



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Badak LNG
LNG ACADEMY



Badak LNG

PERANCANGAN DAN OPTIMASI SISTEM KARBONASI CO₂ GAS BUANG ACID GAS REMOVAL UNIT MENGGUNAKAN NATRIUM KARBONAT UNTUK SINTESIS NATRIUM BIKARBONAT

LAPORAN TUGAS AKHIR

Oleh:
Mukhammad Yusuf Iqbal
NIM. 2302319013

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KONSENTRASI PENGOLAHAN GAS
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA - LNG
ACADEMY
BONTANG, 2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



PERANCANGAN DAN OPTIMASI SISTEM KARBONASI CO₂ GAS BUANG ACID GAS REMOVAL UNIT MENGGUNAKAN NATRIUM KARBONAT UNTUK SINTESIS NATRIUM BIKARBONAT

LAPORAN TUGAS AKHIR

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Diploma III Program Studi Teknik Mesin Konsentrasi Pengolahan Gas, Jurusan Teknik Mesin

Oleh:
Mukhammad Yusuf Iqbal
NIM. 2302319013

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KONSENTRASI PENGOLAHAN GAS
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA - LNG
ACADEMY
BONTANG, 2026**

HALAMAN PERSEMBAHAN



”ن وَالْقَلَمِ وَمَا يَسْطُرُونَ“

Izinkan saya ucapkan rasa syukur kepada tuhan yang bersumpah kepada pena,
yang maha baik memberiku orang tua hebat, serta lingkungan yang sehat.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR

PERANCANGAN DAN OPTIMASI SISTEM KARBONASI CO₂ GAS BUANG ACID GAS REMOVAL UNIT MENGGUNAKAN NATRIUM KARBONAT UNTUK SINTESIS NATRIUM BIKARBONAT

Oleh:

Mukhammad Yusuf Iqbal

NIM. 2302319013

Program Studi Diploma III Teknik Mesin

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Dr. Isnanda Nuriskasari, S.Si., M.T.
NIP. 199306062019032030

Ir. M. Teguh Pratama., S.T., M.Si.,
I.P.M
NIP. 133229

Ketua Program Studi
Teknik Mesin

Nabila Yudisha, S.T., M.T.
NIP. 199311302023212045



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR**

**PERANCANGAN DAN OPTIMASI SISTEM KARBONASI CO₂ GAS
BUANG ACID GAS REMOVAL UNIT MENGGUNAKAN NATRIUM
KARBONAT UNTUK SINTESIS NATRIUM BIKARBONAT**

Oleh:

Mukhammad Yusuf Iqbal

NIM. 2302319013

Program Studi Diploma III Teknik Mesin

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang tugas akhir di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 9 Juli 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Diploma III pada Program Studi Diploma III Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Dr. Isnanda Nuriskasari, S.Si., M.T. NIP. 199306062019032030	Ketua Penguji		9/7/2026
2.	Nabila Yudisha, S.T., M.T. NIP. 199311302023212045	Penguji 1		9/7-2026
3.	Nisa Finidhama Palestine, ST., M.Eng NIP. 132476	Penguji 2		9/7-2026

Bontang, 9 Juli 2026

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Fuad Zalnuri, S.T., M.Si.

NIP: 197602252000121002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINILITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Mukhammad Yusuf Iqbal

NIM : 2302319013

Program Studi : Diploma III Teknik Mesin Pengolahan Gas

menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan Tugas Akhir (atau Skripsi) ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan Tugas akhir (atau skripsi) telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Bontang, 9 Juli 2026

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Mukhammad Yusuf Iqbal

NIM. 2302319013



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

PERANCANGAN DAN OPTIMASI SISTEM KARBONASI CO₂ GAS BUANG ACID GAS REMOVAL UNIT MENGGUNAKAN NATRIUM KARBONAT UNTUK SINTESIS NATRIUM BIKARBONAT

Mukhammad Yusuf Iqbal¹⁾, Isnanda Nuriskasari²⁾, M Teguh Pratama³⁾

¹⁾Program Studi Diploma Tiga Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²⁾Program Studi Diploma Empat Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

³⁾PT. Badak NGL, Bontang, Kalimantan Timur, 75321

Email: mukhammad.yusuf.iqbal.tm23@stu.pnj.ac.id

ABSTRAK

Unit Penghilang Gas Asam (AGRU) PT. Badak NGL menghasilkan gas buang yang mengandung CO₂ dalam kadar tinggi yaitu 96,889% secara mol, yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan. Pemanfaatan CO₂ tersebut diperlukan untuk mewujudkan *net zero emissions* Indonesia. Selain itu, CO₂ dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan natrium bikarbonat (NaHCO₃) melalui reaksi karbonasi natrium karbonat (Na₂CO₃), sehingga berpotensi untuk mensubstitusi NaHCO₃ yang masih diimpor sebanyak 105.654 ton/tahun. Penelitian ini menganalisis pembuatan NaHCO₃ dengan reaksi karbonasi CO₂ AGRU menggunakan larutan Na₂CO₃. Pengujian skala laboratorium dilakukan dengan volume 300 mL, dengan memvariasikan temperatur 30°C s/d 70°C serta konsentrasi Na₂CO₃ dari 1 hingga 7 M. Produk dianalisis menggunakan gravimetri dan titrasi. Selanjutnya, dirancang prototipe (volume 12,31 liter, rasio diameter tinggi = 5) berdasarkan perhitungan neraca massa stoikiometri dan pengujian hidrodinamika. Kondisi terbaik tercapai saat temperatur 40°C dan konsentrasi 3M, menghasilkan *yield* 57,09% kemurnian 79,4%, serta efisiensi penyerapan CO₂ 45,34%. Penurunan kinerja terjadi saat temperatur lebih dari 50°C dan konsentrasi mencapai atau melebihi 4 M karena batasan termodinamika dan transfer massa. Uji prototipe berhasil meningkatkan kapasitas produksi menjadi 5.032,7 g/*batch* dengan *yield* 61,32%, kemurnian 75,6%, dan efisiensi penyerapan CO₂ 63,2% di mana aliran gas tetap stabil dalam kondisi homogen (Ug = 15,66 mm/s).

Kata Kunci: CO₂, Unit Penghilangan Gas Asam, Natrium Bikarbonat, Karbonasi, Gas Alam



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DESIGN AND OPTIMIZATION OF CO₂ CARBONATION SYSTEM FOR ACID GAS REMOVAL UNIT OFF-GAS USING SODIUM CARBONATE FOR SODIUM BICARBONATE SYNTHESIS

Mukhammad Yusuf Iqbal¹⁾, Isnanda Nuriskasari²⁾, M Teguh Pratama³⁾

¹⁾Program Studi Diploma Tiga Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²⁾Program Studi Diploma Empat Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

³⁾PT. Badak NGL, Bontang, Kalimantan Timur, 75321

Email: mukhammad.yusuf.iqbal.tm23@stu.pnj.ac.id

ABSTRACT

Off-gas from the Acid Gas Removal Unit (AGRU) at PT. Badak NGL contains 96,889 mol% CO₂, providing a valuable resource for carbon utilization to support Indonesia's net zero emission targets. This study investigates the production of sodium bicarbonate (NaHCO₃) by reacting this CO₂ with a sodium carbonate (Na₂CO₃) solution, aiming to reduce the country's annual import of 105,654 tons of NaHCO₃. Initial experiments were performed in a 300 mL laboratory reactor, testing temperatures from 30 to 70°C and Na₂CO₃ concentrations from 1 to 7 M. The products were analyzed using gravimetric and titrimetric methods. Based on the optimal lab results, a 12.31 L prototype reactor (H/D = 5) was designed using stoichiometric mass balance and hydrodynamic verification. The highest yield of 57,18% with 79,4% purity and 45,34% CO₂ utilization efficiency was obtained at 40°C and 3 M Na₂CO₃. Higher temperatures (>50°C) and concentrations (≥4 M) lowered the yield due to thermodynamic and mass transfer limitations. Scaling up to the prototype increased the production capacity to 5032,7 g/batch, achieving a 61,32% yield, 75,6% purity, and 63,2% CO₂ utilization efficiency under a stable homogeneous flow regime (U_g = 15.66 mm/s).

Keywords: CO₂, Acid Gas Removal Unit, Sodium Bicarbonate, Carbonation, Natural Gas



KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karuniannya-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas akhir yang berjudul “Perancangan Dan Optimasi Sistem Karbonasi CO₂ Gas Buang Acid Gas Removal Unit Menggunakan Natrium Karbonat Untuk Sintesis Natrium Bikarbonat”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi Diploma III Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.

Penulisan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang tiada terhingga kepada:

1. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si. selaku Ketua Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jakarta.
2. Ir. Anas Malik Abdillah, ST, MBA, IPM. selaku Direktur LNG Academy.
3. Ibu Nabila Yudisha, S. T., M.T. selaku ketua program studi D3 Teknik Mesin.
4. Bapak Zaki Arif, S.T. selaku Kepala Jurusan Pengolahan Gas LNG Academy.
5. Ibu Dr. Isnanda Nuriskasari S.Si., M.T. dan Bapak Ir. M. Teguh Pratama., S.T., M.Si., I.P.M selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, bantuan, serta dukungan.
6. Bapak Chandra Irawan, selaku Administrasi LNG Academy yang telah mengurus berbagai hal yang dibutuhkan selama perkuliahan LNG Academy.
7. Kedua orang tua saya, bapak Fatkhurrahman Rachmat dan Ibu Lina Hidayati yang selalu memberi dukungan kepada saya.
8. Rekan-rekan LNG Academy angkatan 13 yang telah memberikan dukungan dan bantuan, khususnya Natasya Putri Philadelphia sebagai tim tugas akhir.
9. Serta seluruh pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu selama pelaksanaan tugas akhir.

