



SKRIPSI – TK141581

**PEMISAHAN GAS CO₂ PADA BIOGAS MENGGUNAKAN
K₂CO₃ BERPROMOTOR *GLYCINE* DALAM REAKTOR
*PACKED COLUMN***

**Oleh:
Sinta Nuclea
NRP 2315105015**

**Dwi Kurnia Hariandini
NRP 2315105016**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng.
NIP. 1961 10 21 1986 03 1001**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



FINAL PROJECT– TK141581

**SEPARATION OF CO₂ ON BIOGAS USE K₂CO₃ WITH
GLYCINE PROMOTER IN PACKED COLUMN
REACTOR**

**Proposed by:
Sinta Nuclea
NRP 2315105015**

**Dwi Kurnia Hariandini
NRP 2315105016**

**Advisor :
Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng.
NIP. 1961 10 21 1986 03 1001**

**CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUTE TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

PEMISAHAN GAS CO₂ PADA BIOGAS MENGGUNAKAN K₂CO₃ BERPROMOTOR *GLYCINE* DALAM REAKTOR *PACKED COLUMN*

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Departemen Teknik
Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Sinta Nuclea

NRP : 2315 105 015

Dwi Kurnia Hariandini

NRP : 2315 106 016

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng. (Pembimbing I)

2. Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng. (Penguji I)

3. Setiyo Gunawan, ST., Ph.D (Penguji II)

4. Hakun Wirawasista
Aparamarta, ST, MMT, Ph.D (Penguji III)



**PEMISAHAN GAS CO₂ PADA BIOGAS
MENGUNAKAN K₂CO₃ BERPROMOTOR
GLYCINE DALAM REAKTOR PACKED COLUMN**

Nama : 1. Sinta Nuclea
2. Dwi Kurnia Hariandini
NRP : 1. 2315105015
2. 2315105016
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng

ABSTRAK

Biogas merupakan sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk memenuhi kebutuhan energi pada masa yang akan datang. Biogas memiliki kandungan CH₄ yang digunakan untuk bahan bakar, namun komposisi dari biogas menunjukkan bahwa kadar CO₂ dalam biogas masih tinggi. CO₂ sebagai inert dengan kadar tinggi dapat mengurangi nilai kalor serta menurunkan nilai ekonomi sehingga dibutuhkan treatment untuk mengurangi kandungan CO₂ dalam biogas untuk meningkatkan kualitas biogas. Beberapa teknologi telah dikembangkan untuk menghilangkan CO₂, salah satunya yaitu absorpsi kimia. Tujuan penelitian ini adalah melakukan proses pemisahan biogas dari CO₂ menggunakan absorbent K₂CO₃ dengan promotor *glycine* dalam reaktor *packed column* dan mengetahui pengaruh variabel suhu, konsentrasi promotor, dan laju alir absorbent terhadap efisiensi absorpsi CO₂. Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah 30 % padatan K₂CO₃ dilarutkan dalam aquades, kemudian *glycine* ditambahkan pada K₂CO₃ sesuai variabel konsentrasi (1%, 3%, 5% berat). Kemudian, larutan absorber sebagai feed yang telah dibuat disisi pada *supply absorbent tank* dan larutan dipanaskan

serta diaduk sesuai dengan variabel eksperimen (303, 323, 333, 343, 353, 363 K) Kemudian, sampel diambil dari larutan absorben dengan botol vial kaca yang digunakan sebagai larutan standar titrasi karbonat. Kemudian larutan absorben dialirkan melalui atas kolom dengan rate sesuai variabel (0,5; 0,75; 1 Liter Per Menit). Kemudian, gas sintesis dialirkan melalui dasar kolom dengan rate 40 LPM (Liter Per Menit) dan sampel diambil dari larutan hasil absorpsi pada saat 5 menit waktu operasi serta kelarutan gas CO₂ pada K₂CO₃ dianalisa dengan titrasi dan gas *chromotography*. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur, laju alir *liquid*, dan konsentrasi promotor maka % CO₂ *removal* juga semakin meningkat. % CO₂ *removal* pada setiap konsentrasi promotor (1%, 3%, 5% berat) dengan suhu 363K, yaitu sebesar 16,054 %; 22,476 %; dan 25,686 %.

