terbentuk kemudian dimurnikan dengan melakukan proses destilasi pada suhu 114°C dengan tekanan 1 atm hingga menghasilkan produk dengan kemurnian 99,95%. Pabrik direncanakan akan dibangun di Cikande di atas lahan seluas 20.000 m². Jumlah pegawai yang dibutuhkan sebanyak 252 orang. Hasil analisis kelayakan ekonomi diperoleh Net Cash Flow at Percent Value (NCFPV) di tahun ke-10 adalah Rp.218.844.123.154. Internal Rate of Return (IRR) yang diperoleh lebih besar dari suku bunga bank yaitu sebesar 35,17%. Minimum Payback Period (MPP) diperoleh 3 tahun 11 bulan 18 hari. Sehingga berdasarkan hasil analisis kelayakan ekonomi pabrik SnCl₄ dengan kapasitas 2.000 ton per tahun layak untuk didirikan.

Kata Kunci : Timah, Cl₂, SnCl₄, Eksotermis

Abstract

Tin is one of the most widely used metals and is processed into various derivative compounds with higher added value. One of the key tin-based compounds extensively used in the chemical industry is stannic chloride (SnCl₄). This compound offers advantages in glass coating, textile dye fixation, and as a precursor in the production of organotin compounds. Based on projected data analysis, the demand for SnCl₄ in 2028 indicates a high import volume of 2,360.74 tons. The design of this SnCl₄ plant aims to reduce domestic import dependency by establishing a production capacity of 2,000 tons per year. The raw materials used in the process are tin ingot and chlorine gas. The production process involves direct contact between tin bars and chlorine gas inside a reactor, maintaining a temperature of 85°C and a pressure of 1 atm. The reactor operates isothermally, and the reaction is exothermic. The produced SnCl₄ is then purified through distillation at 114°C under 1 atm pressure, resulting in a 99.95% purity product. The plant is planned to be constructed in Cikande on a 20,000 m² site, requiring 252 employees. Economic feasibility analysis indicates that the Net Cash Flow at Present Value (NCFPV) in the 10th year is IDR 218,844,123,154. The Internal Rate of Return (IRR) is 35.17%,

which is higher than the bank interest rate. The Minimum Payback Period (MPP) is 3 years, 11 months, and 18 days. Based on these economic feasibility results, the establishment of an SnCl₄ plant with a 2,000-ton annual capacity is deemed economically viable.

Keyword : Tin Ingot, Cl₂, SnCl₄, Exothermic

*Penulis Korespondensi. Tepl:+ 62895384896970
Alamat E-mail: jejedeni@gmail.com (Jeremia Deni Adjie)

1. Pendahuluan

Timah merupakan salah satu logam yang banyak digunakan atau diolah menjadi senyawa turunan lain yang memiliki nilai guna lebih tinggi. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia cadangan timah di Indonesia sebesar 800.000 ton atau 23% dari cadangan timah di dunia, 91% cadangan timah di Indonesia berada di Kepulauan Bangka Belitung, dan 9% sisanya berada di wilayah Kepulauan Riau, dan Kalimantan Barat. (Booklet Timah Kementerian ESDM, 2020).

SnCl₄ merupakan salah satu senyawa turunan dari timah yang banyak digunakan dalam industri kimia, sebagai mordant dalam pengikat warna tekstil, sebagai pelindung kaca dari goresan dan memperkuat kaca, salah satu bahan membuat wol tahan api, serta digunakan sebagai prekursor dalam pembuatan organotin yang digunakan sebagai stabilisasi PVC.

PT Timah Industri merupakan salah satu perusahaan yang mengelola timah mentah menjadi timah dengan senyawa-senyawa turunannya, salah satu produknya merupakan SnCl₄. Dilansir dari situs web PT Timah Industri dikatakan bahwa kapasitas produksi SnCl₄ yang diharapkan oleh PT Timah Industri adalah 3.000 ton/tahun. Tetapi berdasarkan annual report pada tahun 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 yang disediakan oleh PT Timah Industri, produksi SnCl₄ per tahun yang dilakukan oleh PT Timah Industri masih belum dapat mencapai target.