Akhir kata, penyusun berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pembaca terutama pada bidang teknik mesin.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Bontang, 9 Juli 2026

Penulis



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN ORISINILITAS	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I	
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penulisan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penulisan.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 <i>Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS)</i>	7
2.2 <i>Acid Gas Removal Unit</i>	7
2.3 Metode Pemanfaatan CO ₂ melalui Karbonasi.....	9
2.4 Natrium Bikarbonat (NaHCO ₃).....	12
2.5 Proses Pembuatan Natrium Bikarbonat (NaHCO ₃)	13
2.6 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Proses Karbonasi Na ₂ CO ₃	16
BAB III	
METODE PENELITIAN	19
3.1 Diagram Alir Pengerjaan.....	19
3.2 Penjelasan Langkah Kerja.....	20



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.3 Metode Pemecahan Masalah.....	27
BAB IV	
HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Pengaruh Temperatur Terhadap Massa dan <i>Yield</i> Natrium Bikarbonat Skala Laboratorium.....	36
4.2 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Massa dan <i>Yield</i> Natrium Bikarbonat Skala Laboratorium.....	39
4.3 Evaluasi Kinerja Prototipe pada Kondisi Operasi Optimum	42
BAB V	
KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1. Kesimpulan	46
5.2. Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN.....	52

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Operasional AGRU PT. Badak NGL	8
Tabel 2.2 Hasil Analisis <i>Gas Chromatography</i> dari Gas Buang <i>Acid Gas Removal Unit</i> (AGRU) (Lampiran 1)	8
Tabel 2.3 Perbandingan Metode Karbonasi	10
Tabel 3.1 Stoikiometri reaksi karbonasi.....	29
Tabel 4.1 Hasil pengujian variasi temperatur pada konsentrasi 1 M	36
Tabel 4.2 Hasil pengujian variasi konsentrasi pada temperatur 40°C	39
Tabel 4.3 Perbandingan parameter desain reaktor skala lab dengan prototipe	43
Tabel 4.4 Perbandingan kinerja skala laboratorium dengan prototipe.....	44





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Nilai impor pasar NaHCO_3 [7].....	2
Gambar 2.1 Carbon Capture, Utilization, and Storage	7
Gambar 2.2 Diagram Alir Proses Acid Gas Removal Unit.	7
Gambar 2.3 pH vs fraksi mol spesies karbonat (Bjerrum plot) [24].	15
Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan	19
Gambar 3.2. Padatan Natrium Karbonat	21
Gambar 3.3. Tedlar Bag berisi Gas CO_2 dari AGRU PT Badak NGL	21
Gambar 3.4. Larutan HCl 0,1 N serta Indikator <i>Phenolphthalein</i> dan <i>Methyl Orange</i>	22
Gambar 3.5. <i>Gas Washing Bottle, Water Bath, Compressor</i> , dan <i>Gas Meter</i>	22
Gambar 3.6. Vacuum Filter dan Kertas Saring Whatman no. 40	23
Gambar 3.7. Oven Pengering	23
Gambar 3.8. Neraca Analitik	23
Gambar 3.9. Buret dan Clamp (Statif)	24
Gambar 3.10. Erlenmeyer	24
Gambar 3.11 Pengujian skala laboratorium	25
Gambar 3.12 Proses Flow Diagram Alat	26
Gambar 3.13 Titik Pengambilan Data.....	27
Gambar 3.14 Justifikasi pemilihan temperatur dan kelarutan Na_2CO_3 untuk reaksi karbonasi	28
Gambar 3.15 Pemotongan pipa 6” menggunakan <i>sewing machine</i>	34
Gambar 3.16 Pengelasan <i>support</i>	34
Gambar 3.17 Pemasangan <i>top flange</i> reaktor	35
Gambar 3.18 Instalasi kebutuhan instrumentasi prototipe.....	35



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.1 Pengaruh temperatur terhadap %yield dan kadar NaHCO_3	37
Gambar 4.2 Pengaruh temperatur terhadap efisiensi penyerapan CO_2 pada konsentrasi Na_2CO_3 1 M	38
Gambar 4.3 Pengaruh konsentrasi terhadap %yield dan kadar NaHCO_3 pada temperatur 40°C	40
Gambar 4.4 Pengaruh konsentrasi terhadap efisiensi penyerapan CO_2 pada temperatur 40°C	41





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rekap Hasil Pengujian Reaksi Karbonasi	52
Lampiran 2. Perhitungan Reaksi Karbonasi.....	53
Lampiran 3. Analisis Kandungan Gas Buang <i>Acid Gas Removal Unit</i>	66
Lampiran 4. Endapan Reaksi Karbonasi Tahap Pertama Skala Lab (Variasi Temperatur pada 1 M).....	67
Lampiran 5. Endapan Reaksi Karbonasi Tahap Kedua Skala Lab (Variasi Konsentrasi pada 40 °C)	69
Lampiran 6. Padatan Hasil Reaksi Karbonasi Prototipe.....	71
Lampiran 7. Titrasi Asam Basa Sampel Padatan Hasil Reaksi.....	71
Lampiran 8. Material Safety Data Sheet (MSDS) Natrium Karbonat	73

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemerintah Indonesia berkomitmen menurunkan emisi sebesar 43,2% pada tahun 2030 dan mencapai *net zero emissions* pada tahun 2060 [1]. Usaha untuk mencapai target tersebut memerlukan transformasi sistemik dalam lanskap energi dan industri, termasuk penerapan teknologi *Carbon Capture, Utilization, and Storage* (CCUS) [2]. Selain menjawab tantangan emisi CO₂, CCUS juga mampu menciptakan aliran pendapatan baru bagi Industri. Berdasarkan laporan International Energy Agency (IEA), pasar global CCUS mencapai USD 30 miliar per tahun pada 2030, sementara pasar kredit karbon global telah mencapai USD 851 miliar pada 2023 sebesar 30-50 per ton CO₂ yang ditangkap [3]. Sehingga teknologi CCUS layak sebagai solusi *environmental friendly* dan berpotensi menambah nilai ekonomi.

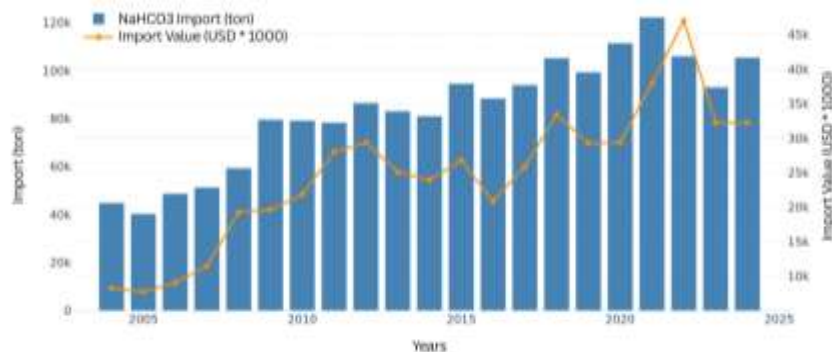
Salah satu industri gas alam, PT. Badak NGL, telah berhasil mengurangi emisi CO₂ sebesar 92.102 ton pada tahun 2023 serta menurunkan intensitas emisi sebesar 22,92% dari 0,48 ton CO₂/ton LNG menjadi 0,37 ton CO₂/ton LNG [4]. Meskipun pencapaian tersebut berhasil mengurangi emisi CO₂, masih terdapat sumber emisi CO₂ yang belum dimanfaatkan di PT. Badak NGL, yaitu fasilitas *acid gas removal unit* (AGRU) untuk memisahkan CO₂ dari *feed gas* menggunakan absorben *activated methyl diethanol amine* (aMDEA) [5]. Aliran gas AGRU yang masih belum dimanfaatkan memiliki konsentrasi CO₂ 96,889%mol (Lampiran 3), bertemperatur 40°C, dan bertekanan atmosferik [6]. Kondisi tersebut menguntungkan untuk penerapan CCUS dikarenakan konsentrasi CO₂ yang tinggi serta potensi penerapan CCUS pada industri ini telah dikonfirmasi oleh Gede et al. melalui penerapan teknologi pencairan CO₂, yang membuktikan kelayakan teknis dan ekonomis dari pemanfaatan gas buang CO₂ dari fasilitas tersebut [7].

Selain melalui teknologi pencairan CO₂ yang telah dikaji sebelumnya, salah satu teknologi pemanfaatan yang dapat diterapkan pada gas buang AGRU adalah reaksi karbonasi [8]. Reaksi karbonasi merupakan proses penyerapan CO₂ ke dalam larutan basa untuk membentuk spesies karbonat atau bikarbonat,

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

sehingga CO_2 dapat terkonversi menjadi produk kimia yang stabil dan bernilai komersial [8]. Terdapat dua jenis reaktan yaitu natrium hidroksida (menghasilkan natrium karbonat, $\text{NaOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$). dan natrium karbonat (menghasilkan natrium bikarbonat, $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaHCO}_3$) [8]. Justifikasi pemilihan Na_2CO_3 dibandingkan natrium hidroksida (NaOH) sebagai reaktan proses karbonasi adalah reaksi optimum reaktan Na_2CO_3 membutuhkan energi aktivasi yang lebih rendah (40°C) dibandingkan reaktan NaOH (70°C) [9], [10]. Sehingga energi yang dibutuhkan lebih rendah untuk reaksi karbonasi berbasis reaktan Na_2CO_3 .



Gambar 1.1 Nilai impor pasar NaHCO_3 [7]

Berdasarkan data *World Integrated Trade Solution* (WITS) pada gambar 1.1, Indonesia saat ini masih sangat bergantung pada impor NaHCO_3 (105.654 ton dengan biaya sekitar 32,28 juta USD) untuk memenuhi kebutuhan industri makanan, farmasi, dan pengolahan air [11].

Pada pendekatan yang berbeda dengan kondisi temperatur 30°C , tekanan atmosferik, larutan Na_2CO_3 (0,83 M), serta konsentrasi CO_2 sebesar 15%, didapat efisiensi absorpsi 80% [12]. Pendekatan kondisi aktual menggunakan gas buang pembangkit listrik tenaga gas alam (*flue gas*) dengan temperatur karbonasi 67°C dan memperoleh absorpsi 90% [13]. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi operasi yang tepat, CO_2 dapat dimanfaatkan menjadi NaHCO_3 dengan efisiensi optimum.

Meskipun proses karbonasi Na_2CO_3 telah dipelajari dalam berbagai literatur, belum ada penelitian yang secara spesifik mengoptimalkan parameter operasi untuk karakteristik gas buang AGRU [6]. Kondisi AGRU yang memiliki komposisi CO_2 tinggi memberikan *driving force* absorpsi yang



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

berbeda dan memerlukan penyesuaian variabel operasi [9]. Oleh karena itu, penelitian ini akan menganalisis pengaruh variasi konsentrasi Na_2CO_3 , temperatur, serta laju alir dan durasi waktu reaksi untuk menentukan titik optimum konversi CO_2 AGRU menjadi NaHCO_3 , yang selanjutnya akan diuji kinerjanya melalui perancangan prototipe reaktor.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah.

