JOICHE

Journal of Industrial Process and Chemical Engineering

Jurnal homepage : ejurnal.itats.ac.id/JOICHE

PRA PERANCANGAN PABRIK NATRIUM KARBONAT DARI LIMBAH *FLUE GAS* PLTU DENGAN METODE KARBONASI BERKAPASITAS 350.000 TON/TAHUN

Rieham Martha Risanto[1], Syah Muhammad Syam[2], dan Dian Yanuarita Purwaningsih[3]*

[1,2,3]Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jl. Arif Rahman Hakim No. 100 Surabaya, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Halaman:
11 – 18

Tanggal penyerahan:
20 Januari 2026

Tanggal diterima:
07 Februari 2026

Tanggal terbit:
08 Februari 2026

EMAIL

dianyp@itats.ac.id

[3*]Corresponding author

ABSTRACT

Sodium carbonate, commonly known as soda ash, is a chemical compound with the formula Na_2CO_3. *It plays a vital role in various industries as a pH regulator in chemical processes, an electrolyte in reactions, and a fluxing agent to lower the melting point in glass production. Despite its wide industrial use, Indonesia currently has no domestic sodium carbonate production facilities, resulting in a growing dependence on imports to meet increasing demand. This preliminary plant design proposes the production of sodium carbonate using the carbonation method, with sodium hydroxide and flue gas waste from coal-fired power plant as raw materials. The process involves reacting* NaOH *with* CO_2 *extracted from flue gas in a reactor to form sodium carbonate. The product is then concentrated through evaporation, crystallized into wet crystals, and dried using a rotary dryer. The final stage involves adjusting particle size to meet market specifications for the* Na_2CO_3 *product. Economic analysis indicates that the plant is financially viable, with an Internal Rate of Return* (IRR) *of 23%, a Pay Out Time* (POT) *of 3.8 years, and a Break Even Point* (BEP) *of 27.28%. In conclusion, establishing a sodium carbonate plant using flue gas waste from the coal-fired power plant with a production capacity of 350,000 tons per year is considered economically feasible.*

Keywords: *carbonation method, flue gas, coal-fired power plant, sodium carbonate, soda ash*

ABSTRAK

Natrium karbonat atau yang sering dikenal dengan *soda ash* merupakan suatu senyawa dengan rumus kimia Na_2CO_3. Natrium karbonat telah dimanfaatkan dalam dunia industri seperti penyeimbang pH pada bahan kimia, senyawa elektrolit dalam reaksi kimia, hingga dijadikan bahan *fluks* untuk menurunkan titik leleh campuran pada industri kaca. Namun, hingga saat ini belum ada satupun pabrik natrium karbonat yang beroperasi di Indonesia. Selain itu, adanya peningkatan angka impor natrium karbonat setiap tahunnya mengharuskan Indonesia untuk selalu memenuhi kebutuhan natrium karbonat dari luar negeri. Pada pra perancangan pabrik natrium karbonat kali ini, digunakan metode karbonasi untuk memproduksi natrium karbonat dengan bahan baku natrium hidroksida dan limbah *flue gas* dari PLTU. Natrium karbonat diperoleh melalui proses reaksi antara NaOH dengan gas CO_2 yang berasal dari *flue gas* pada suatu reaktor. Produk selanjutnya dipekatkan melalui proses evaporasi pada *evaporator* dan membentuk padatan kristal basah pada *crystallizer*. Kristal basah akan dikeringkan menggunakan *rotary dryer* yang selanjutnya dilakukan penyesuaian ukuran produk akhir, sehingga didapatkan produk akhir Na_2CO_3 yang sesuai dengan pasar. Berdasarkan analisa ekonomi, nilai laju pengembalian modal (*Internal Rate of Return*, IRR) yaitu sebesar 23%, nilai lama pengembalian modal (*Pay Out Time*, POT) yaitu sebesar 3,8 tahun, serta titik impas (*Break Even Point*, BEP) untuk pabrik ini yaitu 27,28%. Oleh karena itu, berdasarkan analisa ekonomi tersebut pabrik natrium karbonat dari limbah *flue gas* PLTU dengan metode karbonasi berkapasitas 350.000 ton/tahun layak untuk didirikan