Berdasarkan annual report PT Timah Industri juga dijelaskan bahwa SnCl₄ yang diproduksi oleh PT Timah Industri digunakan hanya untuk memenuhi kebutuhan pembuatan senyawa organotin yang PT Timah Industri produksi, sehingga penjualan baik dalam negeri maupun penjualan ke luar negeri masih belum dapat terpenuhi, sehingga industri-industri dalam negeri yang membutuhkan SnCl₄ sebagai bahan baku mereka harus melakukan impor dari berbagai negara seperti Amerika, Thailand, Inggris, Taiwan, Swiss, Spanyol, Malaysia, dan masih banyak negara lainnya. Pada tahun 2023 total SnCl₄ yang di impor dari negara-negara luar sebesar 1.686,21 ton/tahun (Badan Pusat Statistika Indonesia, 2023).

Hal ini menjadi kendala dan hal yang sangat disayangkan mengingat kekayaan timah yang dimiliki oleh Indonesia. Sehingga dengan melihat potensi dari kekayaan timah di Indonesia dan kurangnya pemenuhan produksi dari PT Timah Industri hal ini dapat dijadikan sebagai peluang dalam membangun suatu pabrik yang memproduksi SnCl₄ untuk memenuhi kebutuhan SnCl₄ di dalam negeri.

2. Teori Dasar

Pada Tabel 1 dijelaskan data produksi SnCl₄ di dalam negeri 5 tahun terakhir yang didapat dari *annual report* PT Timah Industri.

Tabel 1. Data Produksi SnCl₄

| Tahun | Produksi (ton/tahun) | Data Pertumbuhan (%) |
|-----------|----------------------|----------------------|
| 2019 | 181,00 | 0 |
| 2020 | 227,00 | 25,41 |
| 2021 | 205,82 | -9,33 |
| 2022 | 199,16 | -3,24 |
| 2023 | 192,50 | -3,34 |
| Rata-Rata | | 1,90 |

Pada Tabel 2 dijelaskan data impor SnCl₄ 5 tahun terakhir untuk memenuhi kebutuhan pasar di Indonesia.

Tabel 2. Data Impor SnCl₄

| Tahun | Impor (ton/tahun) | Data Pertumbuhan (%) |
|-----------|-------------------|----------------------|
| 2019 | 3553,37 | 0 |
| 2020 | 3417,93 | -31,95 |
| 2021 | 1506,83 | -37,68 |
| 2022 | 3943,04 | 161,68 |
| 2023 | 1686,21 | -57,24 |
| Rata-Rata | | 6,96 |

Sumber: Badan Pusat Statistik Indonesia 2024

Pada Tabel 3 dijelaskan data ekspor SnCl₄ 5 tahun terakhir.

Tabel 3. Data Ekspor SnCl₄

| Tahun | Ekspor (ton/tahun) |
|-------|--------------------|
|-------|--------------------|

| | |
|------|-------|
| 2019 | 67,20 |
| 2020 | 0,00 |
| 2021 | 0,00 |
| 2022 | 0,00 |
| 2023 | 0,00 |

Sumber: Badan Pusat Statistik Indonesia 2024

Pada Tabel 4 dijealskan data konsumsi SnCl₄ 5 tahun terakhir yang didapatkan dengan persamaan yaitu Konsumsi = Produksi + Impor - Ekspor

| Tahun | Konsumsi (ton/tahun) | Data Pertumbuhan (%) |
|-----------|----------------------|----------------------|
| 2019 | 3667,17 | 0 |
| 2020 | 2644,93 | -27,88 |
| 2021 | 1712,65 | -35,25 |
| 2022 | 4142,19 | 141,86 |
| 2023 | 1878,71 | -54,64 |
| Rata-Rata | | 4,82 |

Dalam menentukan kebutuhan SnCl₄ pada tahun 2028 dapat dilakukan dengan menggunakan metode proyeksi data, sehingga didapatkan data yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Data Konsumsi SnCl₄

