



Pengaruh Temperatur Larutan NaOH pada Pemanfaatan CO₂ Flue Gas Boiler pada Proses Sintesis Natrium Karbonat Menggunakan NaOH

Bagus Ridwan Arifin^{1*}, Noor Hidayati², dan Nugrahanto Widagdo³

¹Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin

²Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

³PT Badak NGL, Bontang, Kalimantan Timur 75324

Abstrak

Berdasarkan dokumen Indonesia Energy Outlook 2019, rata-rata peningkatan emisi gas rumah kaca di Indonesia akan meningkat setiap tahunnya sebesar 3,9%, hal ini dapat menimbulkan berbagai masalah seperti pemanasan global, polusi udara dan perubahan iklim. Berdasarkan pasal 13 UU Harmonisasi Perpajakan tahun 2021, Indonesia akan memberlakukan Carbon tax bagi perusahaan yang menghasilkan emisi gas buang CO₂ senilai Rp 30 per kg CO₂e. Disisi lain, kebutuhan natrium karbonat terus meningkat sebesar 3,48%/tahun dan hampir 100% masih bergantung pada import dari negara lain. Oleh karena itu, diperlukan inovasi untuk memanfaatkan gas buang CO₂, khususnya dari Flue Gas Boiler untuk dimanfaatkan kembali menjadi natrium karbonat. Pada penelitian ini, penulis hanya berfokus pada perancangan sistem dan optimasi parameter operasi pemanfaatan CO₂ flue gas boiler pada proses sintesis natrium karbonat menggunakan NaOH dengan variasi temperatur NaOH (50°C, 60°C, 70°C, 80°C, dan 90°C). Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan bahwa temperatur optimum dari larutan NaOH yang digunakan adalah 70°C, dengan %-yield yang dihasilkan dapat mencapai 96-97%. Selain itu, dilakukan uji kualitatif menggunakan pereaksi HCl pekat dan HgCl₂ yang menunjukkan bahwa endapan yang diperoleh hasil positif.

Kata-kata kunci: Absorpsi NaOH, Emisi CO₂, Flue Gas Boiler, Natrium Karbonat

Abstract

Based on the Indonesia Energy Outlook 2019 document, the average increase in greenhouse gas emissions in Indonesia will increase every year by 3.9%, this can cause various problems such as global warming, air pollution and climate change. Based on article 13 of the Tax Harmonization Law in 2021, Indonesia will impose a Carbon tax for companies that produce CO₂ exhaust emissions worth IDR 30 per kg of CO₂e. On the other hand, the need for sodium carbonate continues to increase by 3.48% / per year and almost 100% is still dependent on imports from other countries. Therefore, innovation is needed to utilize CO₂ exhaust gas, especially from Flue Gas Boiler to be reused into sodium carbonate. In this study, the author only focused on system design and optimization of operating parameters for the utilization of CO₂ flue gas boilers in the sodium carbonate synthesis process using NaOH with NaOH temperature variations (50°C, 60°C, 70°C, 80°C, and 90°C). Based on the results of the study, it was found that the optimum temperature of the NaOH solution used was 70 ° C, with the resulting %-yield can reach 96-97%. In addition, qualitative tests were carried out using concentrated HCl and HgCl₂ reagents that showed that the deposits obtained were positive results.

Keywords: NaOH Absorption, CO₂ Emission, Flue Gas Boiler, Sodium Carbonate

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Berdasarkan dokumen Indonesia Energy Outlook 2019, rata-rata peningkatan emisi gas rumah kaca di Indonesia akan meningkat setiap tahunnya sebesar 3,9% dengan proyeksi total emisi pada tahun 2030 akan meningkat menjadi 912 juta ton CO₂ equivalent [1]. Oleh sebab itu, Indonesia berkomitmen untuk menurunkan emisi GRK sebesar 29% di tahun 2030 serta diharapkan bahwa dalam sector energi Indonesia dapat menurunkan emisi GRK sebesar 314 juta ton CO₂ [2]. Berdasarkan Pasal 13 Bab VI Undang-Undang Harmonisasi Peraturan Perpajakan tahun 2021 telah disebutkan bahwa pajak karbon adalah pajak yang dikenakan atas pembelian barang yang mengandung karbon atau aktivitas yang menghasilkan emisi karbon. Tarif pajak karbon yang ditetapkan sebesar Rp 30,00 per kilogram karbon dioksida ekuivalen (CO_{2e}) [3].