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur terhadap produksi natrium bikarbonat (NaHCO_3) melalui reaksi penyerapan CO_2 ?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi larutan natrium karbonat (Na_2CO_3) pada temperatur optimum terhadap penyerapan CO_2 dari gas buang Acid Gas Removal Unit dalam pembentukan natrium bikarbonat (NaHCO_3)?
3. Bagaimana hasil kinerja prototipe menggunakan kombinasi konsentrasi dan temperatur optimal?

1.3 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan umum dan tujuan khusus dari tugas akhir ini adalah.

1. Tujuan Umum:
 - 1) Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program pendidikan Diploma III Politeknik Negeri Jakarta.
 - 2) Mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dalam bidang pengolahan gas, mechanical rotating, dan listrik instrumentasi serta mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh selama mengikuti proses belajar mengajar.
 - 3) Memberikan kontribusi original pada pengembangan teknologi CCUS di Indonesia melalui karakterisasi absorpsi CO_2 pada kondisi yang relevan dengan industri LNG nasional.
2. Tujuan Khusus:
 - 1) Menganalisis pengaruh variasi temperatur proses terhadap produksi natrium bikarbonat (NaHCO_3) pada konsentrasi 1 M Na_2CO_3 .



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- 2) Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi larutan Na_2CO_3 terhadap penyerapan CO_2 dari gas buang *Acid Gas Removal Unit* dalam pembentukan natrium bikarbonat (NaHCO_3).
- 3) Mengevaluasi hasil kinerja prototipe menggunakan kombinasi konsentrasi dan temperatur optimal.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah.

1. Sumber CO_2 yang digunakan berasal dari gas buang Unit Penghilangan Gas Asam (AGRU) PT Badak NGL.
2. Parameter operasi yang dianalisis mencakup konsentrasi Na_2CO_3 dan temperatur reaksi.
3. Evaluasi kinerja proses hanya mencakup hasil produk NaHCO_3 .
4. Laju alir dan durasi waktu ditetapkan konstan pada 500 ml/min dan 60 menit pada skala laboratorium.
5. Penelitian ini tidak melibatkan pemodelan kinetika reaksi secara mendalam serta tidak mendeskripsikan pengaruh jejak hidrokarbon yang terkandung dalam gas buang AGRU.

1.5 Manfaat Penulisan

Adapun tujuan umum dan tujuan khusus dari tugas akhir ini adalah.

1. Bagi Penulis
 - 1) Sebagai syarat untuk memenuhi penyusunan Tugas Akhir guna mendapatkan gelar Diploma III dari Program Studi Teknik Mesin di Politeknik Negeri Jakarta.
 - 2) Menambah pengalaman dan keterampilan dalam merancang bangun suatu alat industri.
 - 3) Dapat mengimplementasikan pengetahuan yang telah diperoleh selama masa perkuliahan dengan mempraktekannya secara nyata.
2. Bagi LNG Academy dan Politeknik Negeri Jakarta
 - 1) Sebagai media pembelajaran dan penelitian tentang teknologi *Carbon Capture, Utilization, and Storage* (CCUS) dan perpindahan massa dalam absorpsi gas.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- 2) Menghasilkan publikasi ilmiah dan data eksperimental yang memperkaya kurikulum dan research repository kampus.
- 3) Mendemonstrasikan aplikasi praktis teori perpindahan massa dan kinetika kimia pada kasus industri nyata (PT. Badak NGL).
3. Bagi PT. Badak NGL dan Dunia Industri LNG
 - 1) Berkontribusi pada program dekarbonisasi PT. Badak NGL.
 - 2) Memberikan alternatif pemanfaatan limbah gas buang AGRU dengan mengonversi CO₂ menjadi produk bernilai tambah (NaHCO₃).
 - 3) Menyediakan data teknis dan rekomendasi untuk evaluasi kelayakan implementasi teknologi CCUS pada fasilitas LNG Indonesia.
 - 4) Mendukung pencapaian target *Net Zero Emissions* dan upaya dekarbonisasi industri minyak & gas nasional.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

BAB I menguraikan latar belakang pemilihan topik, perumusan masalah, tujuan umum dan khusus, ruang lingkup penelitian dan batasan masalah, manfaat yang akan didapat, dan sistematika penulisan keseluruhan proposal tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

BAB II menguraikan studi pustaka atau literatur, memaparkan rangkuman kritis atas pustaka yang menunjang penyusunan atau penelitian, meliputi pembahasan tentang topik yang akan dikaji lebih lanjut dalam tugas akhir.

BAB III METODE PELAKSANAAN

BAB III menguraikan tentang metodologi, yaitu metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah atau penelitian, meliputi prosedur, pengambilan sampel dan pengumpulan data, pengumpulan data, teknik analisis data atau teknis perancangan.

BAB IV PEMBAHASAN

BAB IV menguraikan pembahasan dari setiap tujuan laporan tugas akhir, sehingga jumlah subbab menyesuaikan dengan jumlah tujuan yang dinyatakan di BAB I.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V menguraikan inti dari jawaban tujuan penulisan laporan tugas akhir sebagai kesimpulan, dilengkapi dengan saran untuk penyelesaian masalah atau perbaikan kondisi berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan.





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, analisis data, dan perancangan prototipe yang telah dilakukan, maka kesimpulan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Variasi temperatur menunjukkan bahwa temperatur optimum proses karbonasi Na_2CO_3 1 M adalah 40°C . Pada kondisi tersebut diperoleh massa endapan tertinggi sebesar 15,4 g, kadar NaHCO_3 sebesar 74,025%, efisiensi penyerapan CO_2 sebesar 5,99%, dan yield NaHCO_3 sebesar 22,62%.
2. Variasi konsentrasi Na_2CO_3 pada temperatur 40°C menunjukkan bahwa konsentrasi optimum adalah 3 M. Pada kondisi tersebut diperoleh massa endapan 108,88 g, kadar NaHCO_3 79,275%, efisiensi penyerapan CO_2 sebesar 45,43%, dan yield NaHCO_3 tertinggi sebesar 57,09%. Walaupun massa endapan tertinggi diperoleh pada 5 M, konsentrasi 3 M dipilih karena memberikan keseimbangan terbaik antara massa produk, kemurnian, dan yield NaHCO_3 .
3. Pengujian prototipe pada kondisi optimum 3 M dan 40°C menghasilkan massa endapan 5.032,7 g, kadar NaHCO_3 75,6%, efisiensi penyerapan CO_2 sebesar 63,2%, dan yield NaHCO_3 61,32%. Hasil ini menunjukkan bahwa *scale-up* mampu meningkatkan kapasitas produksi, efisiensi penyerapan CO_2 , serta meningkatkan yield, tetapi belum sepenuhnya meningkatkan kemurnian produk.

5.2. Saran

Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut dan implementasi di industri, penulis menyarankan hal-hal berikut.

1. Mengembangkan sistem dari *continuous flow* dengan mengalirkan gas buang AGRU secara langsung dari *CO₂ acid gas removal unit vent stack* untuk mensimulasikan kondisi operasi industri yang sebenarnya.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Melakukan penelitian lebih lanjut mengenai integrasi daur ulang (*recycle*) cairan filtrat ke tahap preparasi larutan baku untuk menekan biaya produksi dan mencapai *zero waste*.
3. Mengoptimasi distribusi gas, desain sparger, pengadukan/sirkulasi larutan, proses filtrasi, dan pengeringan produk perlu dilakukan untuk meningkatkan kemurnian NaHCO_3 pada skala prototipe.
4. Melakukan perhitungan *techno-economic analysis* yang lebih komprehensif meliputi perhitungan NPV, IRR, dan *Payback Period* untuk skala industri untuk mengetahui kemungkinan penerapan skala industri serta menarik minat investor.
5. Melakukan validasi temperatur optimum pada molaritas 3 M (molaritas optimum).
6. Melakukan penelitian pengaruh jejak hidrokarbon di dalam gas AGRU ke performa penyerapan larutan Na_2CO_3

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] United Nations Framework Convention on Climate Change, “Enhanced Nationally Determined Contribution Republic of Indonesia 2022,” Sep. 2022. Accessed: Apr. 03, 2026. [Online]. Available: <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-09/ENDC%20Indonesia.pdf>
- [2] E. Liu, X. Lu, and D. Wang, “A Systematic Review of Carbon Capture, Utilization and Storage: Status, Progress and Challenges,” Mar. 01, 2023, *MDPI*. doi: 10.3390/en16062865.
- [3] I. Energy Agency, “Technology Perspectives Energy Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage CCUS in clean energy transitions.” [Online]. Available: www.iea.org/t&c/
- [4] C. Energy Ministerial, “ISO 50001 Energy Management System-Case Study Indonesia 2024 Organization Profile / Business Case,” 2024.
- [5] C. Nwaoha *et al.*, “Carbon dioxide (CO₂) capture performance of aqueous tri-solvent blends containing 2-amino-2-methyl-1-propanol (AMP) and methyldiethanolamine (MDEA) promoted by diethylenetriamine (DETA),” *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 53, pp. 292–304, Oct. 2016, doi: 10.1016/j.ijggc.2016.08.012.
- [6] Badak LNG, *Manual Book Plant-1 Gas Purification Unit*. Bontang, Indonesia: PT. Badak NGL, 2024.
- [7] G. Arya Dharma Duta *et al.*, “Analisis Pengurangan Emisi Gas Karbon Dioksida Pada PT XYZ dengan Penerapan Teknologi Penangkapan dan Pencairan Karbon Dioksida,” 2025. [Online]. Available: <http://prosiding.pnj.ac.id>
- [8] T. Cai *et al.*, “Understanding and Improving the Kinetics of Bulk Carbonation on Sodium Carbonate,” *Journal of Physical Chemistry C*, vol. 124, no. 42, pp. 23106–23115, Oct. 2020, doi: 10.1021/acs.jpcc.0c05380.
- [9] E. Spatolisano *et al.*, “Sodium bicarbonate production from CO₂ captured in Waste-to-Energy plants: an Italian case-study,” in *Proceedings of the 35th European Symposium on Computer Aided Process Engineering (ESCAPE 35)*, PSE Press, Jul. 2025, pp. 583–588. doi: 10.69997/sct.153274.
- [10] B. Ridwan Arifin, N. Hidayati, and D. N. Widagdo, “Pengaruh Temperatur Larutan NaOH pada Pemanfaatan CO₂ Flue Gas Boiler pada Proses Sintesis Natrium Karbonat Menggunakan NaOH,” *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, p. 1093, 2022, [Online]. Available: <http://prosiding.pnj.ac.id>
- [11] World Bank, “World Integrated Trade Solution (WITS),” Indonesia: Imports of product group 283630 (Sodium hydrogencarbonate, sodium bicarbonate) in 2024.
- [12] Y. Zhu, B. Haut, V. Halluin, and M. P. Delplancke-Ogletree, “Investigation of crystallization kinetics of sodium bicarbonate in a continuous stirred tank