Kata Kunci : Biogas, CO₂, Absorpsi, *Packed Column*, K₂CO₃, *Glycine*, Titrasi, Gas *Chromotography*, % CO₂ *removal*

SEPARATION OF CO₂ ON BIOGAS USE K₂CO₃ WITH GLYCINE PROMOTER IN PACKED COLUMN REACTOR

Name : 1. Sinta Nuclea
2. Dwi Kurnia Hariandini
NRP : 1. 2315105015
2. 2315105016
Advisor : Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng

ABSTRACT

Biogas is a renewable energy source that it has great potential energy in the future. Biogas contains CH₄ that it can be used for fuel, but the composition of CO₂ in biogas remains high. CO₂ as inert can reduces the calorific value and lower economic value at high levels so it requires treatment to reducing the CO₂ content in the biogas for improving the quality of biogas. Several technologies have been developed to removing CO₂, one of which is chemical absorption. The purpose of this study is to performing the separation process CO₂ from biogas using absorbent K₂CO₃ with the promoter of glycine in the packed column reactor and to determining the influence of temperature variable, concentration promoter and flow rate absorbent on the efficiency of CO₂ absorption. The experimental method in this study were dissolved 30% K₂CO₃ solids in aquadest, then glycine was added to K₂CO₃ solutions appropriate variable concentrations (1%, 3%, 5%). Then, absorbent solution of feed that had been made was filled to the supply absorbent tank and the solution was heated and stirred appropriate with the experimental variables (303, 323, 333, 343, 353, 363 K). Then, a sample of the absorbent solution was taken

to the bottle glass vial which it was used as a standard solution titration carbonate. The absorbent solution was powered through the top of the column with the appropriate variable rate (0.5; 0.75; 1 Liter Per Minute). Then, the synthesis gas flow through the base of the column at a rate of 40 LPM (Liters Per Minute) and sample was taken from the solution of absorption result at the time of 5 minutes of operating time and the solubility of CO₂ gas was analyzed with titration and gas chromatography. From the experimental results can be concluded that the higher temperature, liquid flow rate, and promoter concentration can be increasing % CO₂ removal. % CO₂ removal at each concentration of promoter (1%, 3%, 5% weight) with a temperature of 363K, which are 16.054%; 22.476%; and 25.686%.

Keywords : Biogas, CO₂, Absorption, Packed Column, K₂CO₃, Glycine, Titration, Gas Chromotography, % CO₂ removal

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah Yang Maha Kuasa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul:

**“ PEMISAHAN GAS CO₂ PADA BIOGAS
MENGUNAKAN K₂CO₃ BERPROMOTOR *GLYCINE*
DALAM REAKTOR *PACKED COLUMN* ”**

Laporan skripsi ini disusun untuk melengkapi persyaratan penelitian skripsi dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada bidang Studi S1 Teknik Kimia di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pada kesempatan ini dengan kerendahan hati kami menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga kami yang telah memberikan segalanya yang tak mungkin tercantumkan dalam tulisan ini.
2. Bapak Juwari, S.T, M.Eng, Ph.D, selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng selaku Dosen Pembimbing skripsi atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng, Bapak Setiyo Gunawan, S.T, Ph.D, dan Bapak Hakun Wirawasista Aparamarta, S.T, MMT., Ph.D selaku Dosen Laboratorium Teknologi Biokimia, atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
5. Bapak dan Ibu Dosen Pengajar atas segala ilmu yang diberikan serta seluruh karyawan Departemen Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.
6. Teman-teman Teknologi Biokimia atas doa, semangat, perhatian dan kasih sayang selama ini.

7. Seluruh pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, yang turut membantu kami.

Kami menyadari bahwa laporan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran dari para pembaca sangat penulis harapkan sebagai upaya peningkatan kualitas dari proposal skripsi ini.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Batasan Masalah	3
I.4 Tujuan Penelitian	4
I.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Biogas	5
II.2 Teknologi CO ₂ <i>Removal</i>	8
II.3 <i>Packed Column</i>	13
II.4 Absorben dan Promotor untuk Absorpsi Kimia... 18	
II.5 Penelitian Terdahulu	23
BAB III METODOLOGI PERCOBAAN	
III.1 Tempat dan Waktu Penelitian	25
III.2 Bahan dan Alat Penelitian.....	25
III.3 Variabel Penelitian	26
III.4 Tahapan Metodologi Penelitian	28
III.5 Diagram Alir Percobaan	33
III.6 Skema Peralatan Penelitian	36
III.7 Evaluasi Data	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Pengaruh Kenaikan Temperatur pada % CO ₂ <i>Removal</i>	41
IV.2 Pengaruh Laju Alir pada % CO ₂ <i>Removal</i>	43
IV.3 Pengaruh Konsentrasi Promotor pada % CO ₂ <i>Removal</i>	44