Tabel 5. Data kebutuhan SnCl₄ pada Tahun 2028

| | Penawaran (Ton) | | Permintaan (Ton) | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------|----------|
| | | Produksi | 211,50 | Konsumsi |
| | Impor | 2.360,74 | Ekspor | 0 |
| Total | 2.572,24 | | 2.377,07 | |
| Analisis | Penawaran lebih besar dari permintaan yaitu sebesar 195,17 Ton, namun masih terdapat impor yang besar yang perlu dikurangi. | | | |

Dapat dilihat bahwa penawaran di SnCl₄ di Indonesia lebih besar dibandingkan dengan permintaan. Sehingga terjadi kelebihan SnCl₄ pada pasar di Indonesia sebesar 195,17 ton pada tahun 2028. Berdasarkan analisis metode supply and demand, peluang pasar untuk SnCl₄ di Indonesia sudah jenuh dimana terdapat kelebihan penawaran SnCl₄ di pasar Indonesia. Namun dapat dilihat pada tabel 1.8, bahwa masih terdapat impor SnCl₄ yang dilakukan sebanyak 2.360,74 ton, hal ini dapat dijadikan sebagai peluang dalam menurunkan impor SnCl₄ dari luar negeri dan tetap memenuhi kebutuhan SnCl₄ di Indonesia.

Kapasitas yang dapat dipenuhi = Impor-kelebihan SnCl₄ di pasar Indonesia (1)

Maka dari persamaan (1) dihitung kapasitas yang dapat dipenuhi sebesar 2,165.57 ton. Direncanakan pabrik akan memproduksi SnCl₄ sebanyak 2.000 ton/tahun yang diharapkan dapat menurunkan impor SnCl₄ dari luar negeri sebanyak 84,7% serta dapat membuka lapangan pekerjaan bagi masyarakat sekitar

3. Metodologi Seleksi proses

Proses produksi dari SnCl₄ dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa cara atau metode, dimana dari masing masing teknologi tersebut dapat memiliki perbedaan dari pemilihan bahan baku. Perlakuan pada bahan baku maupun perbedaan pada kondisi operasi.

Masing-masing metode memiliki kekurangan dan kelebihannya. Terdapat dua paten yang dapat dijadikan pembanding dalam pemilihan proses produksi SnCl₄ yang dapat dilihat pada Tabel 6 untuk perbandingannya. Proses produksi SnCl₄ yang akan digunakan pada pabrik yang akan didirikan adalah proses yang diambil dari referensi US Patent US6001323A. Proses ini diambil berdasarkan tiga parameter yang dapat dijadikan sebagai acuan atau pembanding seperti efisiensi proses, keamanan teknologi dan investasi.

Pemilihan lokasi harus memperhatikan letak pasokan bahan baku, lokasi berkenaan dengan pasar, fasilitas transportasi, ketersediaan tenaga kerja, ketersediaan utilitas, ketersediaan tanah, dampak lingkungan dan iklim. Berdasarkan faktor tersebut, pemilihan lokasi yang strategis untuk produksi SnCl₄ dipilih di Cikande.

Uraian proses

Proses pembentukan SnCl₄ merupakan proses reaksi langsung antara timah 99,95% (Sn) dengan gas klorin murni (Cl₂). Reaksi antara timah dan gas klorin merupakan reaksi eksoterm, yang dimana gas klorin saat melakukan kontak dengan timah akan menghasilkan SnCl₄ dalam fasa cair. Gas klorin akan terus diumpankan hingga timah yang berada di dalam reaktor habis bereaksi. Kondisi operasi pada reaktor diatur pada suhu 85°C dimana reaktor yang digunakan merupakan jenis fixed bed reactor yang digunakan untuk menaruh timah di dalam reaktor. SnCl₄ cair

yang telah jadi kemudian akan diumpangkan ke dalam destilasi untuk dilakukan pemurnian yang berasal dari batangan timah yang digunakan. Proses destilasi ini dilakukan pada suhu titik didih dari SnCl₄ yaitu 114°C, sehingga SnCl₄ cair tersebut akan menguap dan meninggalkan pengotor -pengotor yang tercampur ke dalam SnCl₄ cair. Uap SnCl₄ kemudian akan diumpangkan ke dalam kondensor untuk dilakukan proses kondensasi yang mengembalikan SnCl₄ uap menjadi SnCl₄ cair kembali. Kemudian SnCl₄ cair dimasukkan kedalam tangki penyimpanan.