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- crystallizer,” *J. Cryst. Growth*, vol. 282, no. 1–2, pp. 220–227, Aug. 2005, doi: 10.1016/j.jcrysgro.2005.05.004.
- [13] Z. A. Abdel-Rahman and Z. A. Abdullah, “Utilization of CO₂ in Flue Gas for Sodium Bicarbonate Production in a Bubble Column,” *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, vol. 26, no. 2, pp. 28–38, May 2019, doi: 10.25130/tjes.26.2.05.
- [14] F. Barzagli, S. Lai, and F. Mani, “CO₂ capture by liquid solvents and their regeneration by thermal decomposition of the solid carbonated derivatives,” *Chem. Eng. Technol.*, vol. 36, no. 11, pp. 1847–1852, Nov. 2013, doi: 10.1002/ceat.201300225.
- [15] “CO₂ Sequestration by Mineral Carbonation: A Review,” *Global NEST Journal*, vol. 20, no. 3, pp. 497–503, Oct. 2018, doi: 10.30955/gnj.002597.
- [16] W. J. J. Huijgen, G.-J. Witkamp, and R. N. J. Comans, “Mechanisms of aqueous wollastonite carbonation as a possible CO₂ sequestration process,” *Chem. Eng. Sci.*, vol. 61, no. 13, pp. 4242–4251, Jul. 2006, doi: 10.1016/j.ces.2006.01.048.
- [17] T. Hoang, N. T. Dung, C. Unluer, and J. Chu, “Use of microbial carbonation process to enable self-carbonation of reactive MgO cement mixes,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 143, p. 106391, May 2021, doi: 10.1016/j.cemconres.2021.106391.
- [18] K. A. Gilmour *et al.*, “Microbially induced calcium carbonate precipitation through CO₂ sequestration via an engineered *Bacillus subtilis*,” *Microb. Cell Fact.*, vol. 23, no. 1, p. 168, Jun. 2024, doi: 10.1186/s12934-024-02437-7.
- [19] S. Ghaffari, M. F. Gutierrez, P. Schulze, A. Seidel-Morgenstern, and H. Lorenz, “Solubility and Metastable Zone Width Measurement of Na₂CO₃ Hydrate Phases in the Na₂CO₃–NaOH–H₂O System as a Basis for a Novel Carbon-Negative Soda Ash Production Strategy,” *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 64, no. 21, pp. 10564–10577, May 2025, doi: 10.1021/acs.iecr.5c00320.
- [20] D. A. Green *et al.*, “Capture of carbon dioxide from flue gas using solid regenerable sorbents,” 2004.
- [21] W. M. . Haynes, D. R. . Lide, and T. J. . Bruno, *CRC handbook of chemistry and physics : a ready-reference book of chemical and physical data*. CRC Press, 2017.
- [22] W. Dong, X. Chen, Y. Wu, C. Zhao, and C. Liang, “Carbonation characteristics of dry sodium-based sorbents for CO₂ capture,” *Energy and Fuels*, vol. 26, no. 9, pp. 6040–6046, Sep. 2012, doi: 10.1021/ef3006146.
- [23] A. Lazou *et al.*, “CO₂ absorption in NaOH–Na₂CO₃ solutions: Combined CFD and thermodynamics-based, experimentally validated analysis,” *Chem. Eng. Sci.*, vol. 327, p. 123613, Jun. 2026, doi: 10.1016/j.ces.2026.123613.
- [24] M. Zheng, Y. Wang, and D. Fu, “Absorption and Crystallization of Carbon Dioxide Absorbed by Sodium Carbonate Solution at High Temperature,” in



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics, 2023. doi: 10.1088/1742-6596/2562/1/012080.
- [25] C. B. Vieira, G. Litrico, E. Askari, G. Lemieux, and P. Proulx, "Hydrodynamics of bubble columns: Turbulence and population balance model," *ChemEngineering*, vol. 2, no. 1, pp. 1–26, Mar. 2018, doi: 10.3390/chemengineering2010012.
- [26] H. Knuutila, H. F. Svendsen, and O. Juliussen, "Kinetics of carbonate based CO₂ capture systems," in *Energy Procedia*, Feb. 2009, pp. 1011–1018. doi: 10.1016/j.egypro.2009.01.134.
- [27] Badan Standardisasi Nasional, *Natrium Bikarbonat Teknis*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 1991.
- [28] M. Pirdashti and R. Kompany, "Effects of Height to Diameter Ratio and Aeration rate on Liquid Mixing and Hydrodynamic Properties in a Bubble Column," 2009.
- [29] M. Zheng, Y. Wang, and D. Fu, "Absorption and Crystallization of Carbon Dioxide Absorbed by Sodium Carbonate Solution at High Temperature," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2562, no. 1, p. 012080, Aug. 2023, doi: 10.1088/1742-6596/2562/1/012080.
- [30] National Center for Biotechnology Information, "PubChem," PubChem compound summary for CID 10340, Sodium carbonate.
- [31] W. M. . Haynes, D. R. . Lide, and T. J. . Bruno, *CRC handbook of chemistry and physics : a ready-reference book of chemical and physical data*. CRC Press, 2017.
- [32] Y. Liao, H. Hessenkemper, D. Lucas, and T. Ma, "Some aspects on CFD modelling of a homogeneous bubble column regarding the effects of surfactants," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 220, pp. 259–269, Aug. 2025, doi: 10.1016/j.cherd.2025.07.015.
- [33] J. Humadi and E. Rasheed, "Numerical Study of Sodium Bicarbonate Production in Industrial Bubble Columns," *Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, vol. 58, no. 2, pp. 391–406, Dec. 2024, doi: 10.22059/jchpe.2024.379711.1545.
- [34] F. Stergioudi *et al.*, "Corrosion Behavior of Stainless Steels in CO₂ Absorption Process Using Aqueous Solution of Monoethanolamine (MEA)," *Corrosion and Materials Degradation*, vol. 3, no. 3, pp. 422–438, Aug. 2022, doi: 10.3390/cmd3030025.
- [35] F. Magaud, M. Souhar, G. Wild, and N. Boisson, "Experimental study of bubble column hydrodynamics," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 56, no. 15, pp. 4597–4607, Aug. 2001, doi: 10.1016/S0009-2509(01)00110-5.
- [36] A. Ferrario, N. Varallo, G. Besagni, and R. Mereu, "Influence of the gas phase on a large-scale bubble column fluid dynamics: Gas holdup, flow regime transitions, and bubble size distributions," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 302, p. 120792, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.ces.2024.120792.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [37] G. Besagni, F. Inzoli, and T. Ziegenhein, "Two-Phase Bubble Columns: A Comprehensive Review", doi: 10.3390/2020013.
- [38] J. Zhang and F. J. Martin, "Corrosion of steel by carbonate-bicarbonate solution for CO₂ capture," *Materials and Corrosion*, vol. 64, no. 5, pp. 388–393, May 2013, doi: 10.1002/maco.201106235.
- [39] G. Besagni, A. Di Pasquali, L. Gallazzini, E. Gottardi, L. P. M. Colombo, and F. Inzoli, "The effect of aspect ratio in counter-current gas-liquid bubble columns: Experimental results and gas holdup correlations," *International Journal of Multiphase Flow*, vol. 94, pp. 53–78, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2017.04.015.
- [40] H. W. Thorp, "Chemical engineer's handbook. Edited by J. H. Perry, Ph.D. Pp. xiv + 2609. London and New York: McGraw-Hill Book Co., 1934. 50s.," *Journal of the Society of Chemical Industry*, vol. 53, no. 43, pp. 885–885, Oct. 1934, doi: 10.1002/jctb.5000534310.
- [41] C. Fang *et al.*, "Carbon dioxide capture in sodium carbonate solution: Mass transfer kinetics and DTAC surfactant enhancement mechanism," *Carbon Capture Science & Technology*, vol. 13, p. 100270, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.ccst.2024.100270.
- [42] R. Rodríguez-Mosqueda, E. A. Bramer, and G. Brem, "CO₂ capture from ambient air using hydrated Na₂CO₃ supported on activated carbon honeycombs with application to CO₂ enrichment in greenhouses," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 189, pp. 114–122, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.ces.2018.05.043.
- [43] G. Besagni, "Bubble column fluid dynamics: A novel perspective for flow regimes and comprehensive experimental investigations," *International Journal of Multiphase Flow*, vol. 135, p. 103510, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2020.103510.
- [44] G. Besagni, A. Di Pasquali, L. Gallazzini, E. Gottardi, L. P. M. Colombo, and F. Inzoli, "The effect of aspect ratio in counter-current gas-liquid bubble columns: Experimental results and gas holdup correlations," *International Journal of Multiphase Flow*, vol. 94, pp. 53–78, 2017, doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2017.04.015.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Rekap Hasil Pengujian Reaksi Karbonasi

Sampel	Massa Endapan Uji ke-1 (g)	Massa Endapan Uji ke-2 (g)	Massa Endapan Rata-rata	Volume titrasi HCl PP (mL)	Volume titrasi HCl MO (mL)
1M 30C	2,258	3,245	2,75	4	22
1M 40C	15,26	15,54	15,4	3.9	21.9
1M 50C	15,0	13,45	14,48	4.2	22.1
1M 60C	10,07	11,153	10,61	4.1	22.1
1M 70C	6,42	7,23	6,82	4	22
2M 40C	45,673	43,25	44,46	3.1	21.3
3M 40C	112,42	105,35	108,88	3.1	21.3
4M 40C	139,7	123,338	131,52	3.1	21.3
5M 40C	156,99	165,66	161,32	3.3	21.4
6M 40C	159,23	162,34	160,79	3.3	21.5
7M 40C	159,98	161,53	160,76	3.4	21.5
Prototipe (3M 40C)	5.032,7	5213	5.032,7	3.7	21.8

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

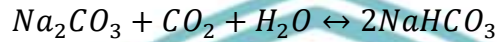
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 2. Perhitungan Reaksi Karbonasi

A. Dasar Perhitungan

1. Reaksi Stoikiometri

Reaksi utama reaksi karbonasi natrium karbonat dengan karbon dioksida adalah.