IV.4 Perbandingan K_2CO_3 tanpa Promotor dengan K_2CO_3 Menggunakan Promotor <i>Glycine</i>	44
IV.5 Perbandingan Hasil Analisa Titrasi dengan Analisa <i>Gas Chromatography</i> (GC).....	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan	47
V.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	xiii
DAFTAR NOTASI	xvii
APPENDIKS A	
A.1 Menentukan Keadaan <i>Steady State</i>	A-1
A.2 Analisa Data	A-1
A.3 Evaluasi Data	A-2
APPENDIKS B	
B.1 Hasil Analisa Menggunakan Titrasi	B-1
B.2 Hasil Perhitungan % CO_2 <i>Removal</i>	B-4
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Hubungan antara <i>Wobbe Index</i> dan Densitas Relatif vs Kandungan Metana dalam Peningkatan Biogas	7
Gambar II.2	Tipe <i>Random Packing</i>	17
Gambar II.3	Struktur dan pKA pada <i>Glycien, Sacrosine, Proline</i>	21
Gambar III.1	Diagram Alir Persiapan Absorben	28
Gambar III.2	Diagram Alir Persiapan Titrasi	29
Gambar III.3	Diagram Alir Eksperimen	30
Gambar III.4	Diagram Alir Analisa Titrasi	32
Gambar III.5	Diagram Alir Penelitian Pemisahan CO ₂	33
Gambar III.6	Skema Rangkaian Alat pada Unit Pemisahan CO ₂	36
Gambar IV.1	Kurva Hubungan antara Temperatur vs % CO ₂ <i>Removal</i> pada Larutan K ₂ CO ₃ 30 % berat berpromotor <i>Glycine</i> 1 %, 3 %, 5 % berat serta Laju Alir Absorben (0,5; 0,75; 1 LPM)	41

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Kandungan CO ₂ pada <i>Digester Sludge</i> Sistem Anaerob	5
Tabel II.2	Efek dari Kandungan Impuritis pada Biogas	6
Tabel II.3	Kelebihan dan Kekurangan masing-masing Proses Pemisahan CO ₂	11
Tabel II.4	Rentang Diameter serta Ukuran <i>Packing</i>	18
Tabel II.5	Penelitian Terdahulu.....	23
Tabel III.1	Variabel Laju Alir Absorbent, Konsentrasi <i>Glycine</i> dan Temperatur	27
Tabel IV.1	% CO ₂ <i>Removal</i> pada berbagai Variabel	40
Tabel IV.2	Perbandingan Hasil Analisa Titrasi tanpa Promotor dengan Menggunakan Promotor	45
Tabel IV.2	Perbandingan Hasil Analisa Titrasi dengan Anlisa GC	46
Tabel B.1	Data Perhitungan [CO ₃ ²⁻] dengan Promotor <i>Glycine</i> pada Konsentrasi 1 % berat	B-1
Tabel B.2	Data Perhitungan [CO ₃ ²⁻] dengan Promotor <i>Glycine</i> pada Konsentrasi 3 % berat	B-2
Tabel B.3	Data Perhitungan [CO ₃ ²⁻] dengan Promotor <i>Glycine</i> pada Konsentrasi 5 % berat	B-3
Tabel B.4	Data Perhitungan % CO ₂ <i>Removal</i> dengan Promotor <i>Glycine</i> pada Konsentrasi 1 % berat	B-4
Tabel B.5	Data Perhitungan % CO ₂ <i>Removal</i> dengan Promotor <i>Glycine</i> pada Konsentrasi 3 % berat	B-5
Tabel B.6	Data Perhitungan % CO ₂ <i>Removal</i> dengan Promotor <i>Glycine</i> pada Konsentrasi 5 % berat	B-7

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Biogas merupakan sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk memenuhi kebutuhan energi pada masa yang akan datang. Komposisi biogas terdiri dari metana (CH_4 , 55-75%), karbondioksida (CO_2 , 25-45%), nitrogen (N_2 , 0-0,3%), hidrogen (H_2 , 0-3%), hidrogen sulfida (H_2S , 0-3%), dan oksigen (O_2 , 0,1-0,5%) (Suyitno dkk., 2010). Biogas memiliki kandungan CH_4 yang dapat digunakan untuk bahan bakar, namun dari data tersebut menunjukkan bahwa kadar CO_2 dalam biogas masih tinggi. CO_2 sebagai inert dengan kadar tinggi dapat mengurangi nilai kalor serta menurunkan nilai ekonomi. Dibutuhkan treatment untuk mengurangi kandungan CO_2 dalam biogas sehingga kualitas dari biogas dapat meningkat (Ahmed dkk., 2016).