a. Perlakuan Awal Bahan Baku

Persiapan bahan baku merupakan langkah awal dalam suatu proses, dimana dalam pembentukan SnCl₄ dibutuhkan bahan baku batangan timah (Sn) dengan kemurnian 99,95%, kemurnian pada timah ini akan menentukan banyaknya produk yang terbentuk serta akan menentukan pengotor yang terdapat di dalam SnCl₄. Kemudian gas klorin (Cl₂) yang digunakan juga merupakan gas klorin dengan kemurnian tinggi, gas klorin yang digunakan merupakan gas klorin dalam iso tank sehingga tabung gas klorin ini akan diletakkan di atas alat penimbang untuk membantu memeriksa berapa banyak isi gas klorin yang sudah terpakai.

b. Proses Utama

Proses utama dari pembuatan SnCl₄ adalah mereaksikan antara timah (Sn) dengan gas klorin (Cl₂). Gas klorin (Cl₂) saat berkontak

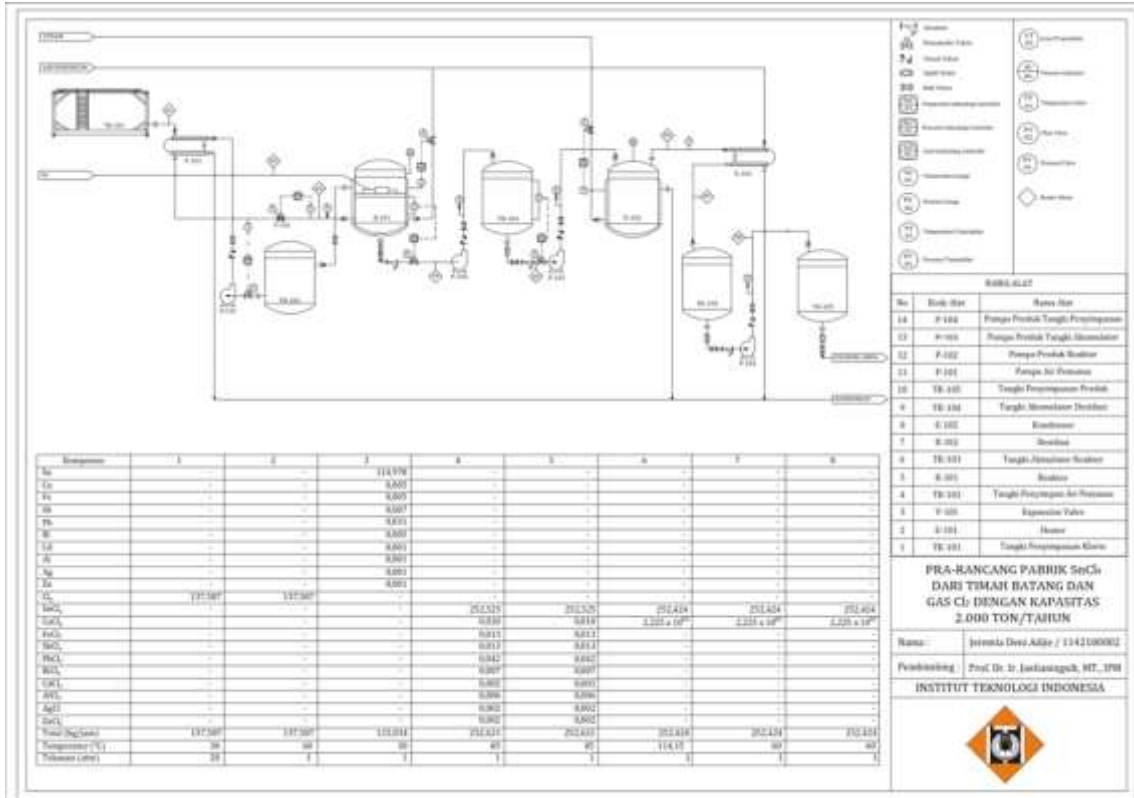
dengan timah akan terjadi suatu reaksi eksotermis dimana reaksi ini akan menghasilkan suatu garam SnCl₄. Dalam pembuatan SnCl₄ dibutuhkan kondisi temperatur pada rentang 85°C pada tekanan 1 atm untuk mendapatkan SnCl₄ dalam fasa liquid. Sehingga untuk menjaga kondisi pada rentang tersebut, dibutuhkan suatu media pendinginan yang berada pada jaket reaktor untuk mengontrol suhu reaksi agar tidak melebihi batas yang sudah ditentukan.

c. Pemurnian Produk

Pemurnian dari SnCl₄ dapat dilakukan dengan dua tahap yang pertama dilakukan untuk menghilangkan kadar Cl₂ dalam SnCl₄ liquid, tahap ini dilakukan dengan cara sirkulasi kembali SnCl₄ liquid dengan batangan timah, tahap ini dilakukan agar Cl₂ yang ikut terbawa dalam SnCl₄ akan direaksikan kembali dengan timah sehingga membentuk SnCl₄ sehingga menurunkan kadar Cl₂ dalam SnCl₄ dan menaikkan produk yang dihasilkan. Tahap kedua merupakan proses penguapan dari SnCl₄ dalam destilasi, pemurnian ini dilakukan untuk menghilangkan pengotor yang ikut terbawa dengan SnCl₄. Terdapat kemungkinan bahwa pengotor ini berasal dari batangan timah yang digunakan. Titik didih dari SnCl₄ berada pada temperatur 114°C sehingga temperatur kondisi pada destilasi dijaga pada 114°C.

Tabel 6. Ringkasan Seleksi Proses

| Patent | Bahan Baku | Kondisi Operasi | | Waktu | Konversi (%) | Perbandingan Bahan Baku dan Produk |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|--------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------|
| | | Suhu (°C) | Tekanan (atm) | | | |
| US6001323 (1999) & Jurnal M. V. Mastyukov., Et al. (2021) | Timah (Sn), Klorin (Cl ₂) | 85 | 1 | 1 jam | 100 | 1 : 2,196 |
| CN85108523A (1987) | Timah (II) Klorida Dihidrat (SnCl ₂ .2H ₂ O), Klorin (Cl ₂) | 80 | 1 | Waktu pemanasan : 2 jam Waktu Pengadukan : 20 menit | 93 | 1 : 1,085 |



4. Hasil dan Pembahasan

Neraca massa

Dalam perancangan dilakukan perhitungan neraca massa untuk menentukan kebutuhan bahan baku. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dalam proses produksi SnCl₄ dengan kapasitas 2.000 ton/tahun dibutuhkan bahan baku Sn sebanyak 115,03 kg/jam dan Cl₂ sebanyak 137,59 kg/jam. Pabrik produksi SnCl₄ dirancang untuk beroperasi dengan jam kerja 24 jam selama 330 hari/tahun.

Neraca energi

Selain perhitungan neraca massa, dibutuhkan juga perhitungan neraca energi untuk menentukan kebutuhan energi selama proses produksi. Energi yang dibutuhkan dalam unit reaktor dibutuhkan sebanyak 449.881,63 kJ/jam, energi yang dibutuhkan dalam memanaskan Cl₂ sebanyak 4.574,77 kJ/jam, energi yang dibutuhkan dalam proses pemurnian dibutuhkan sebanyak 32.371,42 kJ/jam, dan untuk proses kondensasi uap SnCl₄ melepaskan energi sebanyak 33.083,94 kJ/jam. Gambar diagram alir pada proses produksi SnCl₄ dapat dilihat pada Gambar 1.

Utilitas

Utilitas merupakan suatu unit yang menunjang berjalannya suatu operasi pabrik kimia, utilitas yang digunakan dalam proses produksi SnCl₄ meliputi beberapa unit utilitas. Berikut merupakan beberapa unit yang digunakan :

- a. Unit penyedia air : digunakan sebagai unit penyedia air untuk pendingin maupun domestik.
- b. Unit penyedia steam : digunakan sebagai unit penyedia kebutuhan steam.
- c. Unit pembangkit listrik : digunakan sebagai unit penyedia kebutuhan sumber energi listrik selama operasi pabrik berjalan.
- d. Unit penyedia bahan bakar : digunakan sebagai unit penyedia bahan bakar untuk boiler dan generator.
- e. Unit pengolahan limbah : digunakan sebagai unit pengolahan limbah baik produksi maupun domestik.