Berdasarkan reaksi tersebut, 1 mol Na_2CO_3 akan menghasilkan 2 mol NaHCO_3 .

2. Massa Molekul Relatif

$$\text{Mr Na}_2\text{CO}_3 = 106 \text{ g/mol}$$

$$\text{Mr NaHCO}_3 = 84 \text{ g/mol}$$

3. Perhitungan Massa Teoretis untuk Setiap Konsentrasi

Berdasarkan persamaan (3.3) dan (3.4), persamaan tersebut bisa diturunkan sebagai rumus perhitungan kebutuhan massa Na_2CO_3 dan pembentukan NaHCO_3 teoretis pada setiap konsentrasi.

$$m_{\text{teoretis kebutuhan Na}_2\text{CO}_3} = \frac{M_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \times V_{\text{larutan}} \times \text{Mr}_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \times \text{Koef.}}{1000}$$

$$m_{\text{teoretis kebutuhan NaHCO}_3} = \frac{M_{\text{NaHCO}_3} \times V_{\text{larutan}} \times \text{Mr}_{\text{NaHCO}_3} \times \text{Koef.}}{1000}$$

Lalu dilakukan titrasi untuk mengetahui kadar kemurnian NaHCO_3 , sehingga bisa dilanjutkan dengan perhitungan *yield* berdasarkan massa padatan terbentuk dikali rasio kemurnian NaHCO_3 .

4. Penentuan kemurnian NaHCO_3 berdasarkan persamaan (3.5) dan (3.6) [27].

$$\% \text{Na}_2\text{CO}_3 = \frac{2V_1 \times N_{\text{HCl}} \times 53}{m_{\text{sampel}}} \times 100\%$$

$$\% \text{NaHCO}_3 = \frac{(V_2 - 2V_1) \times N_{\text{HCl}} \times 84}{m_{\text{sampel}}} \times 100\%$$

V = Volume titrasi HCl indikator PP (mL)

V_1 = Volume titrasi HCl indikator MO (mL)

N = Normalitas HCl = 0,1 N

Massa sampel = 160 mg

53 = BM $\text{Na}_2\text{CO}_3/2 = 106/2$

84 = BM NaHCO_3



5. Mencari mol/Lt CO₂ berdasarkan Peng-Robinson

Diketahui CO ₂	
Parameter	Nilai
Temperature	40°C = 313,15 K
Pressure	1 atm = 1,01325 bar
T _c (Temperature Critical)	304,1282 K
P _c (Pressure Critical)	73,773 bar
ω (Acentric Factor)	0,22394
R	0,08314 L.bar/mol.K

Tahap 1. Hitung Tr dan Pr

$$T_r = \frac{T}{T_c} = \frac{313,15}{304,1282} = 1,0297$$

$$P_r = \frac{P}{P_c} = \frac{1,01325}{73,773} = 0,01373$$

Tahap 2. Hitung κ

$$\kappa = 0,37464 + 1,54226\omega - 0,26992\omega^2$$

$$\kappa = 0,37464 + 0,34531 - 0,01354 = 0,70641$$

Tahap 3. Hitung α(T)

$$\alpha(T) = [1 + \kappa(1 - \sqrt{T_r})]^2$$

$$\sqrt{T_r} = \sqrt{1,0297} = 1,01472$$

$$1 - \sqrt{T_r} = 1 - 1,01472 = -0,01472$$

$$\kappa(1 - \sqrt{T_r}) = 0,70641 \times (-0,01472) = -0,01040$$

$$1 + (-0,01040) = 0,98960$$

$$\alpha(T) = (0,98960)^2 = 0,97930$$

Tahap 4. Hitung konstanta a dan b

$$a = 0,45724 \frac{R^2 T_c^2}{P_c} \alpha(T)$$

$$R^2 = (0,08314)^2 = 0,006912$$

$$T_c^2 = (304,1282)^2 = 92,492,17$$

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$\frac{R^2 T_c^2}{P_c} = \frac{0.006912 \times 92,492.17}{73.773} = \frac{639.17}{73.773} = 8.6623$$

$$0.45724 \times 8.6623 = 3.9603$$

$$a = 3.9603 \times 0.97930 = 3.8787 \text{ L}^2 \cdot \text{bar} \cdot \text{mol}^{-2}$$

$$b = 0.07780 \frac{RT_c}{P_c}$$

$$R \times T_c = 0.08314 \times 304.1282 = 25.313$$

$$\frac{RT_c}{P_c} = \frac{25.313}{73.773} = 0.343009$$

$$b = 0.07780 \times 0.343009 = 0.026705 \text{ L/mol}$$

Tahap 5. Hitung parameter A dan B (tak berdimensi)

$$A = \frac{aP}{R^2 T^2}$$

$$aP = 3.8787 \times 1.01325 = 3.9292$$

$$R^2 = 0.006912$$

$$T^2 = (313.15)^2 = 98,063.82$$

$$R^2 T^2 = 0.006912 \times 98,063.82 = 677.86$$

$$A = \frac{3.9292}{677.86} = 0.005797$$

$$B = \frac{bP}{RT}$$

$$bP = 0.026705 \times 1.01325 = 0.027064$$

$$RT = 0.08314 \times 313.15 = 26.035$$

$$B = \frac{0.027064}{26.035} = 0.0010393$$

Tahap 6. Bentuk persamaan kubik PR

$$Z^3 - (1 - B)Z^2 + (A - 2B - 3B^2)Z - (AB - B^2 - B^3) = 0$$

$$-(1 - B) = -(1 - 0.0010393) = -0.9989607$$

$$3B^2 = 3 \times (0.0010393)^2 = 0.0000032$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$2B = 2 \times 0.0010393 = 0.0020786$$

$$A - 2B - 3B^2 = 0.005797 - 0.0020786 - 0.0000032 = 0.003715$$

$$AB = 0.005797 \times 0.0010393 = 0.000006024$$

$$B^2 = (0.0010393)^2 = 1.080 \times 10^{-6}$$

$$B^3 = (0.0010393)^3 = 1.123 \times 10^{-9}$$

$$AB - B^2 - B^3 \approx 0.000006024 - 0.0000010800 = 0.000004944$$

$$Z^3 - 0.99896Z^2 + 0.003715Z - 0.0000049 = 0$$

Tahap 7. Selesaikan Z^3 dengan iterasi untuk mencari mol/L CO_2

$$V_i = \frac{RT}{P} + b - \frac{a}{P(V_{i-1} + b)(V_{i-1} - b)}$$

Tebakan awal

$$V_0 = \frac{RT}{P} = \frac{0.08314 \times 313.15}{1.01325} = 25.63 \text{ L/mol}$$

Iterasi 1

$$V_1 = 25.63 + 0.026705$$

$$- \frac{3.8787}{1.01325 \times (25.63 + 0.026705)(25.63 - 0.026705)}$$

$$V_1 = 25.657 - \frac{3.8787}{1.01325 \times 25.657 \times 25.603} = 25.657 - 0.00586$$

$$= 25.651$$

Iterasi 2

$$V_2 = 25.63 + 0.026705 - \frac{3.8787}{1.01325 \times (25.651)^2 - (0.026705)^2}$$

$$= 25.651 \text{ L/mol}$$

$$V_{\text{vapor}}(\text{hasil konvergen}) \approx 25.651 \text{ L/mol}$$

Tahap 8. Hitung Z (tambahan)

$$Z = \frac{PV}{RT} = \frac{1.01325 \times 25.651}{0.08314 \times 313.15}$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$Z = \frac{26.012}{26.035} = 0.99912$$

$$Z \approx 0.9991$$

B. Skala Laboratorium

1. Perhitungan Massa Na_2CO_3 yang Dibutuhkan Per Konsentrasi pada 300mL

$$m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{1 \text{ M} \times 300\text{mL} \times 106\text{g/mol}}{1000\text{mL}} = 31,8 \text{ g}$$

$$m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{2 \text{ M} \times 300\text{mL} \times 106\text{g/mol}}{1000\text{mL}} = 63,6 \text{ g}$$

$$m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{3 \text{ M} \times 300\text{mL} \times 106\text{g/mol}}{1000\text{mL}} = 95,4 \text{ g}$$

$$m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{4 \text{ M} \times 300\text{mL} \times 106\text{g/mol}}{1000\text{mL}} = 127,2 \text{ g}$$

$$m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{5 \text{ M} \times 300\text{mL} \times 106\text{g/mol}}{1000\text{mL}} = 159 \text{ g}$$

$$m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{6 \text{ M} \times 300\text{mL} \times 106\text{g/mol}}{1000\text{mL}} = 190,8 \text{ g}$$

$$m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{7 \text{ M} \times 300\text{mL} \times 106\text{g/mol}}{1000\text{mL}} = 222,6 \text{ g}$$

2. Perhitungan Massa Teoritis NaHCO_3 yang Terbentuk Per Konsentrasi

$$m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{1 \text{ M} \times 300\text{mL} \times 84\text{g/mol} \times 2}{1000\text{mL}} = 50,4 \text{ g}$$

$$m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{2 \text{ M} \times 300\text{mL} \times 84\text{g/mol} \times 2}{1000\text{mL}} = 100,8 \text{ g}$$

$$m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{3 \text{ M} \times 300\text{mL} \times 84\text{g/mol} \times 2}{1000\text{mL}} = 151,2 \text{ g}$$

$$m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{4 \text{ M} \times 300\text{mL} \times 84\text{g/mol} \times 2}{1000\text{mL}} = 201,6 \text{ g}$$

$$m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{5 \text{ M} \times 300\text{mL} \times 84\text{g/mol} \times 2}{1000\text{mL}} = 252 \text{ g}$$

$$m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{6 \text{ M} \times 300\text{mL} \times 84\text{g/mol} \times 2}{1000\text{mL}} = 302,4 \text{ g}$$

$$m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{7 \text{ M} \times 300\text{mL} \times 84\text{g/mol} \times 2}{1000\text{mL}} = 352,8 \text{ g}$$

3. Perhitungan Kemurnian (Titrasi)

Sampel 1 M 30 C



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- $V(PP) = 4 \text{ mL}$
- $V_1(MO) = 22 \text{ mL}$

$$\%Na_2CO_3 = \frac{2 \times 4 \times 0.1 \times 53}{160} * 100\% = 26,5\%$$

$$\%NaHCO_3 = \frac{(22 - 2(4)) \times N_{HCl} \times 84}{160} * 100\% = 73,5\%$$