Kata kunci: *flue gas*, metode karbonasi, natrium karbonat, PLTU, *soda ash*

PENDAHULUAN

Natrium karbonat atau yang lebih dikenal dengan *soda ash* merupakan garam natrium dari asam karbonat yang mudah larut dalam air. Senyawa kimia yang memiliki rumus kimia berupa Na_2CO_3 serta memiliki wujud berwarna putih ini sering dimanfaatkan di berbagai industri hingga rumah tangga. Namun, belum ada satupun pabrik yang memproduksi Na_2CO_3 di Indonesia. Menurut Menteri Investasi atau Kepala Badan Koordinasi Penanaman Modal (BKPM) (2021), menyatakan bahwa dalam waktu kurun 1 ton kebutuhan *soda ash* di Indonesia telah mencapai 1 juta ton dan seluruh kebutuhan Na_2CO_3 terpenuhi dari impor [1]. PLTU dipilih sebagai penyumbang *flue gas* pada pra perancangan pabrik kali ini. Hal ini dikarenakan PLTU yang berlokasi di Probolinggo ini merupakan PLTU terbesar yang ada di Indonesia. Pada proses metode karbonasi akan dihasilkan produk hasil berupa natrium karbonat. Adanya kemudahan pengadaan bahan baku yang berupa *flue gas* dan NaOH dapat menjadi langkah awal bagi Indonesia dalam mendirikan pabrik Na_2CO_3 serta membantu menekan angka impor Na_2CO_3 dari luar negeri, sehingga diharapkan Indonesia dapat menjadi pemasok utama Na_2CO_3 bagi dalam negeri maupun luar negeri dimasa yang akan datang [3]. Selain itu, pabrik Na_2CO_3 ini dapat memberikan jalan alternatif lain dalam menghadapi serta mengatasi kondisi perubahan iklim dan dampak negatif yang dihasilkan dari pemanasan global akibat emisi gas CO_2 khususnya emisi *Green House Gases* (GHG) [5],[6],[7]. Oleh karena itu, pada pra perancangan pabrik ini akan direncanakan pabrik Na_2CO_3 atau *soda ash* untuk pertama kali di Indonesia.

TINJAUAN PUSTAKA

Pada penentuan kapasitas produksi pabrik didasari berdasarkan beberapa faktor antara lain yaitu kapasitas ketersediaan bahan baku, data produksi, konsumsi, impor, ekspor, dan kapasitas pabrik Na_2CO_3 di Indonesia. Namun hingga awal tahun 2025, belum ada pabrik Na_2CO_3 yang beroperasi di Indonesia, sehingga seluruh kebutuhan konsumsi di Indonesia dipenuhi dari impor. Oleh karena itu, data ekspor dan produksi Na_2CO_3 dalam negeri tidak tersedia. Berikut **Tabel 1.4** merupakan jumlah dan pertumbuhan impor dari Na_2CO_3 di Indonesia.

Tabel 1 Data Jumlah dan Pertumbuhan Impor Na_2CO_3 di Indonesia

Tahun	Impor (Ton/Tahun)	Pertumbuhan (%)
2015	936.654,78	0,000
2016	869.081,05	-0,072
2017	879.750,59	0,012
2018	1.013.606,80	0,152
2019	985.995,51	-0,027
2020	819.912,22	-0,168
2021	821..456,00	0,002
2022	916828,80	0,116
2023	801.626,64	-0,126
2024	839.007,46	0,047
Rata-Rata		**-0,00716**

Sumber: Badan Pusat Statistik (BPS), (2025)

Pabrik Na_2CO_3 ini direncanakan mulai beroperasi pada tahun 2028 setelah melalui masa pembangunan yang diasumsikan selama dua tahun sejak 2026. Berdasarkan **Tabel 1.4**, dapat diketahui pertumbuhan impor pada tahun mulai beroperasinya pabrik dengan persamaan **(1)**, sehingga didapat jumlah impor Na_2CO_3 pada tahun 2018 adalah sebagai berikut.

$$F = P(i+1)^n \quad (1)$$

Keterangan : F : Jumlah impor saat pabrik mulai beroperasi
P : Jumlah impor pada tahun ke-n
i : Pertumbuhan rata-rata
n : Selisih tahun

Berdasarkan persamaan (1), maka didapat nilai F adalah sebagai berikut.

$$F = 839.007,46((-0,00716)+1)^{2028-2024}$$
$$F = 838.767,21 \text{ ton/tahun}$$