Kebutuhan air pendingin dibutuhkan sebanyak 2.787,46 kg/jam, air umpan boiler dibutuhkan sebanyak 16,85 kg/jam, kebutuhan air domestik sebanyak 542,66 kg/jam. Untuk kebutuhan listrik dibutuhkan sebanyak 200,28 kWh. Untuk kebutuhan bahan bakar boiler sebesar 25,37 kg/jam dan untuk kebutuhan generator Listrik sebesar 47,42 kg/jam.

Kelayakan ekonomi

Suatu analisis kelayakan ekonomi perlu dilakukan dengan tujuan untuk memperhitungkan kelayakan berdirinya suatu pabrik dengan mempertimbangkan suku bunga bank, sistem permodalan, Fixed Capital Investment (FCI), Working Capital Investment (WCI), Total Capital Investment (TCI), laba rugi, Break Even Point (BEP), Minimum Payback Period (MPP), serta Internal Rate of Return (IRR). Hasil analisis kelayakan pabrik SnCl₄ dengan kapasitas 2.

Tabel 7. Analisis Kelayakan Ekonomi

| Parameter Analisis | Nilai |
|----------------------|-------------------------|
| NCFPV di tahun ke-10 | Rp. 218.844.123.154 |
| IRR | 35,17% |
| MPP | 3tahun 11 bulan 18 hari |

5. Kesimpulan

Bedasarkan analisis teknis dan ekonomi yang telah dilakukan, perancangan pabrik SnCl₄ dengan kapasitas produksi 2.000 ton per tahun yang direncanakan akan didirikan di Cikande dipilih karena dekat dengan sumber bahan baku, kemudahan transportasi darat dan laut, Pabrik SnCl₄ direncanakan akan dibangun pada 2027 dan beroperasi pada 2028 secara kontinyu selama 330 hari dalam setahun, Badan usaha berbentuk Perseroan Terbatas (PT) dengan total karyawan 252 orang. Bahan baku yang digunakan merupakan batangan timah dan gas klorin. Didapat nilai NCFPV di tahun ke-10 adalah Rp. 218.844.123.154, nilai *Internal Rate of Return* (IRR) adalah 35,17%, dan *Minimum Payback Period* (MPP) 3 tahun 11 bulan 18 hari. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa perancangan pabrik SnCl₄ dengan kapasitas 2.000 ton per tahun layak untuk didirikan.