Sampel 1 M 40 C

- $V(PP) = 3,9 \text{ mL}$
- $V_1(MO) = 21,9 \text{ mL}$

$$\%Na_2CO_3 = \frac{2 \times 3,9 \times 0.1 \times 53}{160} * 100\% = 25,8\%$$

$$\%NaHCO_3 = \frac{(21,9 - 2(3,9)) \times N_{HCl} \times 84}{160} * 100\% = 74,025\%$$

Sampel 1 M 50 C

- $V(PP) = 4,2 \text{ mL}$
- $V_1(MO) = 22,1 \text{ mL}$

$$\%Na_2CO_3 = \frac{2 \times 4,2 \times 0,1 \times 53}{160} * 100\% = 27,8\%$$

$$\%NaHCO_3 = \frac{(22,1 - 2(4,2)) \times 0,1 \times 84}{160} * 100\% = 71,925\%$$

Sampel 1 M 60 C

- $V(PP) = 4,1 \text{ mL}$
- $V_1(MO) = 22,1 \text{ mL}$

$$\%Na_2CO_3 = \frac{2 \times 4,1 \times 0,1 \times 53}{160} * 100\% = 27,2\%$$

$$\%NaHCO_3 = \frac{(22,1 - 2(4,2)) \times 0,1 \times 84}{160} * 100\% = 72,975\%$$

Sampel 1 M 70 C

- $V(PP) = 4 \text{ mL}$
- $V_1(MO) = 22 \text{ mL}$

$$\%Na_2CO_3 = \frac{2 \times 4 \times 0,1 \times 53}{160} * 100\% = 27,2\%$$

$$\%NaHCO_3 = \frac{(22,1 - 2(4,2)) \times 0,1 \times 84}{160} * 100\% = 73,5\%$$

Sampel 2 M 40 C



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- $V(PP) = 3,1 \text{ mL}$

- $V_1(MO) = 21,3 \text{ mL}$

$$\%Na_2CO_3 = \frac{2 \times 3,1 \times 0,1 \times 53}{160} * 100\% = 20,5\%$$

$$\%NaHCO_3 = \frac{(21,3 - 2(3,1)) \times 0,1 \times 84}{160} * 100\% = 79,275\%$$

Sampel 3 M 40 C

- $V(PP) = 3,1 \text{ mL}$

- $V_1(MO) = 21,3 \text{ mL}$

$$\%Na_2CO_3 = \frac{2 \times 3,1 \times 0,1 \times 53}{160} * 100\% = 20,5\%$$

$$\%NaHCO_3 = \frac{(21,3 - 2(3,1)) \times 0,1 \times 84}{160} * 100\% = 79,275\%$$

Sampel 4 M 40 C

- $V(PP) = 3,1 \text{ mL}$

- $V_1(MO) = 21,3 \text{ mL}$

$$\%Na_2CO_3 = \frac{2 \times 3,1 \times 0,1 \times 53}{160} * 100\% = 20,5\%$$

$$\%NaHCO_3 = \frac{(21,3 - 2(3,1)) \times 0,1 \times 84}{160} * 100\% = 79,275\%$$

Sampel 5 M 40 C

- $V(PP) = 3,3 \text{ mL}$

- $V_1(MO) = 21,4 \text{ mL}$

$$\%Na_2CO_3 = \frac{2 \times 3,3 \times 0,1 \times 53}{160} * 100\% = 21,9\%$$

$$\%NaHCO_3 = \frac{(21,4 - 2(4)) \times N_{HCl} \times 84}{160} * 100\% = 77,7\%$$

Sampel 6 M 40 C

- $V(PP) = 3,3 \text{ mL}$

- $V_1(MO) = 21,5 \text{ mL}$

$$\%Na_2CO_3 = \frac{2 \times 3,3 \times 0,1 \times 53}{160} * 100\% = 21,9\%$$

$$\%NaHCO_3 = \frac{(21,5 - 2(4)) \times N_{HCl} \times 84}{160} * 100\% = 78,225\%$$

Sampel 7 M 40 C



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- $V(PP) = 3,4 \text{ mL}$
- $V_1(MO) = 21,5 \text{ mL}$

$$\%Na_2CO_3 = \frac{2 \times 3,4 \times 0,1 \times 53}{160} \times 100\% = 22,5\%$$

$$\%NaHCO_3 = \frac{(21,5 - 2(4)) \times N_{HCl} \times 84}{160} \times 100\% = 77,175\%$$

4. Perhitungan Yield

$$\%yield_{1M, 30C} = \frac{2,7515 \text{ g}}{50,4 \text{ g}} \times \frac{73,5}{100} = 4,01\%$$

$$\%yield_{1M, 40C} = \frac{15,4 \text{ g}}{50,4 \text{ g}} \times \frac{74,025}{100} = 22,62\%$$

$$\%yield_{1M, 50C} = \frac{14,48 \text{ g}}{50,4 \text{ g}} \times \frac{71,925}{100} = 20,67\%$$

$$\%yield_{1M, 60C} = \frac{10,61 \text{ g}}{50,4 \text{ g}} \times \frac{72,975}{100} = 15,37\%$$

$$\%yield_{1M, 70C} = \frac{6,24 \text{ g}}{50,4 \text{ g}} \times \frac{72,975}{100} = 9,95\%$$

$$\%yield_{2M, 40C} = \frac{44,4615 \text{ g}}{100,8 \text{ g}} \times \frac{79,275}{100} = 34,97\%$$

$$\%yield_{3M, 40C} = \frac{108,885 \text{ g}}{151,2 \text{ g}} \times \frac{79,275}{100} = 57,09\%$$

$$\%yield_{4M, 40C} = \frac{131,519 \text{ g}}{201,6 \text{ g}} \times \frac{79,275}{100} = 51,72\%$$

$$\%yield_{5M, 40C} = \frac{161,3235 \text{ g}}{252 \text{ g}} \times \frac{77,7}{100} = 49,74\%$$

$$\%yield_{6M, 40C} = \frac{160,7875 \text{ g}}{302,4 \text{ g}} \times \frac{78,225}{100} = 41,57\%$$

$$\%yield_{7M, 40C} = \frac{160,756 \text{ g}}{352,8 \text{ g}} \times \frac{77,175}{100} = 35,17\%$$

5. Perhitungan Efisiensi CO₂ yang Dapat Terkonversi

Volume CO₂ Teralirkan

$$V_{CO_2 \text{ in}} = Q_{gas \text{ skala lab}} \times waktu \times \text{fraksi mol } CO_2 \text{ dalam gas}$$

$$V_{CO_2 \text{ in}} = 0,5 \frac{L}{min} \times 60min \times 0,96889 = 29,0667 L$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Mol CO₂ Teralirkan

$$nCO_{2\text{ in}} = \frac{V}{V_{\text{molar}}} = \frac{29,0667L}{25,651 \frac{L}{\text{mol}}} = 1,1332 \text{ mol}$$

Konversi Massa NaHCO₃ Menjadi Mol NaHCO₃ Pada Setiap Variasi Uji Lab Untuk Mendapatkan Mol CO₂ Bereaksi

$$\text{Mol NaHCO}_3 (1M, 30^\circ C) = \frac{2,02g}{84,066g/\text{mol}} = 0,024 \text{ mol}$$

$$\text{Mol CO}_2 (1M, 30^\circ C) = \frac{0,024}{2} = 0,012 \text{ mol}$$

$$\text{Mol NaHCO}_3 (1M, 40^\circ C) = \frac{11,4g}{84,066g/\text{mol}} = 0,136 \text{ mol}$$

$$\text{Mol CO}_2 (1M, 40^\circ C) = \frac{0,136}{2} = 0,068 \text{ mol}$$

$$\text{Mol NaHCO}_3 (1M, 50^\circ C) = \frac{10,23g}{84,066g/\text{mol}} = 0,122 \text{ mol}$$

$$\text{Mol CO}_2 (1M, 50^\circ C) = \frac{0,122}{2} = 0,061 \text{ mol}$$

$$\text{Mol NaHCO}_3 (1M, 60^\circ C) = \frac{7,74g}{84,066g/\text{mol}} = 0,092 \text{ mol}$$

$$\text{Mol CO}_2 (1M, 60^\circ C) = \frac{0,092}{2} = 0,046 \text{ mol}$$

$$\text{Mol NaHCO}_3 (1M, 70^\circ C) = \frac{5,02g}{84,066g/\text{mol}} = 0,060 \text{ mol}$$

$$\text{Mol CO}_2 (1M, 70^\circ C) = \frac{0,060}{2} = 0,030 \text{ mol}$$

$$\text{Mol NaHCO}_3 (2M, 40^\circ C) = \frac{35,25g}{84,066g/\text{mol}} = 0,42 \text{ mol}$$

$$\text{Mol CO}_2 (2M, 40^\circ C) = \frac{0,042}{2} = 0,021 \text{ mol}$$

$$\text{Mol NaHCO}_3 (3M, 40^\circ C) = \frac{86,32g}{84,066g/\text{mol}} = 1,028 \text{ mol}$$

$$\text{Mol CO}_2 (3M, 40^\circ C) = \frac{1,028}{2} = 0,514 \text{ mol}$$

$$\text{Mol NaHCO}_3 (4M, 40^\circ C) = \frac{104,26g}{84,066g/\text{mol}} = 1,241 \text{ mol}$$

$$\text{Mol CO}_2 (4M, 40^\circ C) = \frac{1,241}{2} = 0,621 \text{ mol}$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$\text{Mol NaHCO}_3 (5M, 40^\circ\text{C}) = \frac{125,35g}{84,066g/\text{mol}} = 1,492 \text{ mol}$$

$$\text{Mol CO}_2 (5M, 40^\circ\text{C}) = \frac{1,492}{2} = 0,746 \text{ mol}$$

$$\text{Mol NaHCO}_3 (6M, 40^\circ\text{C}) = \frac{125,77g}{84,066g/\text{mol}} = 1,497 \text{ mol}$$

$$\text{Mol CO}_2 (6M, 40^\circ\text{C}) = \frac{1,497}{2} = 0,749 \text{ mol}$$

$$\text{Mol NaHCO}_3 (7M, 40^\circ\text{C}) = \frac{124,06g}{84,066g/\text{mol}} = 1,477 \text{ mol}$$