Terdapat beberapa upaya yang telah dilakukan oleh pemerintah dunia serta Indonesia dalam mengurangi emisi gas CO₂ yang dihasilkan [4], seperti konsep EGS (*Enhanced Geothermal Systems*) yang akan menggunakan CO₂ sebagai pengganti air sebagai fluida transmisi panas, *carbon capture utilization* (CCU) untuk mengubah emisi CO₂ sebagai bahan baku karbon yang dapat diperbarui, menjadi produk dan menyimpannya secara permanen, serta CCS (*carbon capture and storage*) yang mengubah emisi CO₂ dan menggunakannya dalam reaksi kimia terutama karena sifat CO₂ itu sendiri yang stabil secara termodinamika [5]. Teknologi penyerapan CO₂ dalam NaOH merupakan reaksi yang cenderung dipilih karena laju reaksi dan kapasitas absorpsi yang dimiliki tinggi, serta NaOH yang lebih berlimpah, murah dan dikenal oleh masyarakat [6]. Selain itu, CO₂ yang bereaksi dengan larutan NaOH dapat membentuk produk Na₂CO₃ yang memiliki banyak fungsi dalam industri.

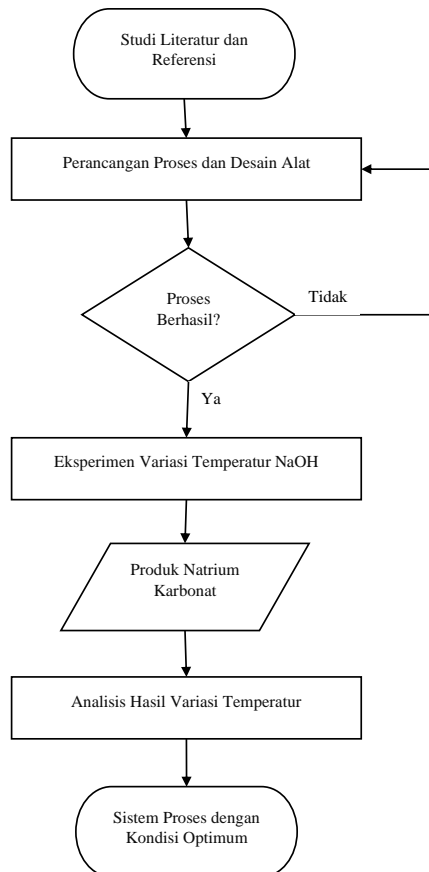
Natrium karbonat adalah bahan kimia yang digunakan di beberapa cabang industri, termasuk industri kaca, deterjen, industri metalurgi, dan industri kimia [7]. Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup, rata-rata kebutuhan natrium karbonat di Indonesia meningkat sebesar 3,48% pertahun serta kebutuhan natrium karbonat Indonesia masih bergantung pada impor dari negara lain [8]. Oleh karena itu, dibutuhkan perancangan sistem serta optimasi parameter operasi pemanfaatan CO₂ flue gas boiler pada proses sintesis natrium karbonat menggunakan larutan NaOH.

Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah merancang sistem untuk menghasilkan natrium karbonat melalui proses penjerapan CO₂ flue gas boiler dengan absorpsi NaOH serta menganalisis parameter operasi berupa temperatur larutan NaOH untuk menghasilkan natrium karbonat melalui proses penjerapan CO₂ flue gas boiler dengan absorpsi NaOH yang optimum.

2. METODE PENULISAN

Berikut adalah diagram alir secara umum dari rancangan tugas akhir ini,



Gambar 1. Diagram Alir Pengerjaan

Penjelasan Langkah Kerja

Penjelasan terkait rencana kerja yang akan dilakukan adalah sebagai berikut,

1. Studi Literatur dan Referensi

Studi literatur dan referensi dilakukan dengan cara mengumpulkan informasi serta data-data yang didapatkan dari hasil penelitian maupun percobaan yang berkaitan dengan tugas akhir ini. Referensi jurnal tersebut dapat dijadikan sebagai acuan dalam pembuatan ini. Informasi tersebut diperoleh dari buku-buku ilmiah, laporan penelitian, jurnal, karangan-karangan ilmiah, ensiklopedia, dan sumber-sumber tertulis baik tercetak maupun elektronik.

2. Perancangan Proses dan Desain Alat

Perancangan proses merupakan penyusunan jenis proses yang akan digunakan berdasarkan hasil studi literatur hingga pembuatan diagram alir proses (process flow diagram) yang nantinya akan digunakan pada sistem/ unit alat tugas akhir ini.

3. Eksperimen Variasi Temperatur NaOH

Setelah memastikan bahwa alat yang dibuat dapat bekerja, maka dilakukan eksperimen untuk menentukan parameter desain yang optimum pada alat ini. Eksperimen yang dilakukan berupa variasi temperature larutan NaOH dengan suhu variasi sebesar 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, dan 90°C.

4. Analisis Hasil Eksperimen

Setelah dilakukan eksperimen atau percobaan, maka akan didapatkan output berupa produk natrium karbonat. Produk natrium karbonat yang telah didapatkan, akan dianalisa menggunakan %-yield serta penentuan uji kualitatif. Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, maka akan didapatkan desain parameter yang optimum pada rancangan proses ini.

Analisa secara kualitatif dapat menggunakan cara penambahan produk natrium karbonat dengan reagen pereaksi asam klorida (HCl) dan reagen merkuri (II) klorida (HgCl₂). Pada saat endapan ditambahkan dengan pereaksi asam klorida (HCl) pekat maka akan terbentuk gas karbon dioksida

(CO₂) hal ini yang menandakan bahwa terdapat ion karbonat (CO₃²⁻) pada endapan tersebut. Pada saat produk natrium karbonat ditambah dengan reagen HgCl₂, maka akan didapatkan endapan merah bata. Uji kualitatif ini didasarkan pada metode Vogel yang lazim digunakan untuk identifikasi ion karbonat (CO₃²⁻).

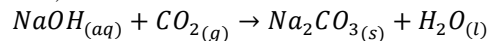
Perhitungan %-yield yang digunakan dalam teknologi pemanfaatan CO₂ dari flue gas boiler untuk dikonversi menjadi natrium karbonat adalah sebagai berikut,

$$\% - \text{yield} = \frac{m_{\text{gravimetri}} \text{Na}_2\text{CO}_3}{m_{\text{teoritis}} \text{Na}_2\text{CO}_3} \times 100\%$$

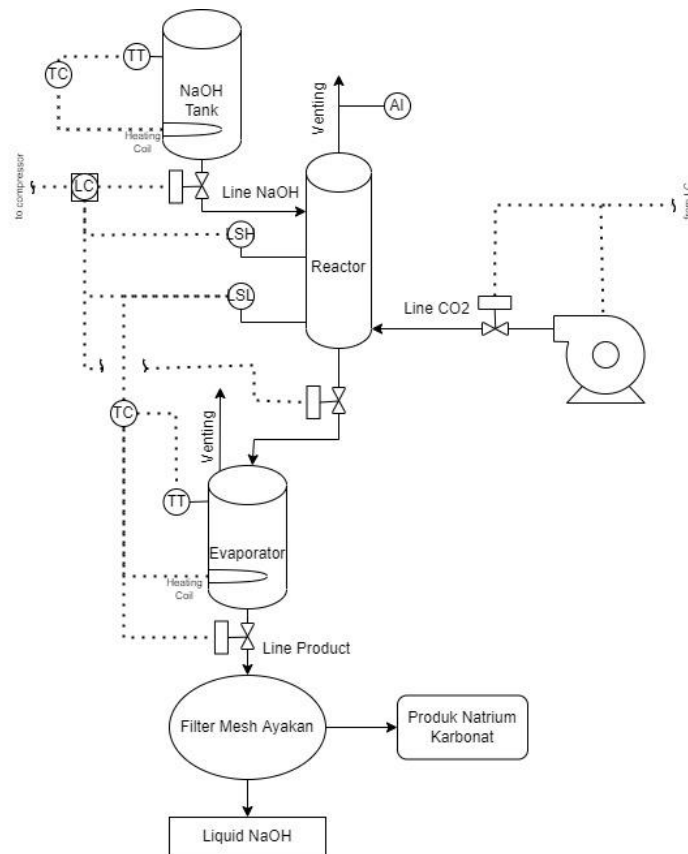
$m_{\text{teoritis}} \text{Na}_2\text{CO}_3$	=	Massa teoritis endapan Na ₂ CO ₃ yang didapatkan dari persamaan stoikiometri
$m_{\text{gravimetri}} \text{Na}_2\text{CO}_3$	=	Massa endapan Na ₂ CO ₃ yang telah didapatkan dari proses reaksi berlangsung dan telah melalui proses analisa secara gravimetri untuk mendapatkan massa yang sebenarnya
%-yield	=	%-yield dari setiap reaksi dan variasi yang telah dilakukan, serta berguna untuk mengetahui kondisi optimum dari reaksi yang terjadi dan mendapatkan keadaan optimum untuk proses penjerapan CO ₂ untuk menjadi produk Na ₂ CO ₃

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk penjerapan gas buang karbon dioksida (CO₂) yang terkandung dalam Flue Gas (Gas Buang) Boiler 28 pada unit Utilitas Plant-31 PT BADAK NGL menggunakan larutan penjerap natrium hidroksida (NaOH). Larutan NaOH digunakan sebagai penjerap karena memiliki sifat basa alkali kuat yang dapat menyerap lebih baik serta harga yang lebih murah [9]. Proses reaksi kimia yang terjadi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut,



Process flow diagram dari teknologi ini ditampilkan sebagai berikut,



Gambar 2. Process Flow Diagram Alat

Prinsip kerja yang dimiliki oleh alat ini adalah larutan natrium hidroksida (NaOH) dimasukkan kedalam sebuah tangki yang didalamnya terdapat elemen pemanas untuk memanaskan larutan NaOH yang akan digunakan dalam reaksi nantinya. Flue Gas Boiler 28 yang digunakan akan dilakukan sampling terlebih dahulu dan dimasukkan dalam wadah berupa *taddler bag* berukuran 40 L hingga akhirnya akan dimasukkan dalam tangki kompressor dan didorong oleh kompressor dengan tekanan mencapai 2 bar menuju reaktor saat proses reaksi yang akan berlangsung.

Sebelum flue gas boiler dialirkan, larutan NaOH dengan variasi suhu (50°C, 60°C, 70°C, 80°C, dan 90°C) serta konsentrasi 10 M akan dialirkan menuju kolom reaktor untuk berkontak langsung dan bereaksi dengan gas CO₂ yang berasal dari gas buang boiler sebelumnya. Setelah gas habis, maka akan terbentuk endapan natrium karbonat yang merupakan produk reaksi yang diharapkan. Setelah itu, produk akan dialirkan menuju kolom evaporator untuk mengubah fase kristal dari deka hidrat natrium karbonat menjadi anhidrat Na₂CO₃. Setelah dipanaskan dalam unit evaporator dengan suhu mencapai 120°C, maka akan dilanjutkan dengan proses filtrasi atau penyaringan untuk memisahkan padatan natrium karbonat dengan sisa larutan NaOH dari reaksi yang terjadi. Larutan NaOH sisa ini akan digunakan kembali (*recycle*) dengan cara memasukkan kembali ke unit tangki untuk dapat digunakan kembali untuk proses reaksi selanjutnya. Endapan hasil proses filtrasi selanjutnya akan dipanaskan menggunakan oven untuk analisa gravimetri serta analisa %-yield yang dihasilkan.

Rangkaian alat penjerapan gas karbon dioksida (CO₂) pada proses sintesis natrium karbonat dengan menggunakan larutan NaOH yang dilakukan ditunjukkan dalam gambar berikut,

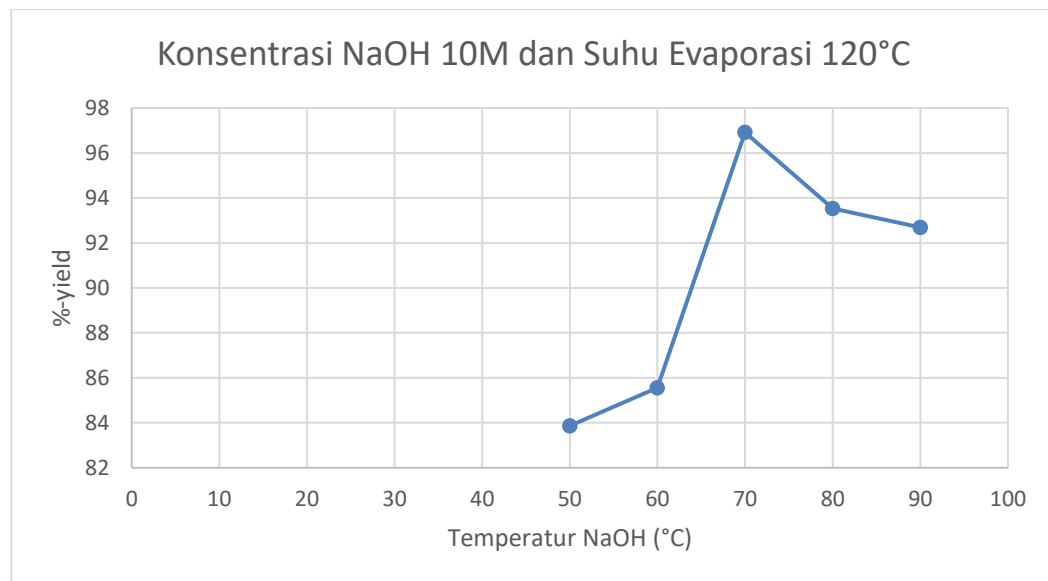


Gambar 3. Alat Produksi Natrium Karbonat

4. PENGARUH VARIASI TEMPERATUR LARUTAN NAOH TERHADAP %-YIELD REAKSI

Penelitian yang dilakukan berdasarkan variasi konsentrasi NaOH 10 M dengan variasi temperature 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, dan 90°C serta kondisi suhu pada unit evaporasi sebesar 120°C. Hasil analisa yang didapatkan dari variasi temperature NaOH yang digunakan ditampilkan dalam tabel serta grafik berikut,

Konsentrasi NaOH 10M dan Suhu Evaporasi 120°C	
Kondisi Temperatur NaOH	%-yield reaksi
50	83,86540881
60	85,55345912
70	96,91710692
80	93,53333333
90	92,68930818



Gambar 4. Grafik Pengaruh Temperatur NaOH terhadap %-yield Reaksi

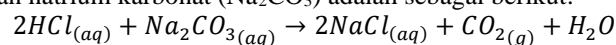
Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan bahwa semakin tinggi temperatur atau suhu yang dimiliki oleh larutan NaOH maka %-yield dari reaksi yang dilakukan akan semakin tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu yang dimiliki, maka massa endapan produk Na_2CO_3 juga akan semakin banyak dan reaksi berjalan lebih efisien. Hal ini dikarenakan saat suhu reaksi dinaikan, maka sesuai dengan teori Le Chatelier dimana tetapan kesetimbangan kimia berbanding terbalik dengan suhu namun berbanding lurus dengan konversi, atau dengan kata lain konversi berbanding terbalik dengan suhu reaksi. [10].

Berdasarkan grafik di atas, juga didapatkan bahwa pada temperatur NaOH sebesar 70°C dengan konsentrasi NaOH sebesar 10 M, reaksi akan berjalan optimum dengan %-yield mencapai 96,917%. Hal ini diperkuat dengan %-yield yang didapatkan pada saat kondisi temperature NaOH sebesar 80°C dan 90°C lebih rendah apabila dibandingkan dengan %-yield saat temperatur NaOH sebesar 70°C .

Pada saat suhu larutan NaOH berada pada angka 80°C dan 90°C , %-yield reaksi berkurang dari sebelumnya. Hal ini diakibatkan karena suhu optimum reaksi telah didapatkan pada saat 70°C . Pada saat reaksi melebihi temperatur optimum, maka dapat menyebabkan berkurangnya tumbukan antara molekul reaktan sehingga kecepatan reaksi menurun dan pada akhirnya konversi produksi natrium karbonat juga akan berkurang.

5. UJI KUALITATIF (IDENTIFIKASI ION CO_3^{2-})

Produk endapan Na_2CO_3 yang dihasilkan telah dilakukan analisa kualitatif untuk mengetahui kebenaran bahwa produk tersebut merupakan endapan natrium karbonat yang diinginkan. Metode yang digunakan adalah dengan menggunakan [11] yaitu dalam identifikasi anion golongan I gas atau uap asam dilepaskan ketika direaksikan dengan asam sulfat pekat. Adapun reaksi yang terjadi ketika asam klorida (HCl) pekat ditambahkan dengan natrium karbonat (Na_2CO_3) adalah sebagai berikut:

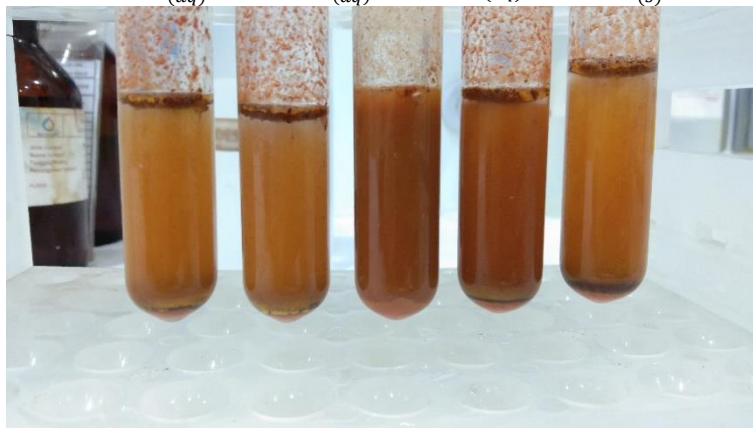
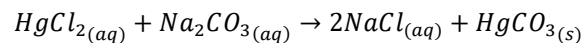




Gambar 5. Uji Kualitatif dengan Preaksi HCl

Hasil penambahan pereaksi asam klorida (HCl) pekat dalam produk yang dihasilkan menunjukkan bahwa terbentuk gas karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan, hal ini yang menandakan bahwa terdapat ion karbonat (CO₃²⁻) pada endapan tersebut. Hasil dari semua produk endapan yang dihasilkan menunjukkan bahwa semua positif menghasilkan ion CO₃²⁻, karena pada saat ditambahkan pereaksi HCl maka sampel akan mengeluarkan gas karbon dioksida (CO₂). Hasil uji tersebut sudah sesuai dengan Metode [11] yang digunakan sebagai dasar acuan dalam analisa uji identifikasi ion carbonat CO₃²⁻.

Produk endapan Na₂CO₃ yang dihasilkan juga telah dilakukan analisa kualitatif untuk mengetahui kebenaran bahwa produk tersebut merupakan endapan natrium karbonat yang dihasilkan. Metode yang digunakan adalah dengan menggunakan [11] yang menyatakan bahwa ion karbonat ketika ditambahkan dengan pereaksi merkuri (II) klorida (HgCl₂) akan terbentuk endapan berwarna coklat kemerahan karena ion H⁺ terlepas. Adapun reaksi yang terjadi ketika natrium karbonat (Na₂CO₃) ditambahkan dengan merkuri (II) klorida (HgCl₂) adalah:

Gambar 6. Uji Kualitatif dengan Pereaksi HgCl₂

Hasil penambahan pereaksi merkuri (II) klorida dalam produk yang dihasilkan menunjukkan bahwa terbentuk endapan merah bata yang dapat ditunjukkan pada gambar di atas, hal ini yang menandakan bahwa terdapat ion karbonat (CO₃²⁻) pada produk Na₂CO₃ yang dihasilkan dari penelitian ini. Hasil dari semua produk endapan yang dihasilkan menunjukkan bahwa semua positif menghasilkan ion CO₃²⁻, karena pada saat ditambahkan pereaksi HgCl₂ maka semua sampel uji akan menghasilkan endapan berwarna merah bata. Hasil uji tersebut sudah sesuai dengan Metode [11] yang digunakan sebagai dasar acuan dalam analisa uji identifikasi ion carbonat CO₃²⁻.

6. KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa kandungan CO₂ yang dimiliki oleh Flue Gas Boiler PT BADAQ NGL dapat dimanfaatkan sebagai feed gas untuk proses sintesis natrium karbonat dengan metode penjerapan menggunakan larutan NaOH dengan % -yield optimum mencapai angka 96,917%. Temperatur optimum dari larutan NaOH yang digunakan dalam proses reaksi sintesis natrium karbonat adalah 70°C dengan % -yield optimum mencapai angka 96,917%. Serta, produk Na₂CO₃ yang dihasilkan dari teknologi ini telah dilakukan uji kualitatif bahwa produk benar-benar positif mengandung ion CO₃²⁻.

REFERENSI

- [1] KESDM, "Indonesia Energy Outlook 2019," *Outlook Energi Indonesia 2019*, pp. 72-78, 2019.
- [2] KESDM, Data Inventory Emisi GRK Sektor Energi, Jakarta Pusat: Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2016.
- [3] DJP, Undang-Undang Harmonisasi Peraturan Perpajakan, Indonesia: Direktorat Jenderal Pajak RI, 2021.
- [4] H. d. Khalilian, "Accounting For CO₂ Emissions From International Shipping: Burden Sharing Under Different UNFCCC Allocation Options And Regime Scenarios.," *Marine Policy*, US, 2011.
- [5] K. Anyrudh dan A. Ahmed, *Carbon Capture and Utilization Update*, US: Energy Technology, 2017.
- [6] J. K. Stolaroff, "Carbonate solutions for carbon capture: A summary," , 2013. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/display/71291414>. [Diakses 27 3 2022].
- [7] Industrial Minerals Association, "What is Soda Ash?," Industrial Minerals Association, [Online]. Available: https://www.ima-na.org/page/what_is_soda_ash#:~:text=Soda%20ash%2C%20also%20known%20as,can%20be%20produced%2C%20or%20manufactured. [Diakses 21 January 2022].
- [8] KLHK, "Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca," *Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan*, 2014.
- [9] F. T. d. A. A. Muhammad Fadlan Minallah, "Desain Pabrik Sodium Karbonat Dari CO₂ Flue Gas Pabrik Semen," *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 6, No. 1, (2017) ISSN: 2337-3539*, pp. 142-144, 2017.
- [10] A. S. Saputra, M. A. Syach dan P. D. E. R. Desmiarti, "STUDI AWAL PEMANFAATAN CO₂ UNTUK PEMBENTUKAN NATRIUM KARBONAT : KAJIAN KINETIKA REAKSI," *Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta, Padang*, 2019.
- [1] Vogel, *A Textbook of Macro and Semimicro Qualitative Inorganic Analysis* 5th edition, London: Green and Co, 1957.