Daftar Pustaka

- [1] Yaws, CL. Chemical Properties Handbook. Texas: Mc Graw Hill. 1999.
- [2] Geankoplis, CJ. Transport Process and Unit Operations 4th Edition. USA: Prentice Hall. 2003
- [3] Himmelblau, DM. Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering. London: Prentice Hall International. 2004.
- [4] Kern DQ. Process Heat Transfers International Student Edition. Mc.Graw Hill Book Co., Inc. 1965.
- [5] Perry's Chemical Engineering Handbook 6th Edition. New York: McGraw Hill Company. Perry S, Perry RH, Green DW, & Maloney JO. Perry's Chemical Engineers' Handbook 7th Edition. New York: Mc Graw Hill. 1997.
- [6] Peters MS, Timmerhaus, KD, & West, RE. Plant Design and Economics for Chemical Engineers 5th Edition. Boston: Mc Graw Hill. 2003.
- [7] Benninger S, Process for Preparing Tin Tetrachloride. U.S. Patent No. 6001323. 1999.
- [8] Zēngdǎ, Z, Jiǎfú, Y, Zhōngdédé, W, Guānhuá, X, The Preparation Method of High Tin Chloride. China Patent No. 85 1 08523 A. 1987
- [9] Pitaloka AB, Jayanudin, Rahmayetty, Saepurahman, Andadari SA, Kurniawan T, Pramudita M. Reviu Sintesis, Karakterisasi, dan Aplikasi Timah Tetraklorida Pentahidrat. *Jurnal Integrasi Proses*; 12 (2): 81-87. 2023.
- [10] Yuliarita E. Pengaruh Penggunaan LCO Sebagai Komponen Minyak. *Lembaran Publikasi Lemigas*; 39 (1): 17-25. 2005.
- [11] Nugraha I, Arif MA, Setyawati H. Optimalisasi Resin Penukar Ion pada Proses Demineralisasi Air Tanah. *Atmosphere*; 4 (2). 2023.
- [12] Kosim ME, Prambudi D, Siskayanti R. Analisis Efisiensi Penukar Ion Sistem Demineralisasi pada Pengolahan Air di Proses Produksi Electroplating. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi* Jakarta, Indonesia. 17 November 2021.
- [13] Mayudin IA, Ariesmayana A. Analisis Kualitas Air Baku, Pengolahan, dan Distribusi PDAM Tirta Al-Bantani Kabupaten Serang. *Jurnal Lingkungan dan Sumberdaya Alam (Jurnalis)*; 4 (2): 142-150. 2021.
- [14] Undang-Undang Republik Indonesia No. 13. 2003
- [15] Mastryukov MV, Demina LI, Moiseeva LV, Soldatkina AD, Brekhovskikh MN. Synthesis and Deep Purification of Tin Tetrachloride. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*; 66 (7): 965-970. 2021.
- [16] Moss D. Pressure Vessel Design Manual 3rd Edition. Texas: Gulf Professional Publishing. 2004.
- [17] Howard G, Bartam J, Williams A, Overbo A, Fuente D, Geere JA. Domestic water quantity, service level and health, second edition. Geneva: World Health Organization; 2020.
- [18] PT Timah Tbk. Annual Report 2018. 2018
- [19] PT Timah Tbk. Annual Report 2020. 2020
- [20] PT Timah Tbk. Annual Report 2021. 2021
- [21] PT Timah Tbk. Annual Report 2022. 2022
- [22] PT Timah Tbk. Annual Report 2023. 2023
- [23] ITT Inc. Goulds Pumps G&L Series SSH. 2006
- [24] Merck KGaA. MSDS: Timah Granula Untuk Analisis. 2022
- [25] Science Lab Inc. MSDS: Copper. 2010
- [26] Science Lab Inc. MSDS: Iron Metal. 2013
- [27] LTS Research Laboratories, Inc. MSDS: Antimony Metal. 2023
- [28] Teck Metals Ltd. MSDS: Lead Metal. 2024
- [29] S D Fine-Chem Limited. MSDS: Bismuth Metal. 2015

- [30] Teck Metals Ltd. MSDS: Cadmium Metal. 2022
- [31] Science Lab Inc. MSDS: Aluminum. 2005
- [32] Kurt J Lesker Company. MSDS: Silver. 2017
- [33] Teck Metals Ltd. MSDS: Zinc Metal. 2022
- [34] NCP Chlorchem (Pty) Ltd. MSDS: Liquid Chlorine. 2012
- [35] LTS Research Laboratories, Inc. MSDS: Tin Chloride. 2020
- [36] LTS Research Laboratories, Inc. MSDS: Copper Chloride. 2020
- [37] LTS Research Laboratories, Inc. MSDS: Iron Chloride. 2016
- [38] LTS Research Laboratories, Inc. MSDS: Antimony (III) Chloride. 2019
- [39] LTS Research Laboratories, Inc. MSDS: Lead Chloride. 2015
- [40] LTS Research Laboratories, Inc. MSDS: Silver Chloride. 2021
- [41] LTS Research Laboratories, Inc. MSDS: Bismuth Chloride. 2016
- [42] LTS Research Laboratories, Inc. MSDS: Cadmium Chloride. 2015
- [43] LTS Research Laboratories, Inc. MSDS: Aluminum Chloride, Anhydrous. 2015
- [44] LTS Research Laboratories, Inc. MSDS: Iron Chloride. 2016
- [45] LTS Research Laboratories, Inc. MSDS: Zinc Chloride. 2018
- [46] Husnil YA. Buku Panduan Penyusunan Tugas Akhir Perancangan Pabrik Kimia. Tangerang Selatan: Program Studi Teknik Kimia Institut Teknologi Indonesia. 2021