$$\text{Mol CO}_2 (7M, 40^\circ\text{C}) = \frac{1,477}{2} = 0,738 \text{ mol}$$

Perhitungan Efisiensi CO₂

$$\text{Efisiensi CO}_2 (1M, 30^\circ\text{C}) = \frac{\text{mol CO}_2 \text{ bereaksi}}{\text{mol CO}_2 \text{ teralirkan}} = \frac{0,024}{1,1332} \times 100\% = 1,06\%$$

$$\text{Efisiensi CO}_2 (1M, 40^\circ\text{C}) = \frac{0,068}{1,1332} \times 100\% = 5,99\%$$

$$\text{Efisiensi CO}_2 (1M, 50^\circ\text{C}) = \frac{0,061}{1,1332} \times 100\% = 5,37\%$$

$$\text{Efisiensi CO}_2 (1M, 60^\circ\text{C}) = \frac{0,046}{1,1332} \times 100\% = 4,07\%$$

$$\text{Efisiensi CO}_2 (1M, 70^\circ\text{C}) = \frac{0,030}{1,1332} \times 100\% = 2,63\%$$

$$\text{Efisiensi CO}_2 (2M, 40^\circ\text{C}) = \frac{0,210}{1,1332} \times 100\% = 18,51\%$$

$$\text{Efisiensi CO}_2 (3M, 40^\circ\text{C}) = \frac{0,514}{1,1332} \times 100\% = 45,34\%$$

$$\text{Efisiensi CO}_2 (4M, 40^\circ\text{C}) = \frac{0,621}{1,1332} \times 100\% = 54,76\%$$

$$\text{Efisiensi CO}_2 (5M, 40^\circ\text{C}) = \frac{0,746}{1,1332} \times 100\% = 65,84\%$$

$$\text{Efisiensi CO}_2 (6M, 40^\circ\text{C}) = \frac{0,749}{1,1332} \times 100\% = 66,06\%$$

$$\text{Efisiensi CO}_2 (7M, 40^\circ\text{C}) = \frac{0,738}{1,1332} \times 100\% = 65,16\%$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

C. Skala Prototipe

1. Data Perancangan

Diameter dalam pipa (ID) = 146,33 mm = 0,14633 m

Rasio H/D = 5

Konsentrasi Na_2CO_3 optimum = 3 M

Temperatur operasi = 40°C = 313 K

Tekanan operasi = 1 atm

Durasi reaksi = 60 menit

Konstanta gas ideal (R) = 0,08206 L.atm/mol.K

2. Perhitungan Massa Na_2CO_3 yang Dibutuhkan Per Konsentrasi pada 300mL

$$m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 3 \text{ M} \times 12,31 \text{ L} \times 106 \text{ g/mol} = 3915,58 \text{ g}$$

3. Perhitungan Massa Teoritis NaHCO_3 yang Terbentuk Per Konsentrasi

$$m_{\text{NaHCO}_3} = 3 \text{ M} \times 12,31 \text{ L} \times 84 \text{ g/mol} \times 2 = 6204,24 \text{ g}$$

4. Perhitungan Kemurnian (Titration)

Sampel 1 M 30 C

- $V(\text{PP}) = 3,7 \text{ mL}$

- $V_1(\text{MO}) = 21,8 \text{ mL}$

$$\% \text{Na}_2\text{CO}_3 = \frac{2 \times 3,7 \times 0,1 \times 53}{160} \times 100\% = 24,5\%$$

$$\% \text{NaHCO}_3 = \frac{(21,8 - 2(4)) \times N_{\text{HCl}} \times 84}{160} \times 100\% = 75,6\%$$

5. Perhitungan Yield

$$\% \text{yield Prototype } 3\text{M}, 40\text{C} = \frac{5032,7 \text{ g}}{6204,24 \text{ g}} \times \frac{75,6}{100} = 61,32\%$$

6. Perhitungan Geometri Reaktor

Tinggi Reaktor

$$H_{\text{prototype}} = 5 \times 0,14633 \text{ m} = 0,73165 \text{ m} = 73,17 \text{ cm}$$

Luas Penampang Kolom

$$A_{\text{prototype}} = \pi r^2 = 3,14 \times \left(\frac{0,14633 \text{ m}}{2} \right)^2 = 168,2 \text{ cm}^2$$

Volume Fluida Kerja

$$V_{\text{fluida}} = 0,01682 \text{ m}^2 \times 0,73165 \text{ m} = 12,31 \text{ Liter}$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

7. Perhitungan Kebutuhan Gas CO₂

$$n_{Na_2CO_3} = M \times V_{fluida} = 3 M \times 12,31 L = 36,93 mol$$

$$n_{CO_2} = n_{Na_2CO_3} = 36,93 mol$$

$$Qg = \frac{36,93 mol \times 0,08206 L \cdot \frac{atm}{mol} \cdot K \times 313 K}{60 menit \times 1 atm} = 15,81 L/menit$$

8. Verifikasi Rezim Aliran

Konversi Satuan Qg

$$Qg = 15,81 \frac{L}{menit} \times \frac{1}{1000 \times 60} m^3/s = 2,635 \times 10^{-4} m^3/s$$

Superficial Gas Velocity (Ug)

$$Ug = \frac{Qg}{A_{prototype}}$$

$$Ug = \frac{2,635 \times 10^{-4} m^3/s}{0,01682 m^2} = 0,01567 \frac{m}{s} = 15,67 mm/s$$

Batas rezim homogeneous: 50-80 mm/s [36] [37]

Sehingga *superficial gas velocity* prototipe pada 15,67 mm/s masih masuk pada area rezim homogeneous.

9. Perhitungan Efisiensi CO₂ yang Dapat Terkonversi Skala Prototipe

Volume CO₂ Teralirkan

$$V_{CO_2 in} = Q_{gas skala lab} \times waktu \times fraksi mol CO_2 dalam gas$$

$$V_{CO_2 in} = 15,81 \frac{L}{min} \times 60 min \times 0,96889 = 919,09 L$$

Mol CO₂ Teralirkan

$$n_{CO_2 in} = \frac{V}{V_{molar}} = \frac{919,09 L}{25,651 \frac{L}{mol}} = 35,8305 mol$$

Konversi Massa NaHCO₃ Menjadi Mol NaHCO₃ Pada Setiap Variasi Uji Prototipe Untuk Mendapatkan Mol CO₂ Bereaksi

$$Mol NaHCO_3 (Prototipe 3M, 40^\circ C) = \frac{3804,72g}{84,066g/mol} = 45,291 mol$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$\text{Mol } CO_2 (\text{Prototype } 3M, 40^\circ C) = \frac{45,291}{2} = 22,645 \text{ mol}$$

Perhitungan Efisiensi CO_2

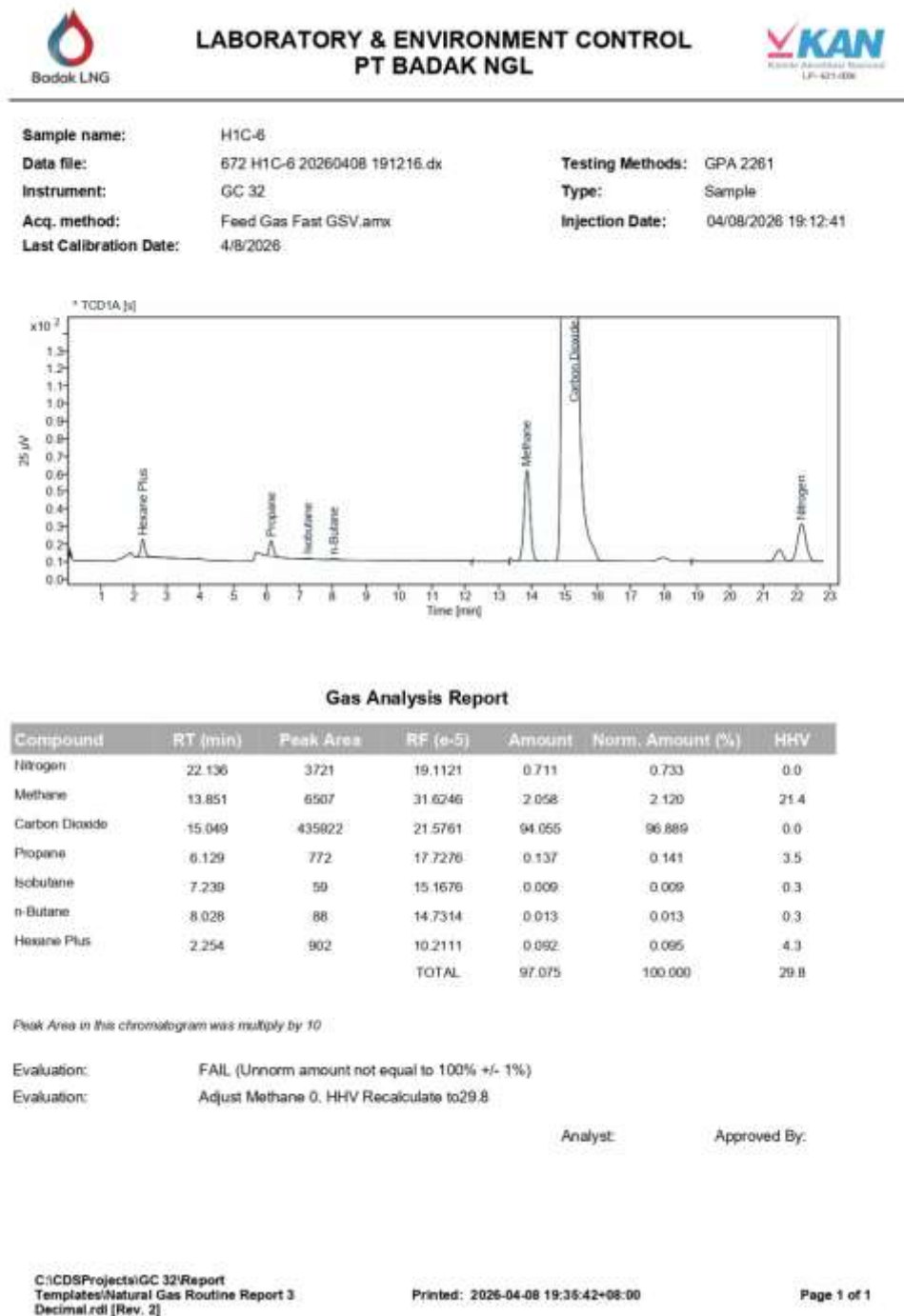
$$\text{Efisiensi } CO_2 (\text{Prototype } 3M, 40^\circ C) = \frac{22,645}{35,8305} \times 100\% = 63,20\%$$