Beberapa teknologi telah dikembangkan untuk menghilangkan CO_2 , diantaranya adalah absorpsi secara kimia dan fisika, distilasi kriogenik, pemisahan membran dan fiksasi CO_2 dengan metode biologi maupun kimia. Absorpsi kimia merupakan suatu teknologi yang efisien pada penghilangan CO_2 dalam campuran gas. Efisiensi penyerapan CO_2 dipengaruhi oleh absorbent yang dipakai. Absorbent harus mempunyai reaktivitas yang tinggi, absorptive terhadap CO_2 , tahan pada suhu tinggi, stabil dalam degradasi bahan kimia, ekonomis serta memiliki efek yang rendah bagi lingkungan (Screenivasulu dkk., 2015). Beberapa absorbent yang dapat digunakan pada proses absorpsi kimia salah satunya jenis alkanolamine, seperti monoethanolamine (MEA), diethanolamine (DEA) dan methyl diethanolamine (MDEA) (Benamor, 2008) serta potassium karbonat (K_2CO_3). Beberapa peneliti menggunakan K_2CO_3 untuk mengamati kecepatan reaksi serta solubilitasnya pada proses penghilangan CO_2 (Benson dkk., 1954).

K_2CO_3 telah digunakan sebagai penyerap CO_2 sejak awal 1900-an. Larutan K_2CO_3 memiliki sifat yang berbeda dari amina, dapat menghilangkan CO_2 pada suhu dan tekanan tinggi, mudah diregenerasi, toksisitas rendah, biaya operasi yang lebih rendah dan kemurnian gas hasil absorpsi tinggi (Park dkk., 2013). Oleh karena itu, K_2CO_3 lebih efisien untuk menghilangkan CO_2 daripada larutan amina. Tantangan utama terkait kalium karbonat sebagai pelarut adalah konstanta laju reaksi yang rendah mengakibatkan kinerja perpindahan massa menja direndah (Thee dkk., 2013).

Promotor seperti piperazine, asam arsenious, turunan amina, karbonatan hidrase, asam borat dan asam amino semuanya telah disarankan untuk meningkatkan kinetika reaksi. Hal tersebut dikarenakan asam amino memiliki gugus fungsional yang sama seperti amina, sehingga memiliki reaktivitas yang sama terhadap CO_2 . Selain itu, asam amino memiliki ketahanan yang tinggi terhadap degradasi oksidatif dan toksisitas serta volatilitas yang rendah (Thee dkk., 2013). Asam amino seperti *glycine*, sarcosine dan prolin telah digunakan secara komersial. Sebuah studi sebelumnya oleh van Holst et al. (2009), mengungkapkan bahwa asam amino menunjukkan laju reaksi yang relative tinggi terhadap CO_2 dan memiliki pKa (derajat kelarutan asam) rendah. Laju reaksi merupakan factor penting dalam mengurangi biaya ekonomi dari absorber, serta pKa rendah diperlukan untuk mengurangi kebutuhan energi untuk regenerasi CO_2 (Thee dkk., 2013).

Thee dkk. (2013), telah meneliti kinetika studi absorpsi CO_2 dengan K_2CO_3 berpromotor *glycine* menggunakan *wetted-wall column* (WWC) dengan konsentrasi K_2CO_3 30% dan *glycine* 0-2 molaritas pada suhu 40-82 °C. Berdasarkan penelitian tersebut menunjukkan bahwa : (i) Peningkatan nilai pH pada absorben berbanding lurus terhadap besarnya nilai molaritas *glycine* yang ditambahkan, sehingga meningkatkan laju absorpsi CO_2 . (ii) Nilai konstanta reaksi(k) pada orde satu dari hasil absorpsi yaitu $k[M^{-1}s^{-1}] = 1,22 \times 10^{12} \exp(-5434/T[K])$ dapat digunakan pada range suhu

25-81 °C, namun nilai k tersebut konstan di suhu 40 °C dan energi aktivitasnya sebesar 45,2 kJ mol⁻¹. Selain itu, Park dkk., 2013, telah meneliti absorpsi CO₂ dengan K₂CO₃ menggunakan 12 promotor, dari penelitian menunjukkan bahwa CO₂ loading pada promotor *glycine* berada pada urutan dua terendah dari enam jenis *promotor primary amino acid salts* dengan nilai 1,041 mol CO₂/L larutan, namun dari segi ekonomi, harga jual *glycine* dipasaran terendah diantara promotor lain. Sejauh ini untuk penelitian absorpsi CO₂ dengan K₂CO₃ berpromotor *glycine* hanya meneliti kinetika laju reaksi menggunakan WWC, sedangkan untuk transfer massa dalam *packed column* belum dilakukan penelitian, sehingga pada penelitian ini akan dilakukan penelitian absorpsi CO₂ dengan K₂CO₃ berpromotor *glycine* menggunakan *packed column*.

I.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas dapat dirumuskan permasalahan adalah bagaimana pengaruh variabel suhu, konsentrasi promotor dan laju alir absorbent terhadap absorpsi CO₂ dari biogas dengan menggunakan absorbent K₂CO₃ berpromotor *glycine* dalam *packed column*?

I.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Alat yang digunakan adalah *packed column* dengan jenis *packed rasching ring*.
2. Analisa CO₂ yang diserap dengan cara menghitung kadar karbonat dalam absorbent setelah melewati *packed column*.
3. Data thermodinamika didapat dari jurnal penelitian sebelumnya.
4. Proses pemisahan CO₂ dilakukan menggunakan campuran gas CO₂ dan Nitrogen (N₂), dimana N₂ sebagai gas inert menggantikan CH₄.

I.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan penelitian ini sebagai berikut :

1. Melakukan proses pemisahan CO₂ dari biogas dengan menggunakan absorbent K₂CO₃ dengan promotor *glycine* dalam reaktor *packed column*.
2. Mengetahui pengaruh variabel suhu, konsentrasi promotor, dan laju alir absorben terhadap efisiensi absorpsi CO₂.

I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan didapatkan dalam penelitian ini adalah menghasilkan produk biogas dengan kualitas baik dengan melakukan pemisahan biogas dari komponen impuritis seperti CO₂ dengan metode absorpsi kimia menggunakan absorbent K₂CO₃ dengan promotor *glycine*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Biogas

Biogas merupakan gas yang dihasilkan oleh bakteri ketika bahan organik mengalami proses fermentasi dalam reaktor (*biodegester*) dalam kondisi *anaerob* (tanpa udara). Reaktor yang dipergunakan untuk menghasilkan biogas umumnya disebut *digester* atau *biodegester*, karena didalam digester bakteri tumbuh dengan mencerna bahan-bahan organik. Pada umumnya hampir semua jenis bahan organik dapat diolah menjadi biogas. Untuk biogas sederhana, bahan organik yang paling sering digunakan adalah dari kotoran hewan. Beberapa bahan lain yang digunakan adalah dari sampah bio(organik), dan sisa proses pembuatan tahu (Suyitno & Dharmanto, 2010).

Komposisi dan produktivitas sistem biogas dipengaruhi oleh parameter-parameter seperti temperatur digester, pH (tingkat keasaman), tekanan, dan kelembapan udara. Komposisi biogas dibawah ini yang sering dijadikan acuan oleh beberapa peneliti, diantaranya yaitu:

Tabel II.1 Kandungan CO₂ pada *Digester Sludge* Sistem Anaerob

Gas	<i>Digester Sludge</i> Sistem Anaerob (% volume)
Metana (CH ₄)	55-75
Karbon dioksida (CO ₂)	25-45
Nitrogen (N ₂)	1-5
Hidrogen (H ₂)	0-3
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	0,01-0,5
Oksigen (O ₂)	0-1

(Suyitno & Dharmanto, 2010)

Biogas mempunyai pengembangan dua tahap kegunaan. Untuk tahap pertama adalah langsung memanfaatkan panas dari CH₄ untuk pembangkit listrik, kogenerasi, atau sebagai sumber

gas kota. Sedangkan pengembangan tahap kedua adalah menggunakan biogas sebagai bahan baku untuk menghasilkan sumber energi yang lain, seperti H₂ untuk sel bahan bakar dan syngas (H₂ dan CO), sintesis bahan bakar lain, sebagai bahan bakar dan pembangkit listrik. Jika CH₄ dalam biogas digunakan sebagai penghasil panas, maka keberadaan CO₂ dapat menurunkan nilai kalor serta lebih banyak energi yang diperlukan (Chen dkk., 2016).

Biogas sangat potensial sebagai sumber energi terbaru karena kandungan *methane* (CH₄) yang tinggi dan nilai kalornya yang cukup tinggi. CH₄ sendiri mempunyai nilai kalor 50 Mj/kg. *Methane* (CH₄) yang memiliki satu karbon dalam setiap rantainya, dapat menghasilkan pembakaran yang lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar berantai karbon panjang (Suyitno & Dharmanto, 2010).

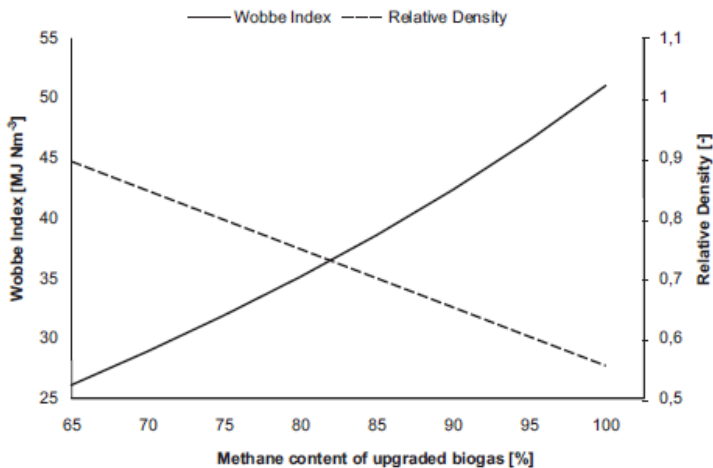
Tabel II.2 Efek dari Kandungan Impuritis pada Biogas

Impuritis	Efek yang timbul
Air	Korosi pada Kompresor, tangki penyimpanan gas dan mesin yang disebabkan oeh H ₂ S, NH ₃ dan CO ₂ , membentuk asam, pipa-pipa yang terakumulasi dengan air dapat menyebabkan kondensasi atau pembekuan pada tekanan tinggi.
Debu	Penyumbatan akibat dari pengendapan pada kompresor dan tangki penyimpanan gas.
H ₂ S	Korosi pada kompresor, tangki penyimpanan gas dan mesin, Konsentrasi H ₂ S beracun (>5cm ³ .m ⁻³) tetap berada pada biogas, SO ₂ dan SO ₃ terbentuk karena pembakaran yang lebih beracun dibandingkan H ₂ S dan menyebabkan korosi dengan air.

CO ₂	Nilai kalor rendah.
Siloxanes	Pembentukan SiO ₂ dan mikrokrystalin untuk pembakaran, deposisi pada busi, katup dan kepala silinder mengikis permukaan.
Hidrocarbon, Cl- dan F-	Korosi mesin pada pembakaran
NH ₃	Korosi ketika larut didalam air
Udara	Campuran eksplosif karena konsentrasi tinggi O ₂ didalam biogas.

(Ryckebosch, Drouillon & Vervaeren, 2011)

Pengolahan biogas pada umumnya dengan cara membersihkan komponen-komponen yang berbahaya atau dengan proses *upgrading* yang dapat menghilangkan CO₂ serta mengatur nilai kalor dan densitas relatif yang sesuai dengan spesifikasi *wobbe index*. *Wobbe index* merupakan suatu indikator dalam pengukuran kualitas pembakaran gas (Ryckebosch, Drouillon & Vervaeren, 2011).



Gambar II.1 Hubungan antara *Wobbe Index* dan Densitas Relatif vs Kandungan Metana dalam Peningkatan Biogas

Berdasarkan **Gambar II.1** menunjukkan bahwa semakin besar kandungan CH_4 pada biogas maka nilai *wobbe index* semakin tinggi namun untuk densitas relatif akan semakin rendah.

II.2 Teknologi CO_2 Removal

Beberapa proses untuk menghilangkan komponen CO_2 dari gas asam telah dipelajari dan diusulkan. Teknik pada pemurnian gas yang paling penting adalah tentang penyerapan yang melibatkan perpindahan/pengalihan dari CO_2 dari gas ke fase cair melalui batas fase. Prinsip pada proses penyerapan gas menuju *liquid* adalah menyerap melalui mekanisme difusi (molekular dan turbulen) dan konveksi menjadi *liquid* melalui *interface* (antarmuka) (Elhosane & Atway, 2016).

Ada beberapa teknologi untuk menangkap CO_2 , diantaranya adalah proses absorpsi kimia, absorpsi fisika, destilasi kriogenik dan pemisahan membran.

1. Pemisahan Kriogenik

Pada proses pembakaran dan *precombustion oxyfuel* menggunakan teknologi kriogenik untuk memisahkan CO_2 dari komponen lain paling banyak dilakukan karena tekanan parsial CO_2 tinggi. Pada kriogenik dilakukan proses kompresi, pendinginan, kondensasi dan destilasi menggunakan CO_2 cair. Pengaplikasian metode *postcombustion* akan menghasilkan gas buang panas dengan CO_2 partial yang relatif rendah sehingga akan membutuhkan energi yang besar dan proses yang tidak efisien (Devries, 2014).

2. Pemisahan Membran

Membran merupakan suatu lapisan dari material yang berfungsi sebagai penghalang antara dua fase dan *impermeable* pada partikel, molekul dan substansi tertentu ketika dikontakkan dengan adanya *driving force*. *Driving force* adalah perbedaan tekanan antara kedua sisi membran. Gas *permeability* melewati membran sebagai fungsi solubilitas dan difusivitas gas kedalam material membran (Huertas, Giraldo & Izquierdo, 2011).

Membran selektif dapat digunakan untuk memisahkan gas dengan cara memanfaatkan perbedaan interaksi fisika dan kimia anatar gas dan membran. Membran digunakan untuk menghilangkan CO₂ dari aliran gas yang mempunyai tekanan tinggi dan konsentrasi CO₂ tinggi. Namun perlu meningkatkan selektifitas dan permeabilitas untuk menggunakan membrane pada temperatur tinggi (Kenarsari dkk., 2013). Karena dampak buruk dari pemisahan gas yang dapat mengakibatkan kehilangan CH₄ maka dibutuhkan pemisahan *multiple stage* serta sebagai pencegahan dibutuhkan resirkulasi (Rutledge, B;, 2005). Pemisahan membran berdasarkan selektifitas *permeability* dibagi menjadi dua bagian dasar, yaitu :

- Pemisahan Gas-Gas dengan fase gas pada kedua sisi membran
Beberapa membran sangat spesifik untuk beberapa molekul. Contohnya adalah H₂S dan CO₂ yang dipisahkan dengan modul yang berbeda. Material membran yang digunakan adalah berjenis *hollow fiberyang* dapat menggunakan susunan *cross flow* untuk konstruksi modul yang sangat padat.
- Absorpsi membran Gas-Cair
Prinsip kerja dari Gas-Cairabsorpsi membran adalah molekul-molekul dari aliran fase gas mengalir pada satu arah sehingga dapat berdifusi melewati membran, molekul-molekul tersebut akan diserap pada sisi yang lain secara *counter current* pada aliran cair. Cairandicegah untuk tidak mengalir ke bagian gas untuk menghindari pengecilan tekanan gas.

3. Adsorpsi

Proses adsorpsi mengacu pada molekul-molekul zat seperti gas/cairdikumpulkan pada permukaan padat. Berbeda dengan absorpsi, pada proses adsorpsi fluida terlarut oleh *cairan* atau padatan. Proses ini dapat terjadi secara fisika maupun kimia. Pada proses adsorpsi fisika, molekul gas menempel pada permukaan adsorben sebagai hasil dari kekuatan tarik molekul

(Van der Waals Forces). Pada adsorpsi kimia, proses adsorpsi melibatkan reaksi kimia. Biasanya, adsorben memiliki ukuran 12 μm hingga 120 μm dengan tinggi porositas padat tinggi, *inert* pada perlakuan fluida. Adsorben yang paling sering digunakan untuk CO_2 adalah *activated charcoal*, *silica gel*, zeolit dan resin sintetis (Devries, 2014).

4. Absorpsi

Absorpsi adalah proses dimana suatu zat seperti padatan atau cairan menyerap zat lain seperti gas atau cair melalui pori atau ruang kosong antar molekul. Kapasitas absorpsi berdasarkan atas konsentrasi *equilibrium* antara fase gas dan fase cair. konsentrasi diencerkan dalam gas dan memiliki konsentrasi interval yang luas, hubungan *equilibrium* berdasarkan hukum Henry, yang memiliki kuantifikasi kapasitas absorpsi didalam fluida/cairan (Cengel & Boles, 2008). Sebuah unit absorpsi harus dipastikan agar berkontak antara gas dan pelarut (*solvent*), diatur sedemikian rupa sehingga terjadi difusi antar fase (Devries, 2014).

