

# Desain Pabrik Sodium Karbonat Dari CO<sub>2</sub> Flue Gas Pabrik Semen

Muhammad Fadlan Minallah, Fadlilatul Taufany dan Ali Altway  
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
*e-mail:* f\_taufany@chem-eng.its.ac.id, alimohad@chem-eng.its.ac.id

**Abstrak** — Dengan semakin meningkatnya kebutuhan energi di Indonesia selama beberapa tahun terakhir ini, semakin juga meningkatkan bertambahnya gas rumah kaca yang dihasilkan. Gas rumah kaca (GRK) yang terdiri dari CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HCFC, dan CFC serta uap air (H<sub>2</sub>O), dimana yang menjadi sumber utama terjadinya pemanasan global. Terutama pada pabrik yang menghasilkan GRK itu sendiri selama proses produksi, seperti pabrik semen 15.107.267 ton, pabrik produksi kapur 3.688.147 ton, dan pabrik kaca/gelas 170.000 ton. Prospek soda abu (nama pasar sodium karbonat) di Indonesia masih dalam kondisi baik karena kebutuhan komoditas ini semakin bertambah dengan *rate* 3,4% pertahun untuk industri kapur, industri gelas, dan industri keramik. Selama ini kebutuhan soda abu di Indonesia masih dipenuhi dengan adanya impor dari negara lain, karena belum adanya produsen natrium karbonat di dalam negeri yang menjadikan komoditas ini sebagai produk utama dari pabriknya. Pabrik ini direncanakan akan didirikan di Kabupaten Tuban, Jawa Timur dengan estimasi waktu mulai produksi pada tahun 2017. Penentuan lokasi pabrik berdasarkan pada sumber bahan baku. Hal ini karena bahan baku yang digunakan adalah *flue gas* dari pabrik semen. Untuk memenuhi kebutuhan akan sodium karbonat kapasitas produk sodium karbonat ini sebesar 86,37 ton/jam. Pabrik beroperasi selama 24 jam per hari dengan hari kerja 330 hari per tahun. Proses pembuatan soda abu dengan proses karbonasi terdiri dari empat unit proses, yaitu *dust removal unit*, *absorption unit*, *crystallization unit*, dan *soda ash unit*. Dari analisa perhitungan ekonomi didapat Investasi Rp79.285.526.850, IRR sebesar 26%, POT selama 4,39 tahun, dan NPV positif 15 tahun sebesar Rp589.068.911.634. Umur dari pabrik ini diperkirakan selama 15 tahun dengan masa periode pembangunannya selama 2 tahun di mana operasi pabrik ini 330 hari/tahun.

**Kata Kunci**—Soda abu, Sodium Karbonat

## I. PENDAHULUAN

SELAMA tahun 2000 – 2011, konsumsi energi di Indonesia meningkat rata-rata 3% per tahun. Konsumsi energi terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi, penduduk, dan kebijakan yang ditetapkan oleh pemerintah. Dalam Outlook Energi Indonesia 2013, pertumbuhan rata – rata kebutuhan energi diperkirakan sebesar 4,7% per tahun selama tahun 2011 – 2030 dimana dengan meningkatnya kebutuhan energi semakin berbanding lurus juga terhadap bertambahnya gas rumah kaca yang dihasilkan. Gas rumah kaca yang terdiri dari CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HCFC, dan CFC serta uap air (H<sub>2</sub>O), dimana yang menjadi sumber utama terjadinya pemanasan global.

Pengembangan industri pengolahan mineral untuk peningkatan nilai tambah akan menciptakan peningkatan akan kebutuhan energi. Seperti energi yang dikonsumsi pada industri semen misalnya mencapai 2% dari total konsumsi energi primer dunia atau setara dengan 5% dari konsumsi energi dari sektor industri dunia (WEC dalam Asthana,

2006). Dengan konsumsi energi yang besar pada produksinya, pabrik semen adalah jenis industri yang menyumbangkan emisi CO<sub>2</sub> cukup besar karena penggunaan bahan bakar listrik, juga dari hasil produk samping dari proses produksinya.

Konsentrasi CO<sub>2</sub> pada emisi gas rumah kaca adalah yang paling kritis, hal ini telah meningkat dari 280 ppm pada zaman sebelum industri menjadi lebih dari 380 ppm sekarang, dan kini meningkat lebih dari 2 ppm per tahun didorong oleh emisi CO<sub>2</sub> global yang saat ini meningkat pada lebih dari 3,3% per tahunnya [1]. Data emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1 [2].

Tabel 1.  
Data emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia

Tahun	Emisi (Juta ton CO <sub>2</sub> )
2002	0,32
2003	0,33
2004	0,35
2005	0,36
2006	0,38
2007	0,40
2008	0,41
2009	0,42
2010	0,45
2011	0,49
2012	0,49
2013	0,50

Sebagai upaya untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> ke atmosfer bumi, di dalam Protokol Kyoto juga telah disepakati pemberlakuan kredit karbon yang didefinisikan sebagai hak bagi sebuah negara atau lembaga industri untuk membuang emisi CO<sub>2</sub> ke atmosfer setelah negara atau lembaga industri tersebut membayar sejumlah nominal tertentu sebagai kompensasi atas volume CO<sub>2</sub> yang dibuangnya. Harga kredit karbon ini berkisar antara USD 10 – 30 per ton CO<sub>2</sub> dan mekanisme pembayaran serta klaimnya dikoordinasikan oleh sejumlah badan dunia seperti Perserikatan Bangsa – Bangsa (PBB), Bank Dunia, dan *European Union* (EU).

Industri semen merupakan salah satu sektor industri yang berkembang dalam 1 dasawarsa terakhir. Namun industri semen adalah salah satu industri dengan penghasil emisi CO<sub>2</sub> yang cukup besar. Sebagai contoh emisi dari produksi semen dihasilkan melalui dua proses, proses pertama adalah proses dekarbonasi batu kapur saat material bahan baku dibakar menghasilkan hampir 0,5 ton CO<sub>2</sub>/ton semen. Sumber kedua berasal dari pembakaran sejumlah besar bahan bakar di atas temperatur 2000°C. Habibie menyatakan bahwa CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar untuk mengoperasikan kiln (tanur) mencapai 0,75 ton CO<sub>2</sub>. Total emisi karbon dari produksi semen dunia mencapai 162 ton, atau mencapai 2,6% dari total karbon yang berasal dari

oksidasi bahan bakar fosil [4]. Berikut adalah Tabel 2 yang menjelaskan tentang emisi CO<sub>2</sub> di sektor lingkungan dari Kementerian Lingkungan Hidup.

Tabel 2.

Emisi gas CO<sub>2</sub> untuk Sektor Industri Mineral di Indonesia Tahun 2012

Kategori	Emisi CO <sub>2</sub> (Ton)
Produksi Semen	15.107.267
Produksi Kapur	3.688.147
Produksi Kaca/Gelas	170.000

Emisi gas CO<sub>2</sub> tertinggi pada pabrik semen dihasilkan dari pembakaran batubara yang digunakan dalam kiln untuk produksi semen. Bahan bakar lainnya yang digunakan dalam kiln, gas alam atau bahan bakar minyak, akan menghasilkan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang lebih rendah. Hal ini penting karena gas kiln akan digunakan lebih lanjut dalam proses. Selama pembakaran CaCO<sub>3</sub> menjadi CaO di dalam kiln, CO, dan CO<sub>2</sub> dihasilkan dari pembakaran batu bara dan dari dekomposisi batu kapur. Berikut adalah data emisi gas CO<sub>2</sub> semen gresik yang disajikan dalam Tabel 3 [5].

Tabel 3.  
Emisi Gas CO<sub>2</sub> Semen Gresik

Sumber Pembentukan	Jumlah Sumber	Faktor Emisi	Emisi CO <sub>2</sub> (ton)
Pembakaran bahan bakar	51,833 ton batubara	2,3885 ton CO <sub>2</sub> /ton batubara	123,803
Pembentukan CaO dan MgO (penyusunan terak)	323,618 ton terak	0,54 ton CO <sub>2</sub> /ton terak	174,76
Pembentukan Dust	55,3333 ton dust	0,3865 ton CO <sub>2</sub> /ton dust	21,3869
Total Emisi CO <sub>2</sub>			319,9489

Umpan yang digunakan untuk pabrik soda abu adalah *flue gas* pabrik semen yang terdiri dari gas CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>. Bahan baku utama dari soda abu adalah gas CO<sub>2</sub>.

Natrium karbonat merupakan komoditas yang menjanjikan di mana konsumsi cenderung meningkat secara proporsional. Konsumen utama natrium karbonat sebagian besar merupakan industri sabun, industri gelas, industri kertas, industri tekstil, industri metalurgi dan industri keramik. Kebutuhan soda abu di Indonesia dipenuhi dengan cara mengimpor dari negara lain yang dapat dilihat pada Tabel 4 [6].

Tabel 4.  
Jumlah Produksi Natrium Karbonat di Dunia\*

Negara	2009	2010	2011	2012
Australia	310	310	310	300
China	19,450	20,350	22,940	24,010
German	2,291	2,539	2,668	2,627
India	1,400	1,500	1,400	1,500
Japan	400,000	410,000	430,000	450,000

\*dalam 1000 ton

Menurut U.S. Geological Survey (USGS) pada tahun 2012 terdapat 10 negara yang mengimpor 68% natrium karbonat total ekspor AS, yaitu Meksiko, 18%; Brazil, 11%; Indonesia, 10%; Chile, 6%; Kanada, 5%; Belanda, 4%; Jepang, 4%; Republik Korea, 3%; Thailand, 3%; dan Taiwan, 3%. Dari data tersebut menunjukkan kebutuhan natrium karbonat Indonesia masih bergantung pada impor dari negara lain.

Biaya yang diperlukan industri Indonesia untuk mencukupi kebutuhan natrium karbonat melalui impor sangat tinggi.

Tingginya biaya impor ini meliputi biaya angkut melalui kapal, bea cukai, pajak, dan lain – lain.

Tabel 5.

Referensi Harga Jual Natrium Karbonat/Juli 2014

Negara	Pabrik	Jenis Natrium Karbonat	Harga* (\$/ton)
Amerika	Solvay N. A.	Berat	344
	FMC Corp.	Berat	355
India	Tata Chemical	Ringan	304.23**
	Ltd.	Berat	309.01**

\*Belum termasuk biaya pengiriman

\*\*Kurs Dollar terhadap Rupee pada tanggal 17 Maret 2015

Dari berbagai macam industri yang menggunakan soda abu, industri tekstil dan kertas menduduki sepuluh besar kelompok hasil industri dengan nilai ekspor terbesar, masing – masing 13,23% dan 5,57% pada tahun 2011. Pertumbuhan industri tekstil cukup signifikan, dimana setelah mengalami pertumbuhan negatif pada tahun 2007 – 2008 akibat dampak krisis ekonomi global, namun pada tahun 2013 dapat tumbuh di atas 4% dengan nilai ekspor pada tahun 2012 mencapai US\$ 12,45 milyar.

Natrium karbonat merupakan komoditas kimia yang digunakan dalam beberapa cabang industri, di antaranya adalah sebagai industri kaca, deterjen, industri metalurgi, dan industri kimia.

Kebutuhan soda abu di Indonesia semakin meningkat sejalan dengan semakin meningkatnya kebutuhan terhadap soda abu dalam pemenuhan industri Indonesia. Berikut adalah kebutuhan soda abu di Indonesia pada tahun 2009 sampai tahun 2012 yang dapat dilihat pada Tabel 6 yang didapatkan dari Kementerian Lingkungan Hidup tahun 2014.

Tabel 6.  
Data Kebutuhan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> di Berbagai Industri di Indonesia\*

Tahun	Industri Kapur	Industri Gelas	Industri Keramik	Total
2009	95,589	693,875	10,532.77	799,996
2010	106,388	701,957	11,424.11	819,769
Tahun	Industri Kapur	Industri Gelas	Industri Keramik	Total
2011	85,240	772,664	12,792.05	857,904
2012	85,240	804,576	12,792.06	889,816
Pertumbuhan rata-rata			3,48%	

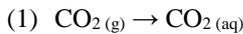
\* dalam Ton/Tahun

## II. URAIAN PROSES

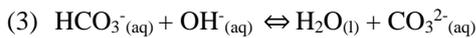
Ekonomi proses ini tergantung pada ketersediaan jumlah NaOH yang diproduksi sebagai produk sampingan dari pembuatan klorin dari air garam. Sangat menarik untuk dicatat bahwa pasar soda abu tergantung pada permintaan untuk klorin karena selama produksi klorin, soda kaustik juga diproduksi dimana bersaing dalam sebagian besar aplikasi soda abu. Oleh karena itu, jika pasar klorin tumbuh pada tingkat yang tinggi, produk sampingan soda kaustik yang dihasilkan, dapat mengambil alih sebagian besar pasar soda abu dan menekan harga. Dengan demikian studi pasar dan kelayakan untuk soda abu harus memperhitungkan saat ini dan proyeksi pasar kaustik / klorin<sup>[7]</sup>.

Mekanisme pembuatan soda abu dengan proses karbonasi natrium hidroksida dilakukan dengan absorpsi CO<sub>2</sub> dalam

larutan aqueous NaOH yang dapat dijelaskan seperti di bawah ini. Pertama, Na<sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup> hampir sepenuhnya terionisasi dalam *pure water* karena NaOH adalah basa kuat. Kedua, ketika gas CO<sub>2</sub> diumpungkan ke larutan NaOH untuk diabsorb, CO<sub>2</sub> secara fisik tearbsorp menjadi CO<sub>2</sub> cair, seperti ditunjukkan pada Persamaan (1).



Selanjutnya, CO<sub>2</sub> cair bereaksi dengan OH<sup>-</sup> untuk menghasilkan HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> dan CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, seperti yang tunjukkan dalam persamaan (2) dan (3).



Meskipun persamaan (2) adalah reaksi orde kedua, dapat dianggap sebagai reaksi orde satu semu karena konsentrasi CO<sub>2</sub> konstan. Persamaan. (2) dan (3) adalah reaksi reversibel dengan rate yang sangat cepat dalam kisaran pH tinggi (Fleischer et al., 1996). Reaksi (3) segera terjadi setelah reaksi (2) (Guo et al., 2011). CO<sub>2</sub> cair tidak terdapat dalam larutan selama reaksi keseluruhan karena pembentukannya segera bereaksi dengan OH<sup>-</sup>. Setelah CO<sub>2</sub> cair yang dihasilkan dalam larutan, CO<sub>2</sub> cair segera dikonsumsi melalui reaksi (2) dan (3) (Fleischer et al., 1996).

Persamaan (3) dominan di awal reaksi karena absorben dipertahankan dengan alkalinitas yang sangat tinggi dan selanjutnya meningkatkan konsentrasi relatif CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> dengan HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Fleischer et al., 1996). Selain itu, OH<sup>-</sup> cepat menurun melalui reaksi (2) dan (3). Oleh karena itu, sementara pH dengan cepat menurun selama periode reaksi awal, konsentrasi CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> meningkat. Berdasarkan fenomena tersebut, reaksi bersih dilakukan selama waktu awal (atau range) reaksi penyerapan CO<sub>2</sub> secara keseluruhan dinyatakan pada Persamaan. (4).

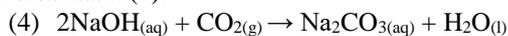
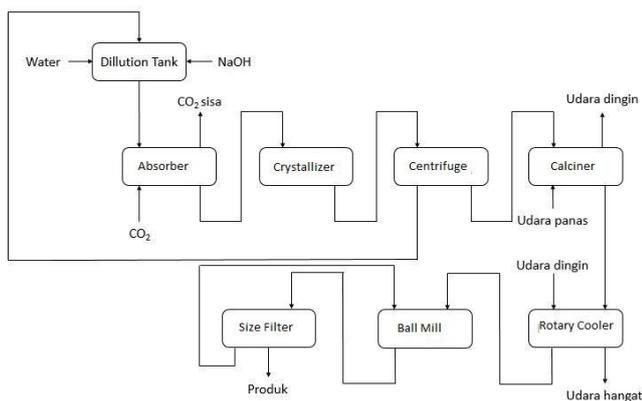


Diagram blok untuk proses karbonasi ini adalah sebagai berikut.



Gambar 1. Blok Diagram Proses Karbonasi

Spesifikasi produk yang akan dihasilkan dari pabrik Natrium Karbonat Plant dari CO<sub>2</sub> ini disesuaikan dengan standar spesifikasi produk natrium karbonat yang dibutuhkan oleh industri. Spesifikasi produk tersebut dapat dilihat pada tabel 7 yang merupakan ISO 9004.

Tabel 7.

Spesifikasi Produk Natrium Karbonat

Komponen	Soda abu ringan (%)	Soda abu berat (%)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	min. 99,1	min. 99,1
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,04	0,04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,004	0,004
H <sub>2</sub> O	0,02	0,02
(insoluble)		
Densitas bulk	0,52 t/m <sup>3</sup>	1,0 t/m <sup>3</sup>

### III. MATERIAL BALANCE

Berikut merupakan hasil perhitungan dari *material balance* pabrik Sodium Karbonat dari CO<sub>2</sub> Flue Gas Pabrik Semen ini dimana kapasitas *feed* sebesar 86373,349 kg/jam dan produk yang dihasilkan adalah sodium karbonat sebesar 28061,579 kg/jam.

### IV. ANALISA EKONOMI

Dari hasil perhitungan pada neraca ekonomi didapatkan *Total Capital Investment* pabrik ini sebesar Rp79.285.526.850 dengan bunga 12% per tahun dan NPV 15 tahun sebesar Rp589.068.911.634. Selain itu, diperoleh IRR sebesar 26% dan BEP sebesar 62,32% dimana pengembalian modalnya selama 4,39 tahun. Umur dari pabrik ini diperkirakan selama 15 tahun dengan masa periode pembangunannya selama 2 tahun di mana operasi pabrik ini 330 hari/tahun.

### V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa ekonomi didapatkan nilai IRR sebesar 26% yang lebih tinggi dari suku bunga bank yaitu 12% per tahun, NPV 15 tahun sebesar Rp589.068.911.634 dimana pengembalian modalnya selama 4,39 tahun maka pabrik sodium karbonat ini layak didirikan.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Austin, George T., *Chemical Process Industries* (2012).
- [2] <http://kemenperin.go.id/statistik/>
- [3] Habibie, S., *Identification of Green House Gases Emission Technologies In Industry Sector* (1999).
- [4] Coulson, J., *Chemical Engineering*, Vol. 6 (1983).
- [5] Mutiara, Farisa Ridha, *Evaluasi Efisiensi Panas dan Emisi Gas Rumah Kaca pada Rotary Kiln Pabrik Semen* (1967).
- [6] Carlin, F., *Mineral Information*, USGS (2012).
- [7] Wagialla, K. M., *The Manufacture of Soda Ash in The Arabian Gulf* (1992).