Lampiran 3. Analisis Kandungan Gas Buang *Acid Gas Removal Unit*

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Lampiran 4. Endapan Reaksi Karbonasi Tahap Pertama Skala Lab (Variasi Temperatur pada 1 M)

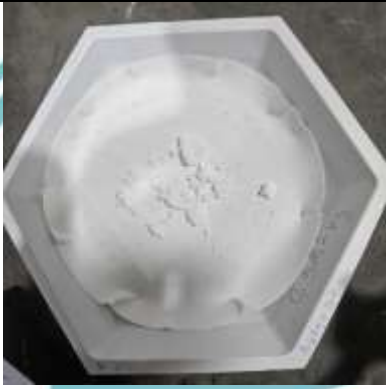
Temperatur	Percobaan 1	Percobaan 2
30°C		
40°C		
50°C		

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

60°C		
70°C		

Lampiran 5. Endapan Reaksi Karbonasi Tahap Kedua Skala Lab (Variasi Konsentrasi pada 40 °C)

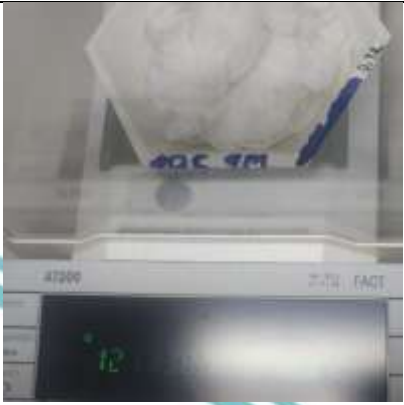
Temperatur	Percobaan 1	Percobaan 2
1 M		
2 M		
3 M		

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4 M		
5 M		
6 M		
7 M		

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 6. Padatan Hasil Reaksi Karbonasi Prototipe



Lampiran 7. Titrasi Asam Basa Sampel Padatan Hasil Reaksi





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Lampiran 8. Material Safety Data Sheet (MSDS) Natrium Karbonat

Safety Data Sheet (SDS) – NATRIUM KARBONAT – Na₂CO₃

Rev 01

Format SDS berdasarkan GHS - WHMIS *)

SDS #: 716

BAGIAN 1 - IDENTIFIKASI PRODUK KIMIA DAN PERUSAHAAN

Sodium Carbonate
Flinn Scientific, Inc. P.O. Box 219, Batavia, IL 60510 (800) 452-1261
Chemtrec Emergency Phone Number: (800) 424-10300

Kata Sinyal: PERINGATAN

BAGIAN 2 - IDENTIFIKASI BAHAYA

Kelas bahaya: Toksisitas akut, oral (Kategori 5).
Mungkin berbahaya jika tertelan (H303).

Kelas bahaya: Korosi atau iritasi kulit (Kategori 3).
Menyebabkan iritasi kulit ringan (H316).

Kelas bahaya: Kerusakan atau iritasi mata yang serius (Kategori 2A).
Menyebabkan gangguan mata berat (H319).

Pictograms



BAGIAN 3 - KOMPOSISI, INFORMASI TENTANG BAHAN

Nama Komponen	Nomor CAS	Formula	Rumus Berat	Konsentrasi
Sodium carbonate, anhydrous Synonyms: Soda ash	497-19-8	Na ₂ CO ₃	105.99	

BAGIAN 4 - TINDAKAN PERTOLONGAN PERTAMA

Hubungi PUSAT RACUN atau dokter jika Anda merasa tidak sehat (P312).

Jika terhirup: Pindahkan korban ke udara segar dan jaga posisi istirahat yang nyaman untuk bernafas.

Jika di mata: Bilas secara hati-hati dengan air selama beberapa menit. Lepaskan lensa kontak jika ada dan mudah dilakukan. Lanjutkan pembilasan (P305 + P351 + P338). Jika iritasi mata berlanjut, dapatkan nasihat atau perhatian medis (P337 + P313).

Jika pada kulit: Cuci dengan banyak air. Jika iritasi kulit terjadi: Dapatkan saran atau perhatian medis (P332 + P313).

Jika tertelan: Bilas mulut.

BAGIAN 5 - TINDAKAN PENANGANAN KEBAKARAN

Padatan tidak mudah terbakar.
Saat dipanaskan hingga terurai, dapat mengeluarkan asap beracun.
Jika terjadi kebakaran: Gunakan alat pemadam api kimia kering kelas tiga.

Kode NFPA

Tidak ada yang ditetapkan

BAGIAN 6 - TINDAKAN RILIS TAK DISENGAJA

Jangan biarkan benda padat mengudara. Ventilasikan area.
Bersihkan, tempatkan dalam kantong atau wadah tertutup dan buang.
Cuci lokasi tumpahan setelah pengambilan material selesai.
Lihat Bagian 8 dan 13 untuk informasi lebih lanjut.

BAGIAN 7 - PENANGANAN DAN PENYIMPANAN

Saran Pola Penyimpanan Bahan Kimia (Flinn): Anorganik # 4.
Simpan dengan hidroksida, oksida, silikat, dan karbonat.
Hidroskopis.
Simpan wadah tertutup rapat. Simpan di tas Flinn Chem-Saf™.
Simpan di tempat kering yang sejuk.
Lihat: Permen LHK P.12/.../2020 tentang Penyimpanan Limbah B3

Revision Date: July 11, 2016

https://www.flinnsci.com/sds/716-sodium-carbonate/sds_716/

*) GHS: Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals, WHMIS: Workplace Hazardous Materials Information System

Jul 2020 - From: www.itokindo.org (free pdf - Manajemen Modern dan Kesehatan Masyarakat)

BAGIAN 8 - KONTROL PAPARAN, PERLINDUNGAN DIRI

Kenakan sarung tangan pelindung, pakaian pelindung, dan pelindung mata (P280).
Cuci tangan dengan seksama setelah memegang (P264).

BAGIAN 9 - SIFAT FISIK DAN KIMIA

Kristal atau bubuk putih.
Tidak berbau.
Larut: Air dan gliserol.
Tidak larut dalam alkohol.
Titik lebur: 856 °C
Gravitasi spesifik: 2,54

BAGIAN 10 - STABILITAS DAN REAKTIFITAS

Hindari kontak dengan asam, aluminium.
Bereaksi keras dengan fluorin.
Umur simpan: Wajar, higroskopis.
Lihat Bagian 7 untuk informasi lebih lanjut.

BAGIAN 11 - INFORMASI TOKSIKOLOGI

Efek akut: Iritan
Efek kronis: NA.
Organ target: Diselidiki sebagai mutagen.
Oral-tikus LD₅₀: 4090 mg/kg
Terhirup-tikus LC₅₀: 2300 mg/m³ 2 Jam
Kulit-kelinci LD₅₀: N.A.

BAGIAN 12 - INFORMASI EKOLOGI

LC₅₀ 96 Jam Lepomis macrochirus: 300 mg/L EC50 48 Jam
Daphnia magna: 265 mg/L

BAGIAN 13 - PERTIMBANGAN PEMBUANGAN

Harap tinjau semua peraturan yang mungkin berlaku sebelum melanjutkan.

Saran pembuangan (Flinn): Metode #26a adalah salah satu opsi.
Lihat: PP 27/2020 tentang Pengelolaan Sampah Spesifik

BAGIAN 14 - INFORMASI TRANSPORTASI

Nama pengiriman: Tidak diatur. Kelas bahaya: N / A.
Nomor PBB: N / A.
Lihat: Permen LHK P.4/.../2020 tentang Pengangkutan Limbah B3

BAGIAN 15 - INFORMASI REGULASI

Terdaftar TSCA, terdaftar EINECS (207-838-8).

BAGIAN 16 - INFORMASI LAINNYA

Lembar Data Keselamatan (SDS) ini untuk panduan dan didasarkan pada informasi dan tes yang diyakini dapat diandalkan. Flinn Scientific, Inc. tidak menjamin keakuratan atau kelengkapan data dan tidak akan bertanggung jawab atas segala kerusakan yang terkait dengannya. Data ditawarkan semata-mata untuk pertimbangan, penyelidikan, dan verifikasi Anda. Data tidak boleh dikacaukan dengan mandat, peraturan, atau persyaratan lokal, negara atau asuransi dan TIDAK ADA JAMINAN HUKUM. Setiap penggunaan data dan informasi ini harus ditentukan oleh instruktur sains agar sesuai dengan hukum dan peraturan. Kondisi atau metode penanganan, penyimpanan, penggunaan dan pembuangan produk yang dijelaskan di luar kendali Flinn Scientific, Inc. dan mungkin di luar pengetahuan kami. UNTUK ALASAN INI DAN LAINNYA, KAMI TIDAK BERTANGGUNG JAWAB DAN MENGUNGKAPKAN TANGGUNG JAWAB ATAS KERUGIAN, KERUSAKAN ATAU BEBAN YANG MENDAPATKAN DARI ATAU DALAM CARA APAPUN YANG TERKAIT DENGAN PENANGANAN, PENYIMPANAN, PENGGUNAAN ATAU PEMBUANGAN PRODUK INI.

N.A. = Tidak tersedia, tidak semua aspek kesehatan dari zat ini telah diselidiki sepenuhnya.
N / A = Tidak berlaku

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



BIODATA MAHASISWA

1.	Nama Lengkap	:	Mukhammad Yusuf Iqbal
2.	NIM	:	2302319013
3.	Tempat, Tanggal Lahir	:	Pekalongan, 1 Oktober 2004
4.	Jenis Kelamin	:	Laki-laki
5.	Alamat	:	Jl. Urip Sumoharjo Gg. 5 No. 6 Rt 2/Rw 2, Kel. Podosugih, Kec. Pekalongan Barat, Kota Pekalongan.
6.	Email	:	mukhyusuf.iqbal@gmail.com
7.	Pendidikan	:	
	SD (2011 - 2017)	:	MSI 08 Medono
	SMP (2017 - 2020)	:	MTS Ribatul Mut'alimin
	SMA (2020 - 2023)	:	MA Unggulan K.H. Abdul Wahab Hasbulloh
8.	Program Studi	:	D3 Teknik Mesin
9.	Bidang Peminatan	:	Pengolahan Gas
10.	Topik Tugas Akhir	:	Perancangan Dan Optimasi Sistem Karbonasi CO ₂ Dari Acid Gas Removal Unit Untuk Sintesis Natrium Bikarbonat Menggunakan Na ₂ CO ₃

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta