

Desain Pabrik Sodium Carbonate dari Gas CO₂ dan NaOH

Raditya Yudhi Pamugkas, Rheyna Casca Hanafi Putri, Ali Altway, Fadlilatul Taufany
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail : alimohad@chem-eng.its.ac.id

Abstrak—Karbon dioksida (CO₂) merupakan senyawa yang umum dihasilkan dari proses pembakaran di industri. Dengan semakin meningkatnya industri yang selaras dengan perkembangan zaman, semakin banyak pula emisi karbon dioksida yang terlepas ke udara lepas. Karbon dioksida termasuk salah satu gas rumah kaca dimana ketika dilepas ke udara dapat menyebabkan pemanasan global. Hal ini perlu ditanggulangi dengan pengurangan kadar CO₂ yang dilepas ke udara. Pengurangan ini dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya yakni dengan pemanfaatan karbon dioksida dari flue gas yang dihasilkan oleh powerplant menggunakan metode absorpsi. Absorpsi sendiri dapat diartikan sebagai proses pemisahan suatu bahan dari campuran gas dengan mengikat bahan pada permukaan absorben cair yang disertai pelarutan. Pelarut yang digunakan yaitu larutan NaOH sehingga CO₂ dapat terikat dalam NaOH dengan metode karbonasi untuk kemudian membentuk Na₂CO₃. Natrium karbonat (Na₂CO₃) atau biasa dikenal sebagai soda ash merupakan senyawa yang banyak digunakan dalam berbagai bidang industri. Senyawa ini memiliki peranan penting dalam perkembangan industri di Indonesia. Sayangnya, kebutuhan ini tidak selaras dengan adanya produksi dalam negeri, dimana seluruh kebutuhan soda ash masih bergantung pada sektor impor. Mempertimbangkan hal tersebut, perencanaan pabrik soda ash akan menangani kedua permasalahan sekaligus, yaitu emisi CO₂ yang mengkhawatirkan dan ketergantungan soda ash pada sektor impor.

Kata Kunci—Absorpsi, Karbonasi, Karbondioksida, Natrium Karbonat.

I. PENDAHULUAN

PERUBAHAN zaman mengikat dunia dengan adanya perluasan dan perkembangan industri. Perkembangan ini tak lepas dari dampak yang dihasilkan, baik dampak positif maupun dampak negatif. Dampak negatif dari perkembangan industri yang memiliki pengaruh besar terhadap lingkungan yaitu emisi gas rumah kaca dari industri yang terlepas ke atmosfer. Pelepasan ini mengakibatkan adanya efek rumah kaca dan meningkatkan pemanasan global secara keseluruhan. Salah satu gas rumah kaca yang berkontribusi adalah gas karbondioksida (CO₂). Beberapa aktivitas industri yang memiliki peran terbesar sebagai sumber emisi CO₂ diantaranya adalah industri semen, industri besi dan baja, industri petrokimia, industri kertas, serta berbagai industri lain yang mengakomodasi penggunaan bahan karbonat dalam proses produksi [1]. Sementara itu, Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada Inventarisasi Emisi GRK Bidang Energi menyebutkan bahwa penyumbang emisi terbesar berasal dari industri produsen energi dengan pangsa sebesar 43,83% atau mencapai 638,452 Gg CO₂ yang berasal dari tiga subkategori, yakni pembangkit listrik, kilang minyak, dan pengolahan batubara. Hal ini diakibatkan adanya konsumsi bahan bakar skala besar dalam proses produksi listrik.

Tabel 1.
Data impor natrium karbonat Indonesia per tahun

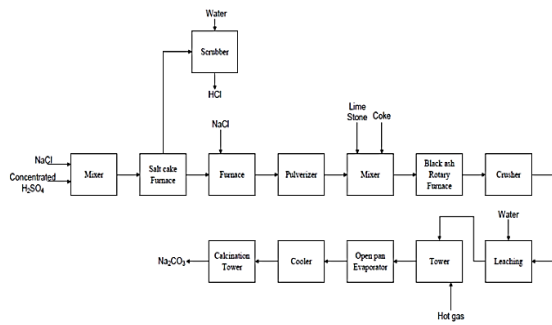
Tahun	Massa (ton)
2016	879.750
2017	1.013.606
2018	985.995
2019	985.995
2020	819.912
2021	821.456
2022	916.828

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu penyumbang emisi yang besar dimana berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, pada unit 5 powerplant di Probolinggo sendiri saja dapat menghasilkan hingga 3.367.824,43 ton emisi CO₂. Tidak adanya upaya mitigasi dalam mereduksi emisi ini akan menimbulkan pertumbuhan CO₂ yang lebih besar nantinya. Pemerintah telah mengusahakan pengupayaan hal ini dengan adanya komitmen dalam pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) sebesar 29% atau 834 juta ton CO₂ pada tahun 2030 dari kondisi Business as Usual (BaU). Adapun, studi pengelolaan lanjutan diperlukan dengan fokus utama pada emisi powerplant.