Maka, didapat nilai impor Na_2CO_3 di Indonesia pada tahun 2028 yaitu sebanyak 838767,21 ton/tahun, sehingga dapat diketahui kebutuhan natrium karbonat di Indoensia melalui persamaan **(2)** adalah sebagai berikut.

$$M_1 + M_2 + M_3 = M_4 + M_5 \quad (2)$$

Keterangan : M_1 : Nilai impor dalam negeri (ton/tahun)
M_2 : Produksi dalam negeri (ton/tahun)
M_3 : Kapasitas pabrik yang akan didirikan (ton/tahun)
M_4 : Nilai ekspor dalam negeri (ton/tahun)
M_5 : Konsumsi dalam negeri (ton/tahun)

Berdasarkan persamaan **(2)**, maka didapat nilai M_3 sebesar 838.767,21 ton/tahun. Kebutuhan Na_2CO_3 nasional tidak akan sepenuhnya dipenuhi oleh pabrik ini karena meninjau ketersediaan bahan baku dan investasi alat yang terbatas. Selain itu, ditetapkan basis waktu operasi selama 330 hari/tahun dan waktu kerja 24 jam/hari, maka ditetapkan kapasitas rancangan pabrik natrium karbonat pada tahun 2028 yaitu sebesar 40%. Oleh karena itu, didapat kapasitas pabrik natrium karbonat sebesar 335.506,89 ton/tahun dengan pembulatan menjadi 350.000 ton/tahun pada tahun 2028.

Pada suatu rancangan pabrik, pemilihan proses perlu dilakukan untuk mengetahui proses yang paling menguntungkan dengan parameter-parameter tertentu. Pembuatan Na_2CO_3 dapat dilakukan dengan beberapa proses. Semua itu ditinjau pada proses preparasi, proses pemilihan reaktor, proses kristalisasi, proses filtrasi, proses *drying*, dan proses *size reduction* (Nyamiati, 2019). Berdasarkan bahan baku, proses pembuatan natrium karbonat dapat diketahui sebagai berikut.

1. Proses Natural
2. Proses *Le Blanc*
3. Proses *Solvay*
4. Proses Karbonasi

Adapun seleksi proses yang dilakukan untuk memilih proses terbaik dari pembuatan natrium karbonat dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Seleksi Proses

No.	Pertimbangan	Proses			
		Le Blanc	***Solvay***	**Karbonasi**	***Le Blanc***
1	Bahan baku	NaCl, $CaCO_2$, H_2SO_4, dan C (dari batubara)	NaCl, $CaCO_3$, dan NH_3	NaOH dan CO_2	Na_2CO_3. $NaHCO_3$, $2H_2O$ (Mineral Trona)
2	Ketersediaan bahan baku	Tersedia di Indonesia	Tersedia di Indonesia	Tersedia di Indonesia	Hanya tersedia di daerah Amerika, Mongolia, Kenya, dan Cina
3	Tekanan Operasi	Tinggi	1 atm	2 atm	1 atm
4	Suhu Operasi	>1100^{o}C	60^{o}C	100-200^{o}C	60-150^{o}C
5	Pemakaian gas karbon untuk bahan baku	Tidak memakai gas CO_2	Tidak memakai gas CO_2	Memakai gas CO_2	Tidak memakai gas CO_2
6	Aspek dampak lingkungan	Menghasilkan gas klorin dan CaS	Rendah risiko dampak lingkungan	Rendah risiko dampak lingkungan	Melepaskan gas CO_2 dari proses kalsinasi
7	Korositas bahan	Tinggi	sedang	sedang	sedang

Berdasarkan **Tabel 2**, dengan membandingkan berbagai metode, proses karbonasi lebih unggul dalam proses pembuatan natrium karbonat atau *soda ash* (Na_2CO_3) dibandingkan metode lainnya. Hal ini juga mempertimbangkan dengan ketersediaan bahan baku dan aspek lingkungan. Selain itu, penggunaan CO_2 sebagai bahan baku dapat mengurangi efek rumah kaca.

METODE

Proses Pembuatan Natrium Karbonat

Metode yang digunakan pada pembuatan natrium karbonat yaitu proses karbonasi. Hal ini dikarenakan memiliki kondisi operasi yang cukup efektif dan efisien. Berikut uraian proses karbonasi.

1. Tahap Persiapan Bahan Baku
   NaOH flakes (99,6%) akan diencerkan menjadi larutan NaOH 10% menggunakan *mixer* yang selanjutnya disimpan pada tangki penyimpanan. Selain itu, flue gas dari PLTU juga akan disimpan pada tangki penampung sebelum direaksikan dengan NaOH.
2. Tahap Reaksi
   Reaktor *bubble* (*sparger*) dipilih untuk mereaksikan bahan baku NaOH (10%) dan *flue gas*. Reaktor ini beroperasi pada suhu 90°C dan 2 atm [4]. Adapun reaksi yang terjadi pada **persamaan (1)** adalah sebagai berikut.
   $$2NaOH_{(aq)} + CO_{2(g)} \rightarrow Na_2CO_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \quad (1)$$
3. Tahap Pemurnian dan Pemisahan
   Larutan natrium karbonat akan dimurnikan menggunakan alat *Multiple Evaporator* dan *Crystallizer*. Pada proses evaporasi digunakan kondisi vakum untuk mendapatkan kondisi operasi yang lebih efisien [4], sehingga didapatkan larutan natrium karbonat dari 11% menjadi 50%. Larutan natrium karbonat selanjutnya akan membentuk kristal Na_2CO_3 pada alat Crystallizer. Kristal yang tersuspensi akan dipisahkan dari larutan menggunakan centrifuge, sehingga akan didapatkan murni kristal Na_2CO_3.
4. Tahap Pengeringan dan Pengepakan
   Kristal basah Na_2CO_3 selanjutnya akan dikeringkan menggunakan *rotary dryer* untuk didapatkan produk akhir berupa padatan Na_2CO_3. Padatan Na_2CO_3 akan dilakukan proses *sizing* menggunakan alat *ball mill* dan *screener* sebelum memasuki proses packing dan disimpan pada gudang penyimpanan produk.

Analisa Ekonomi

Pada sebuah pabrik yang akan didirikan penting untuk dilakukan analisa ekonomi sebagai evaluasi apakah pabrik yang akan didirikan layak atau tidak. Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam analisa ekonomi antara lain sebagai berikut.

1. Laju Pengembalian Modal (*Internal Rate of Return*, IRR)
   Internal rate of return berdasarkan *discounted cash flow* adalah suatu tingkat bunga tertentu dimana seluruh penerimaan akan tepat menutup seluruh jumlah modal yang dikeluarkan. Cara yang dilakukan adalah dengan trial *i* (laju bunga) *actual cash flow*.
2. Waktu Pengembalian Modal (*Pay Out Time*, POT)
   Pay Out Time adalah waktu yang diperlukan untuk pengembalian modal.
3. Titik Impas (*Break Even Point*, BEP)
   Titik impas adalah titik dimana nilai *total production cost* (TPC) sama dengan *total sale* (TS).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Neraca Massa

Berdasarkan hasil perhitungan neraca massa pada pabrik natrium karbonat ini dibutuhkan bahan baku antara lain NaOH 10% sebanyak 548820,561 kg/jam dan flue gas sebanyak 109619,920 kg/jam, sehingga menghasilkan produk jadi berupa natrium karbonat sebanyak 44191,919 kg/jam.

Perhitungan Utilitas

Utilitas merupakan unit operasi yang ada pada suatu pabrik yang menunjang proses produksi pabrik bagi unit-unit yang lainnya untuk menjalankan suatu proses pabrik dari tahap awal sampai produk akhir produksi natrium karbonat. Agar kelangsungan produksi natrium karbonat tetap stabil, diperlukan penyediaan sarana utilitas yang baik dan sesuai dengan keperluan proses baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Berikut merupakan sarana utilitas pokok yang dimaksud yaitu meliputi antara lain.

1. Unit Penyediaan Air
2. Unit Penyediaan steam
3. Unit Penyediaan listrik
4. Unit Penyediaan bahan bakar

Adapun kebutuhan air utilitas pada pabrik ini terdiri dari 4 macam pada **Tabel 3** sebagai berikut.

Tabel 3 Kebutuhan Air Utilitas Pabrik Natrium Karbonat

No.	Kebutuhan	Jumlah (m^3/hari)
1	Air Sanitasi	142,2
2	Air Proses	13042,298
3	Air Pendingin	87,580
4	Air Umpan Boiler	9594,729
	Total	**22866,81**

Analisa Ekonomi

Berdasarkan perhitungan analisa ekonomi teknik yang telah dilakukan, maka didapatkan jumlah *Fixed Capital Investment* (FCI) sebesar Rp 4.702.690.114.694,-; *Work Capital Investment* (WCI) sebesar Rp 830.170.127.850,-; *Total Capital Investment* (TCI) sebesar Rp 5.534.467.518.997,-; *Total Production Cost* (TPC) sebesar Rp 2.006.701.747.113,-; dan Hasil Penjualan Pertahun (HPP) sebesar Rp 4.200.000.000.000,-. Selain itu,telah didapatkan analisa ekonomi pabrik dengan nilai *Internal rate of Return* (IRR) sebesar 22% (suku bunga 5,5%), *Pay Out Time* (POT) selama 3,9 tahun, dan *Break Even Point* (BEP) sebesar 28,04%.

KESIMPULAN

Keberhasilan suatu pabrik dapat dinilai dari berbagai aspek, seperti metode pengolahan, efisiensi proses, penerapan teknik industri, sistem manajemen, serta kelancaran distribusi produk. Pada pabrik natrium karbonat yang menggunakan natrium hidroksida dan memanfaatkan *flue gas* dari PLTU, serta menggunakan proses karbonasi berlokasi di Probolinggo, Jawa Timur, dengan sistem operasi *continue* selama 24 jam per hari. Pabrik ini dinilai layak untuk dikembangkan ke tahap perencanaan. Hal ini dikarenakan mampu memenuhi kebutuhan pasar dalam negeri dan menunjukkan kelayakan ekonomi. Hal ini dibuktikan dengan nilai *internal rate of return* (IRR) sebesar 22% pada tingkat suku bunga 5,5% per tahun serta laju inflasi 1,6% per tahun. Selain itu, analisis titik impas (BEP) sebesar 28,04% menunjukkan bahwa pada level produksi tersebut, pabrik berada dalam kondisi tidak mengalami keuntungan maupun kerugian.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Arifin, Z., Insani, V. F. S., Idris, M., Hadiyati, K. R., Anugia, Z., & Irianto, D. (2023). Techno-Economic Analysis of Co-firing for Pulverized Coal Boilers Power Plant in Indonesia. *International Journal of Renewable Energy Development*, *12*(2), 261–269. https://doi.org/10.14710/ijred.2023.48102

[2] Eldesouki, M. H., Rashed, A. E., & El-Moneim, A. A. (2023a). A comprehensive overview of carbon dioxide, including emission sources, capture technologies, and the conversion into value-added products. In *Clean Technologies and Environmental Policy* (Vol. 25, Issue 10, pp. 3131–3148). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/s10098-023-02599-

[3] Hakim, A. R., Sarasi, V., & Prahasta, E. (2025). The Impact of Coal Power Plant Emissions on Indonesia's Carbon Tax Rates. *Jurnal Ekonomi Pembangunan: Kajian Masalah Ekonomi Dan Pembangunan*, 45–65. https://doi.org/10.23917/jep.v26i1.10686

[4] Hariyanniko, A. &. (2024). Desain Pabrik Natrium Karbonat (Na2CO3) Dari Flue Gas PLTU Paiton Unit 3 Dengan Metode Karbonasi Menggunakan NaOH. *Thesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*.

[5] Komunikasi, M., Pengembangan, D., Lingkungan, T., Nugraheni, D. T., Purwana, R., & Hamzah, U. S. (2023). *Jurnal Presipitasi Environmental Impact Assessment of Co-firing Implementation at X Steam Power Plant, West Java*. *20*(2), 334–344.

[6] Prakarsa, W. U., & Dewi, K. (2024). The Effect of Plant Characteristics on CO2 Emission Factor Development: A Case Study of Coal-Fired Power Plants in Indonesia. *Journal of Community Based Environmental Engineering and Management*, *9*(1), 1–10. https://doi.org/10.23969/jcbeem.v9i1.18935

[7] Prasetyo, A. W., & Windarta, J. (2022). Pemanfaatan Teknologi Carbon Capture Storage (CCS) dalam Upaya Mendukung Produksi Energi yang Berkelanjutan. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, *3*(3), 231–238. https://doi.org/10.14710/jebt.2022.14509

[8] Zubair, M., Chen, S., Ma, Y., & Hu, X. (2023). A Systematic Review on Carbon Dioxide (CO2) Emission Measurement Methods under PRISMA Guidelines: Transportation Sustainability and Development Programs. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 6). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/su15064817