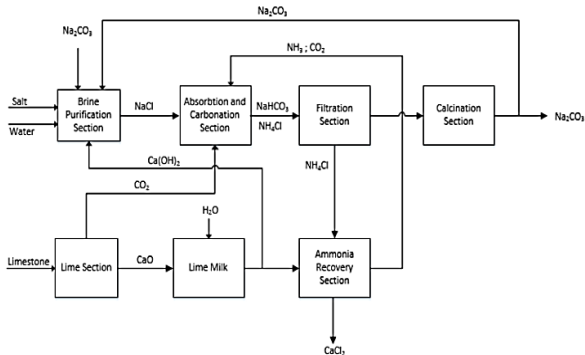
Proses pemisahan gas CO₂ telah banyak dikembangkan dalam rangka mereduksi emisi CO₂, seperti adsorpsi, absorpsi, metode pelarutan dan difusi dengan teknologi membran, dan kriogenik (pendinginan) [2]. Pada penggunaan teknologi membran, dibutuhkan aliran gas murni tanpa pengotor, sementara kriogenik hanya berlaku untuk aliran gas dengan kandungan CO₂ yang besar dan metode adsorpsi memiliki kapasitas dan selektivitas yang rendah. Adapun, metode absorpsi lebih cocok digunakan karena lebih ekonomis [3]. Absorpsi merupakan sebuah proses untuk memisahkan bahan yang terdapat pada campuran gas dengan cara mengikat pada absorben cair bersamaan dengan pelarutan. Salah satu absorben yang dapat digunakan adalah Natrium hydroxide (NaOH) [4].

Proses absorpsi dengan NaOH akan menghasilkan produk berupa Soda abu (Na₂CO₃) karena adanya penyerapan CO₂ oleh NaOH. Proses ini terjadi secara kimiawi dimana terjadi reaksi antara kedua senyawa secara langsung [5]. Natrium karbonat (Na₂CO₃) adalah jenis garam natrium netral yang berasal dari asam yang bersifat higroskopis. Senyawa ini merupakan bahan baku dalam pembuatan pembersih dan kaca. Selain itu, Na₂CO₃ digunakan juga untuk produksi bahan pemutih, boraks, pupuk, pewarna, dan masih banyak lainnya [6]. Meskipun demikian, kebutuhan soda ash dalam negeri tidak diimbangi dengan produksi yang selaras. Hingga saat ini, soda ash yang digunakan masih 100% berasal dari hasil impor. Adapun data jumlah impor tahunan Natrium karbonat Indonesia secara kumulatif ada pada Tabel 1 [7].

Berdasarkan data kebutuhan Na₂CO₃ di Indonesia, dapat



Gambar 1. Diagram blok proses Le Blanc.



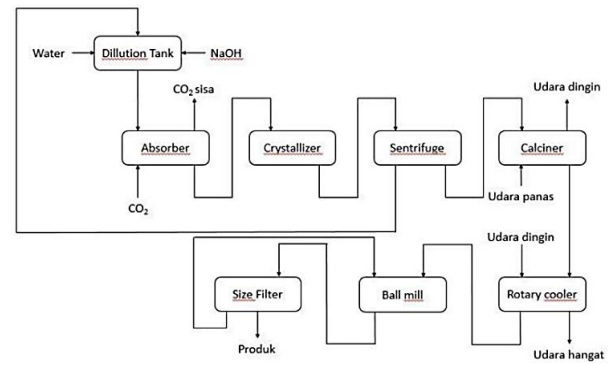
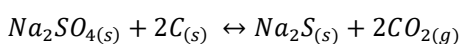
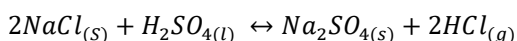
Gambar 2. Diagram blok proses Solvay.

diartikan bahwa pendirian pabrik soda abu ini dapat membantu pemenuhan kebutuhan dalam negeri dan di saat yang bersamaan dapat menangani permasalahan emisi CO₂ yang mengkhawatirkan.

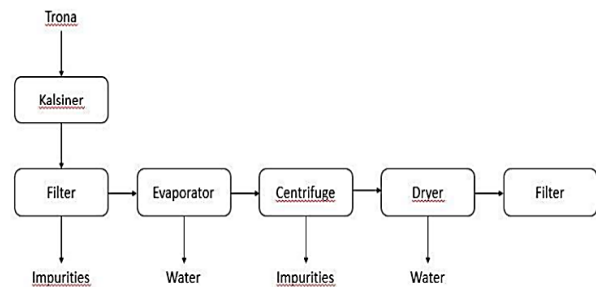
Proses pembuatan Na₂CO₃ memiliki dua macam cara, yaitu secara sintetik dan alami. Secara sintetik terdiri dari proses Le Blanc, solvay, dan karbonasi. Sementara itu, untuk proses alami disebut sebagai Natural process.

A. Proses Le Blanc

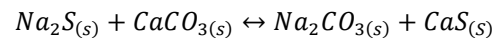
Metode Le Blanc merupakan salah satu metode yang dipakai dalam proses pembuatan Na₂CO₃. Gambar 1 merupakan blok diagram dari proses Le Blanc. Metode ini memerlukan bahan baku proses seperti garam klorida (NaCl), Kalsium karbonat (CaCO₃), dan karbon (C) dengan bahan baku tambahan berupa larutan Asam sulfat (H₂SO₄). Menurut Ulmann dalam Jurnal yang ditulis oleh Fadlan Minallah dan kawan-kawan. Langkah pertama dalam metode ini yaitu perebusan garam laut (Natrium klorida) di dalam asam sulfat guna menghasilkan Natrium sulfat (Na₂S) dan gas Hidrogen klorida (HCl). Proses ini didasarkan pada pemangangan salt cake (kerak garam) dengan karbon dan batu kapur di dalam kiln dan sesudah itu mengeraskan hasilnya dengan air. Hasil reaksi ini dikenal sebagai “abu hitam” atau black ash. Proses pengerasan terjadi pada suhu rendah, dimana sebagian sulfida mengalami hidrolisis. Selanjutnya, abu hitam diubah menjadi karbonat melalui perlakuan gas yang mengandung karbondioksida dari kiln. Larutan Na₂CO₃ yang terbentuk kemudian dipekatkan untuk menghasilkan padatan Na₂CO₃ yang dapat dikeringkan atau dikalsinasi [8]. Proses ini didasari pada reaksi berikut,



Gambar 3. Diagram blok proses karbonasi.

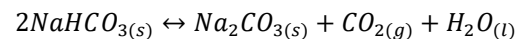
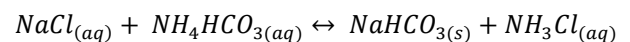
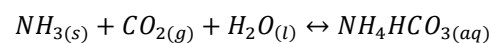


Gambar 4. Diagram blok proses natural.

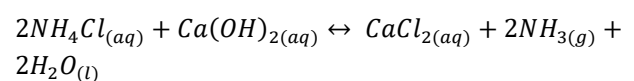


B. Proses Solvay

Proses ini dikenal sebagai “Proses Soda Amonia” yang menggunakan garam (NaCl) dan batu kapur (CaCO₃) sebagai bahan dasar, serta amonia sebagai siklus reagen, menghasilkan CaCl₂ sebagai produk samping. Gambar 2 merupakan diagram blok proses Solvay. Menurut apa yang dinyatakan oleh Ulmann dalam jurnal yang ditulis oleh Retno Dwi Nyamiati dan rekan-rekannya, proses ini didasarkan pada reaksi antara amonia dengan karbon dioksida dan air untuk membentuk amonium bikarbonat, dengan persamaan reaksi berikut [8].

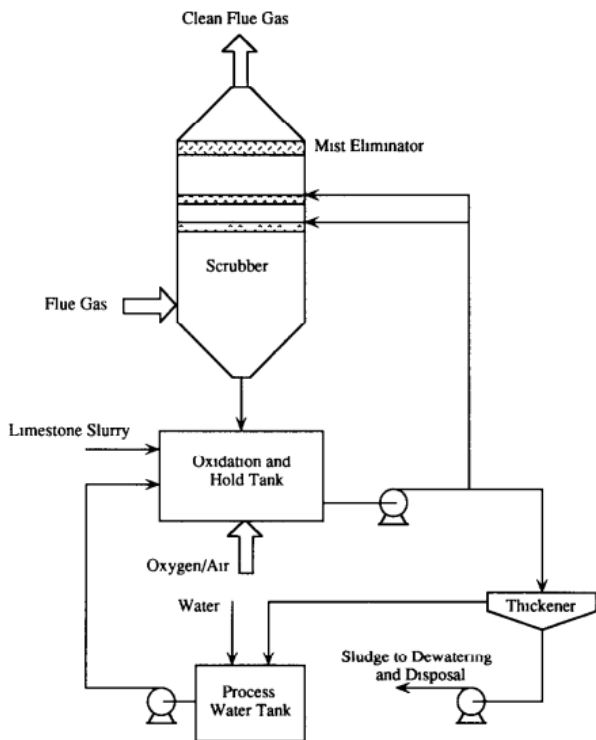


Dalam reaksi ini, amonium bikarbonat yang terbentuk berinteraksi dengan garam untuk menghasilkan natrium bikarbonat. Natrium bikarbonat ini kemudian diolah melalui proses kalsinasi menjadi abu soda ringan. Selama proses ini, klorida juga dihasilkan sebagai produk sampingan. Klorida tersebut kemudian dinetralisir dengan batu kapur untuk membantuk kalsium klorida, dengan persamaan reaksi sebagai berikut,



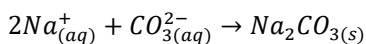
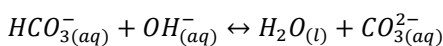
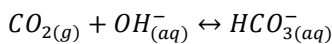
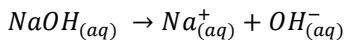
C. Karbonasi

Dalam proses karbonasi, dibutuhkan bahan baku berupa NaOH dan CO₂. Gambar 3 merupakan blok diagram dari proses karbonasi. Secara umum, proses ini dapat terjadi



Gambar 5. Proses desulfurisasi menggunakan limestone.

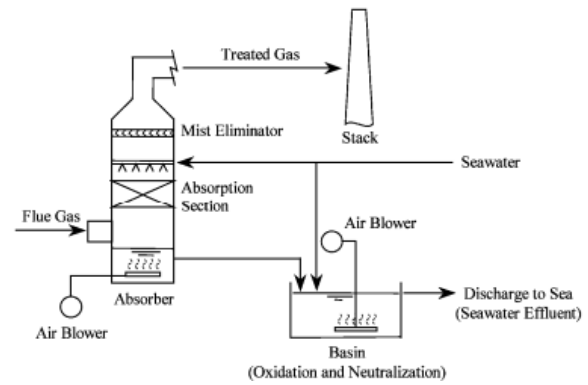
karena adanya penyerapan atau absorpsi CO_2 dalam larutan NaOH. Ikatan NaOH akan terionisasi dan pecah menjadi Na^+ saat berada di dalam pure water [8]. Gas CO_2 yang selanjutnya dimasukkan ke dalam larutan akan terikat dengan ion Na^+ dan OH^- dan akan bereaksi sesuai dengan reaksi berikut,



D. Natural

Pembuatan natrium karbonat secara alami memerlukan trona sebagai bahan baku. Trona ini akan mengalami proses kalsinasi, memisahkan larutan, dan menghasilkan kristal trona. Komposisi trona yang dihasilkan adalah 45% Na_2CO_3 , 35% NaHCO_3 , 2% NaCl , 1,5% Na_2SO_4 , 0,1% SiO_2 , 0,2% zat tak larut, dan 16% H_2O . Namun sayangnya, proses ini tidak dapat diterapkan di Indonesia karena kurangnya sumber daya tambang trona dalam jumlah besar. Oleh karena itu, negara-negara seperti Amerika Serikat, Turki, dan Kenya yang memiliki cadangan trona yang melimpah, tetap menggunakan metode ini. Gambar 4 merupakan diagram balok proses natural.

Proses pembuatan Na_2CO_3 dengan proses karbonasi memerlukan gas karbon dioksida. Namun pada desain pabrik ini flue gas yang digunakan memiliki komposisi yang beragam lebih dari sekedar karbon dioksida. Oleh karena itu diperlukan perlakuan awal (pre-treatment) terhadap flue gas yang digunakan agar komponen gas lainnya tidak mengganggu proses pembuatannya. Tujuan utama dalam

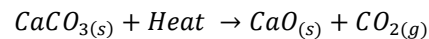


Gambar 6. Proses desulfurisasi menggunakan air laut.

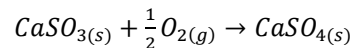
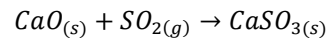
proses ini adalah menghilangkan komponen SO_2 yang dapat mengikat bahan baku NaOH sehingga mengganggu proses karbonasi. Proses penghilangan kandungan SO_2 dapat dilakukan dengan desulfurisasi.

1) Wet Limestone Flue Gas Desulfurization

Proses pemisahan SO_2 berbasis kalsium lebih disukai karena kelimpahan dan ketersediaan batu kapur secara ekonomis. Reaksi antara Batu kapur dalam kondisi oksidasi diantaranya [9],



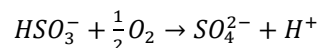
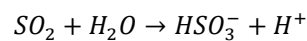
Batu kapur dikalsinasi dalam furnace dengan tujuan untuk mendapatkan CaO dan melepaskan kandungan CO_2 . Setelah itu ditambahkan dengan de-ionized water untuk membuat CaO menjadi slurry [10].



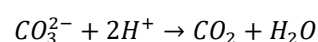
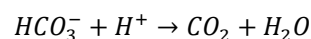
Flue gas akan direaksikan dengan slurry pada tangki scrubber dengan aliran *countercurrent*. Reaksi yang terjadi sesuai dengan persamaan yang disajikan sebelumnya. SO_2 akan terabsorpsi kedalam slurry membentuk kalsium sulfat. Setelah proses absorpsi slurry akan dikumpulkan pada hold tank dan akan digunakan kembali ke dalam tangki scrubber beserta sedikit aliran menuju thickener. Proses ditunjukkan pada Gambar 5.

2) Seawater Flue Gas Desulfurization

Air laut dapat digunakan sebagai sorbent untuk menarik SO_2 dalam ikatan HSO_3^- . Ikatan ini kemudian berikatan dengan O_2 yang terpecah untuk menjadi SO_4^{2-} . Secara umum, reaksi yang terjadi diantaranya:



Typical pH pada air laut memiliki range 7,6 – 8,4 dengan kandungan alkalinity mencapai 100-110 mg/L CaCO_3 . CaCO_3 pada air laut tersebut kemudian akan terpecah menjadi ion karbonat (CO_3^{2-}) dan ion bikarbonat (HCO_3^-) dan dapat digunakan untuk menetralkan air laut sebelum dibuang kembali. Reaksi yang terjadi diberikan pada Gambar 5.



Tabel 2.
Daftar produksi natrium hidroksida di Indonesia

Nama Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
PT Asahimas	Cilegon	370.000
PT Sulfindo	Serang	275.000
PT Inti Indoraon	Porsea	33.000
PT Pakerin	Mojokerto	15.000
PT Industri Soda	Sidoarjo	12.000
PT Miwon	Gresik	12.000
PT Indah Kiat Pulp	Riau	10.000
PT Kertas Letjes	Probolinggo	9.000
PT Tjiwi Kimia	Sidoarjo	7.200
PT Kertas Basuki	Banyuwangi	6.850
PT Soda Sumatera	Medan	6.400
PT Suparma	Surabaya	1.800
PT Kertas	Pandalarang	750

Pada proses ini digunakan reaksi terjadi secara absorpsi pada kolom absorber dengan mengontakkan *flue gas* dengan *seawater* menggunakan aliran *countercurrent* dimana ketika SO_2 sudah terserap, *flue gas* yang tersisa akan dilewatkan *mist eliminator* untuk mencegah tetesan terikut. Proses disajikan pada Gambar 6.

Berdasarkan beberapa pertimbangan yang dilakukan, dipilih *seawater flue gas desulfurization*.

II. DATA DASAR PERANCANGAN

A. Ketersediaan serta Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

Karbon dioksida (CO_2) dan Natrium hidroksida ($NaOH$) merupakan bahan baku utama yang digunakan pada pabrik ini. Bahan baku CO_2 yang digunakan berasal dari emisi gas buang *powerplant*. Sedangkan untuk $NaOH$ yang digunakan adalah larutan $NaOH$ dengan konsentrasi 48% dimana senyawa ini sangat mudah untuk ditemui di Indonesia karena banyaknya produksi $NaOH$ di dalam negeri. Hal ini dapat dilihat dari Tabel 2 (Disperindag, 2018).

Spesifikasi produk Na_2CO_3 disesuaikan pada AWW (American Water Works Association) B201-03, yaitu *soda ash dense* dengan *technical grade A*. Spesifikasi ini biasa digunakan untuk industri kaca, bahan kimia menengah, serta bahan pembuatan sabun dan detergen.

B. Kapasitas

Pendirian pabrik direncanakan pada tahun 2028. Maka, perkiraan jumlah impor pada tahun tersebut didasarkan pada tahun 2022 dengan menggunakan persamaan berikut:

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

Dimana, F adalah data impor saat pabrik didirikan (2028), P adalah data impor saat ini (2022), i adalah pertumbuhan rata-rata, n adalah selisih tahun.

Berdasarkan persamaan tersebut, didapatkan nilai proyeksi impor natrium karbonat di Indonesia pada tahun 2028 adalah sebesar 956.691 ton. Pendirian pabrik ini dapat menjadi solusi atas banyaknya konsumsi natrium karbonat pada berbagai industri yang tidak diimbangi produksi dalam negeri. Di saat yang bersamaan, pendirian pabrik dapat mengurangi emisi gas rumah kaca CO_2 karena digunakan sebagai bahan baku utama dalam produksi. Konversi absorpsi CO_2 menggunakan larutan $NaOH$ adalah sebesar 90% [11]. Maka, dengan *flue gas* yang telah disebutkan didapatkan jumlah produksi Na_2CO_3 sebesar 250.000 ton/tahun dan

memenuhi 26,132% dari kebutuhan impor Indonesia di tahun 2028.

C. Lokasi dan Ketersediaan Utilitas

Lokasi mempengaruhi suatu pabrik dari segi operasi produksi, transportasi distribusi, ekonomi operasional, dan pengembangan di masa yang akan datang. Lokasi yang dipilih haruslah memberikan efek positif dalam jangka panjang baik bagi perusahaan maupun warga sekitar. Dalam hal ini kabupaten Probolinggo, Jawa Timur atau Cilegon diambil sebagai pilihan untuk lokasi Soda Abu. Berdasarkan pertimbangan faktor ketersediaan bahan baku, pemasaran, utilitas, tenaga kerja, aksesibilitas dan transportasi, iklim dan topografi, kemungkinan perluasan pabrik. Kabupaten Probolinggo dipilih sebagai lokasi terpilih [12].

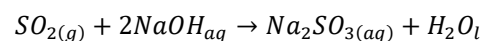
III. URAIAN PROSES

Produksi natrium karbonat dapat dibagi menjadi tiga tahapan proses.

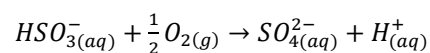
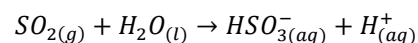
A. Tahap Persiapan Bahan dan Reaksi

1) Persiapan Bahan

Uraian *Flue gas* dari *powerplant* memiliki kandungan SO_2 yang perlu dihilangkan sehingga perlu adanya *pre-treatment*. Hal ini disebabkan oleh gas SO_2 yang dapat mengganggu proses absorpsi dimana gas ini memiliki kemampuan untuk bereaksi dengan $NaOH$ dengan reaksi sebagai berikut:



Selain itu, SO_2 bersifat korosif sehingga harus dihilangkan dari *flue gas* untuk mencegah kerusakan peralatan. Penghilangan SO_2 dilakukan dengan desulfurisasi menggunakan air laut. Pada proses ini, SO_2 akan bereaksi dengan O_2 yang terkandung dalam air laut sehingga bereaksi sebagai berikut [13]:



Pada saat proses desulfurisasi ini berlangsung dihasilkan produk H_2SO_4 pada air laut. Limbah ini kemudian akan dialirkan menuju proses pengolahan limbah dan kandungan dari *flue gas* lain yang tidak berikatan akan dilanjutkan pada proses berikutnya.

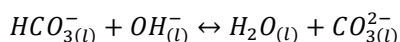
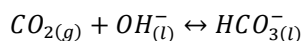
Larutan $NaOH$ 48%wt terlebih dahulu diencerkan hingga mencapai konsentrasi 27%wt. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan produk natrium karbonat yang mendekati jenuh tapi belum membentuk kristal. Perlakuan ini bertujuan agar *packed column* terjaga dalam keadaan aman dan proses kristalisasi di tahap selanjutnya akan berlangsung cepat. Setelah diencerkan, $NaOH$ ini dipanaskan terlebih dahulu menggunakan heater menggunakan *steam* hingga mencapai suhu 71 °C untuk selanjutnya dilakukan proses karbonasi pada *packed column absorber*.

2) Reaksi

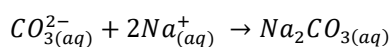
Tahap ini merupakan tahap utama dimana proses absorpsi CO_2 oleh larutan $NaOH$. Kolom absorber yang digunakan merupakan reaktor *packed column* dimana dua fasa, yaitu fasa cair dan fasa gas akan dikontakkan. Pada tahap ini,

NaOH yang sudah dipanaskan melalui *heat exchanger* dipompa menuju kolom absorber melalui bagian atas. Sementara itu, gas CO₂ yang sudah dimurnikan dengan seawater desulfurization akan dipompa ke kolom absorber melalui bagian bawah sehingga terjadi kontak antara kedua aliran secara *counter current* (berlawanan arah).

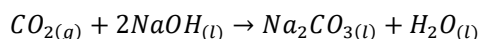
Pengontakkan kedua *feed* menyebabkan CO₂ terabsorb secara reaktif dalam larutan, dimana CO₂ akan berkontak dengan ion OH⁻ yang terpecah dari NaOH sebagai berikut:



Pada tahap ini, reaksi (2) lebih dominan karena absorben dipertahankan pada alkanitas yang tinggi yang kemudian akan terjadi peningkatan konsentrasi CO₃²⁻ relatif terhadap HCO₃⁻. Ion CO₃²⁻ selanjutnya akan bereaksi dengan ion Na⁺ membentuk Na₂CO₃ sesuai dengan reaksi berikut :



Sehingga reaksi total yang dihasilkan adalah sebagi berikut:



Karena reaksi antara CO₂ dan NaOH merupakan reaksi cepat orde dua, absorpsi CO₂ oleh NaOH terjadi di bagian film sehingga koefisien film dipertimbangkan untuk didapatkan transfer unit dari absorpsi yang terjadi. Berdasarkan perhitungan kelarutan, diperoleh bahwa seluruh natrium karbonat yang terbentuk berupa cairan. Oleh karena itu, diperlukan langkah pengkristalan pada proses selanjutnya.

B. Tahap Kristalisasi dan Pengurangan Kadar Air

1) Kristalisasi Na₂CO₃

Tahap Selanjutnya larutan natrium karbonat akan dipompa menuju *crystallizer*. Berdasarkan grafik kelarutan natrium karbonat, didapatkan data bahwa semakin tinggi suhu larutan maka kelarutan yang dimiliki akan naik secara signifikan. Oleh karena itu, proses kristalisasi yang dipilih adalah kristalisasi dengan pendinginan. Namun sebelum memasuki *crystallizer*, larutan Na₂CO₃ terlebih dahulu perlu untuk diturunkan temperaturnya hingga mencapai 35 °C di dalam *heat exchanger*. Hal ini bertujuan untuk mengurangi beban pendinginan pada *crystallizer*.

Larutan natrium karbonat yang didinginkan akan mencapai kondisi *supersaturated* sehingga mengalami proses perubahan menjadi bentuk padatan atau disebut pengkristalan pada *crystallizer*. Temperatur di dalam *crystallizer* diatur menjadi 5 °C. Dengan suhu tersebut, *crystallizer* mampu mencapai efisiensi sebesar 80%. Setelah dikristalisasi, dihasilkan larutan dalam bentuk *slurry*. Pada spesifikasi produk, diperlukan kandungan air yang sedikit sehingga tahap pemisahan dilakukan untuk menyesuaikan dengan standar yang diinginkan.

2) Pemisahan

Tahap pemisahan dilakukan untuk memisahkan kristal natrium karbonat dengan kandungan lain. Pemisahan yang digunakan berupa *sedimenting centrifuge* dimana larutan diumpangkan menuju *centrifuge* secara kontinyu untuk memisahkan antara padatan yang diinginkan dengan cairan.

Natrium karbonat kristal akan berpisah dengan larutan oleh adanya gaya sentrifugal pemisah partikel berdasarkan massa jenisnya. Padatan natrium karbonat yang memiliki massa jenis yang lebih tinggi sehingga akan terpisah dengan liquid lainnya. Keluaran dari *centrifuge* berupa cake dengan masih adanya sedikit larutan yang terikut. Keluaran ini akan diteruskan ke tahap pengeringan sementara *mother liquor* yang telah dipisahkan akan dialirkan menuju *wastewater treatment* untuk diolah kembali.

3) Pengeringan

Setelah melalui proses pemisahan, proses pengeringan dilakukan karena masih adanya kandungan air sebesar 8,9%. Pada langkah ini, *cake* akan diumpangkan ke *rotary dryer* (B-150) untuk dikontakkan dengan udara kering yang sebelumnya telah dipanaskan hingga suhu 100 °C secara *counter-current*. Dengan perbedaan suhu yang sangat berbeda antara udara dengan larutan, transfer panas akan terjadi sehingga meningkatkan suhu pada material. Peningkatan suhu ini akan juga meningkatkan tekanan pada material sehingga perbedaan tekanan antara *cake* dan udara terjadi. Perbedaan tekanan ini digunakan sebagai *driving force* pada *rotary dryer* sehingga air kemudian akan bergerak dari tekanan yang tinggi (*cake*) ke tekanan yang lebih rendah (udara) dan transfer massa pun terjadi. Dalam prosesnya, udara panas tidak hanya mengikat air dalam *cake* melainkan turut serta membawa sebagian kecil padatan natrium karbonat. Dengan hal ini, pemisahan kembali perlu dilakukan untuk aliran udara keluar *rotary dryer* menggunakan *cyclone* (H-152).

Setelah melalui proses pengeringan, padatan akan membentuk gumpalan-gumpalan dan dialirkan ke *rotary cooler* (B-160) setelah melalui *screw conveyor* (J-153). *Rotary cooler* dalam hal ini diperlukan karena hasil dari proses pengeringan memiliki temperatur yang cukup tinggi, yaitu sekitar 60 °C, sehingga perlu adanya penyesuaian suhu dengan suhu sekitar. Proses pendinginan pada *rotary cooler* dilakukan dengan media pendingin berupa udara kering dengan suhu 30 °C. Dengan prinsip yang sama seperti *rotary dryer*, padatan akan mencapai suhu 35 °C dan diteruskan ke tahap selanjutnya.

C. Tahap Pengecilan Ukuran dan Finishig

Padatan natrium karbonat yang telah dikeringkan dan didinginkan sebelumnya diumpangkan melalui bucket elevator untuk kemudian dibawa menuju *ball mill* untuk menyesuaikan spesifikasi ukuran produk. Padatan ini dihancurkan di dalam *ball mill* dengan prinsip perputaran drum menggunakan grinding media berupa ball sehingga ball akan bergerak tidak beraturan dan menabrak satu sama lain dan padatan akan mengecil hingga mencapai ukuran 60 mesh. Keluaran dari *ball mill* kemudian dilewatkan *screener* untuk memisahkan produk sesuai dengan ukuran yang diinginkan. Apabila partikel telah berukuran 60 mesh, produk akan diteruskan ke *screw conveyor* untuk kemudian dikemas dan disimpan di dalam gudang penyimpanan. Sementara itu, produk dengan ukuran yang tidak sesuai nantinya akan diumpangkan kembali sebagai *recycle* menuju *ball mill*. Dari proses yang terjadi, didapatkan hasil akhir padatan natrium karbonat dengan konsentrasi 99,91 %wt. Apabila dibandingkan dengan standar produk yang telah ditetapkan, produk yang dihasilkan sudah memenuhi standar dan. Oleh

karena itu, produk yang telah dihasilkan mampu untuk bersaing di dalam dunia pasar.

IV. NERACA MASSA DAN ENERGI

Berdasarkan perhitungan neraca massa dengan asumsi pabrik beroperasi 24 jam selama 330 hari per tahun, dibutuhkan sebanyak 30.444,056 kg/jam NaOH untuk menghasilkan 250.000 ton/tahun Na_2CO_3 yield dari pabrik ini terhadap bahan baku utama berkisar 11,62%. Dalam proses produksi dibutuhkan CO_2 sebesar 18.245,002 kg/jam dan air laut sebesar 227.304,84 kg/jam. Berdasarkan neraca energi pabrik garam farmasi ini membutuhkan *power* sebesar 2.480.496,053 kW/Tahun, *steam* 2.552,92 Ton/hari, *cooling water* 2.875,44 kg/hari dan *chilled water* 4.543,298 kg/hari.

V. ANALISA EKONOMI

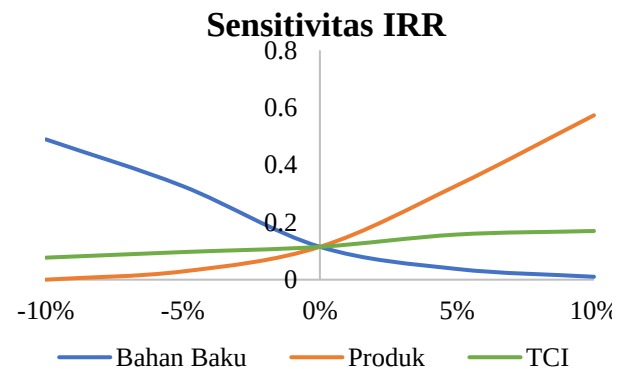
Capital Expenditure (CAPEX) atau biasa disebut FCI (*Fixed Capital Investment*) merupakan sebuah pengeluaran tetap. Pengeluaran tetap ini diartikan sebagai total pengeluaran yang dibutuhkan untuk pembelian equipment dalam pendirian pabrik. CAPEX sendiri merupakan bagian dari TCI (*Total Capital Investment*), yaitu penggabungan antara pengeluaran tetap dan pengeluaran yang dibutuhkan untuk pemasangan alat (*Work Capital Investment*, WCI). Nilai investasi modal (CAPEX) perusahaan umumnya mengalami penurunan atau depresiasi setiap tahunnya. Dengan TCI sebesar Rp132.019.747.482, dihasilkan nilai CAPEX sebesar Rp112.216.785.360.

Operation Expenditure (OPEX) atau biasa disebut TPC (*Total Production Cost*) merujuk pada pengeluaran yang dilakukan oleh suatu perusahaan untuk memenuhi kebutuhan operasional atau biaya yang dikeluarkan untuk menjaga kelangsungan aset serta memastikan kelancaran aktivitas perusahaan sesuai rencana. Berdasarkan perhitungan pada Apendiks C, dihasilkan nilai OPEX sebesar Rp2.402.758.109.042.

Net Present Value (NPV) merupakan perbedaan antara nilai sekarang dari arus kas yang masuk. Untuk menghitung nilai sekarang, perlu menentukan tingkat bunga yang relevan. Nilai *Net Present Value* (NPV) hasil pengurangan antara nilai WACC dengan total investasi pada akhir masa konstruksi. Setelah melewati proses perhitungan didapatkan NPV sebesar Rp73.985.355.509. NPV yang bernilai positif mengindikasikan bahwa akan mengalami keuntungan apabila perusahaan didirikan.

Internal rate of return (IRR) merupakan tingkatan bunga tertentu dimana total penerimaan secara tepat menyamai total pengeluaran modal. Pendekatan untuk menemukan nilai ini melibatkan percobaan nilai suku bunga (*trial i*), yaitu tingkat bunga sebagaimana dijelaskan. Dengan menggunakan metode *discounted cash flow*, *Internal Rate of Return* (IRR) merupakan nilai suku bunga (*i*) yang menyebabkan total *discounted cash flow* sama dengan jumlah FCI dari modal sendiri dan modal pinjaman. Dari proses perhitungan didapatkan nilai IRR sebesar 11,45% per tahun. Dapat dilihat bahwa nilai IRR lebih besar apabila dibandingkan dengan nilai WACC dan bunga bank yaitu sebesar 9,36% dan 8% per tahun sehingga pendirian pabrik akan menguntungkan.

Waktu pengembalian modal, POT merupakan waktu yang



Gambar 7. Sensitivitas IRR.

diperlukan untuk suatu perusahaan balik modal, dimana pada perhitungannya akan dihitung akumulasi modal. Dari perhitungan akumulasi *net cash flow*, didapatkan nilai bahwa POT sebesar 10,04 tahun. *Break Event Point* (BEP) atau titik impas digunakan untuk menentukan persentase kapasitas di mana total biaya produksi sama dengan pendapatan penjualan. BEP akan terjadi ketika kapasitas produk 83.171,63 ton/tahun.

Berdasarkan Gambar 7, dapat disimpulkan bahwa: (1) Apabila terdapat kenaikan pada bahan baku, maka nilai IRR akan mengalami penurunan yang mana hal ini mengindikasikan bahwa harga bahan baku yang murah jauh lebih diinginkan di dalam suatu produksi. (2) Apabila harga jual produk dinaikkan, maka nilai IRR pun akan semakin meningkat, dengan kata lain apabila suatu saat harga pasaran produk Na_2CO_3 naik, pabrik akan semakin menguntungkan. (3) Ketika TCI meningkat, maka dari itu nilai IRR akan mengalami penurunan. Hal ini karena TCI merupakan modal yang dipergunakan dalam proses pembangunan pabrik. Oleh karena itu, diperlukan TCI yang rendah untuk membuat nilai IRR meningkat.

VI. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan yang telah dicantumkan di dalam bab-bab sebelumnya, dapat diambil kesimpulan bahwa pabrik layak didirikan secara teknis, ekonomis, sosial, dan lingkungan. Secara teknis pabrik natrium karbonat akan didirikan di Probolinggo, Jawa timur pada tahun 2025 dengan waktu konstruksi selama 2 tahun dan perencanaan umur pabrik yaitu selama 20 tahun. Pabrik beroperasi secara kontinyu selama 24 jam/hari, 330 hari/tahun. Kapasitas produksi natrium karbonat sebanyak 250.000 ton/tahun memerlukan bahan baku NaOH sebanyak 30.444,056 kg/jam dan *flue gas* sebanyak 212.151,188 kg/jam.

Berdasarkan analisa Ekonomi yang telah dihitung memakai persamaan *discounted cash flow*, maka diperoleh hasil CAPEX sebesar Rp132.019.747.482, OPEX sebesar Rp 2.402.758.109.042, *Net Present Value* (NPV) sebesar Rp73.985.355.509, IRR bernilai 11,45 % per tahun, POT selama 10,04 tahun, BEP terjadi saat kapasitas produksi 33,3%. Berdasarkan analisis sensitivitas, IRR akan naik ketika harga bahan baku dan modal menurun, sedangkan harga jual produk naik.

Secara aspek sosial dan lingkungan, pendirian pabrik natrium karbonat akan membantu menambah jumlah

lapangan pekerjaan baru sehingga mampu mengurangi pengangguran di Kabupaten Probolinggo.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Ghozali, A. Pamungkas, and E. B. Santoso, "Faktor Keseimbangan Lingkungan Terhadap Emisi Gas CO₂ Di Wilayah Perkotaan Gresik," in *Seminar Nasional Teknologi*, Institut Teknologi Nasional Malang, Malang, Indonesia, 2015, pp. 980–989.
- [2] C.-H. Yu, C.-H. Huang, and C.-S. Tan, "A review of CO₂ capture by absorption and adsorption," *Aerosol Air Qual. Res.*, vol. 12, no. 5, pp. 745–769, 2012, doi: 10.4209/aaqr.2012.05.0132.
- [3] W. Kartika, "Studi pemanfaatan limbah CO₂ menjadi CO₂ cair dengan teknologi CO₂ purification di industri baja," *J. Jaring SainTek*, vol. 3, no. 2, pp. 13–20, 2021, doi: 10.31599/jaringsaintek.v3i2.738.
- [4] C. J. Geankoplis, *Transport Processes and Unit Operations*. New Jersey: Prentice Hall, 1993. ISBN: 0-13-045253-X.
- [5] I. M. Mara, "Analisis penyerapan gas karbondioksida (CO₂) dengan larutan NaOH terhadap kualitas biogas kotoran sapi," *J. Keilmuan dan Terap. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2012, doi: 10.29303/d.v2i1.110.
- [6] R. Jumalia and R. Zainul, "Natrium Karbonat : Termodinamika dan Transport Ion," Department Chemistry Education, Universitas Negeri Padang, 2019.
- [7] Badan Pusat Statistik, "Buletin Statistik Perdagangan Luar Negeri Impor Mei 2024," Jakarta: Badan Pusat Statistika, 2024. ISBN: 2745-6765.
- [8] M. F. Minallah, F. Taufany, and A. Altway, "Desain pabrik sodium karbonat dari CO₂ flue gas pabrik semen," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 1, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i1.22475.
- [9] Y. Zhao, T. Guo, Z. Zhang, and F. Xue, "Wet Flue Gas Desulfurization using a Physical Mixture of Limestone and Lime for Energy Savings," 2011. doi: 10.1109/ISWREP.2011.5893606.
- [10] J. Kim, J. Lee, H. Cho, and Y. Ahn, "Life-cycle assessment of SO₂ removal from flue gas using carbonate melt," *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 100, pp. 270–279, 2021, doi: 10.1016/j.jiec.2021.05.013.
- [11] G. Yincheng, N. Zhenqi, and L. Wenyi, "Comparison of removal efficiencies of carbon dioxide between aqueous ammonia and NaOH solution in a fine spray column," *Energy Procedia*, vol. 4, pp. 512–518, 2011, doi: 10.1016/j.egypro.2011.01.082.
- [12] BPS Provinsi Jawa Timur, "Laporan Eksekutif Keadaan Angkatan Kerja Provinsi Jawa Timur 2023," Jakarta: Badan Pusat Statistik, 2024.
- [13] K. Oikawa, C. Yongsiri, K. Takeda, and T. Harimoto, "Seawater flue gas desulfurization: Its technical implications and performance results," *Environ. Prog.*, vol. 22, no. 1, pp. 67–73, 2004, doi: 10.1002/ep.670220118.