Proses absorpsi dibagi menjadi dua, yaitu :

- Absorpsi Kimia
Absorpsi kimia telah banyak digunakan sejak tahun 1930 untuk memisahkan gas asam. Sistem absorpsi kimia terdiri dari absorber dan desorber. Didalam prosesnya, CO_2 pada gas buang (*untreated*) akan bereaksi secara *counter current* dengan *lean solvent* pada kolom absorpsi. CO_2 dikirim ke kolom stripper untuk dipanaskan dengan steam dari reboiler dan CO_2 terpisah dari larutan panas. Kemudian *lean solvent* (pelarut) dikirim kembali ke kolom absorber dan produk CO_2 di lakukan proses *dehydration* dan *pressurization*. Energi terbesar pada proses absorpsi terjadi pada pemanasan (*steam*) dimana pelarut butuh diregenerasi (Boot-Handford dkk., 2014).
- Absorpsi Fisika
Selama proses absorpsi, gas buang (*untreated*) sebagai feed dialirkan secara *counter current* dengan pelarut di

kolom absorber. CO₂ diserap menggunakan pelarut, kemudian *rich solution* melewati serangkaian *flash drum* dengan tekanan yang bervariasi. Tempertaure optimum untuk absorpsi fisika adalah 40°C dan gas masuk harus memiliki tekanan tinggi dengan konsentrasi CO₂ tinggi (Devries, 2014).

Menurut (Ryckebosch, Drouillon & Vervaeren, 2011), berikut ini merupakan ringkasan dari kelebihan dan kekurangan dalam masing-masing proses :

Tabel II.3 Kelebihan dan Kekurangan masing-masing Proses Pemisahan CO₂

Proses	Keuntungan	Kekurangan
Absorpsi	<ul style="list-style-type: none"> • Efisiensi pemurnian tinggi >97% • Mudah proses operasi • Kapasitas mudah disesuaikan dengan perubahan tekanan dan temperatur • Dapat diregenerasi • Kehilangan CH₄<2% untuk air, CH₄<0,1% untuk pelarut kimia(amines) • Biaya operasi murah(dengan pelarut kimia) 	<ul style="list-style-type: none"> • Investasi dan operasi mahal (untuk pelarut air dan <i>polyethylene glycol</i>) • Kemungkinan Foaming dan tumbuhnya bakteri, kurang fleksibel untuk variasi gas masuk (pelarut air) • Butuh pemanasan untuk regenerasi(pelarut kimia) • Memungkinkan ada foaming • Dapat terdekomposisi oleh O₂ untuk pelarut amines
Adsorpsi	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat mencapai 	<ul style="list-style-type: none"> • Recovery produk

	<p>kemurnian tinggi pada produk</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mudah dalam mengontrol adsorbent saat ukuran peralatan diperhatikan 	<p>lebih rendah</p> <ul style="list-style-type: none"> • Secara keseluruhan menghasilkan satu produk murni
<p>Teknologi Membran Gas/gas Gas/Cair</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Konstruksi sederhana • Operasi proses sederhana • tanpa menaikkan biaya untuk aliran gas kecil • Dapat menghilangkan H₂S dan H₂O • Pada Gas/gas Efisiensi removal : <92% CH₄>96% CH₄ H₂O hilang • Pada Gas/Cair Efisiensi removal : >96% CH₄ • Biaya operasi murah • Diperoleh CO₂ murni 	<ul style="list-style-type: none"> • CH₄ dapat hilang • Eksperiment skala kecil • Selektifitas membran kecil: Kemurnian CH₄ dan jumlah biogas yang harus diupgrade membutuhkan <i>multiple step (modular system)</i> untuk memperoleh kemurnian tinggi
<p>Pemisahan Kriogenik</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diperoleh kemurnian CH₄ 90-98% • CO₂ dan CH₄ dengan kemurnian tinggi • Biaya energi rendah untuk mendapatkan 	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya Operasi dan investasi mahal • Hanya skala percobaan

	Larutan <i>Biomethane</i> (LBM)	
--	------------------------------------	--

II.3 Packed Column

Packed Column merupakan suatu alat yang digunakan pada proses distilasi, absorpsi, dan ekstraksi cair-cair (Sinnott, 2005). *Packed column* digunakan untuk kontak secara kontinyu pada cair dan gas dalam aliran *counter current* atau *co-current*, *packed column* berbentuk vertikal yang berisi *packing*, kemudian cair melintas kebawah didalam kolom untuk kontak dengan gas (Treybal, 1981).

Kinerja untuk *packed column* dapat juga tergantung dari desain dari sebuah *packed column*. Desain dari *packed column* dapat mempertimbangkan beberapa hal, diantaranya adalah :

II.3.1 Pemilihan Plate (Tray) atau Packing

Menurut Sinnott (2005), ada beberapa kelebihan dan kekurangan dalam pemilihan antara kolom *tray* atau *packing* untuk proses tertentu, diantaranya adalah :

1. Kolom *tray* dapat didesain untuk menangani proses dengan rentang laju alir cair dan gas yang lebih besar dibandingkan dengan *packed column*.
2. *Packed column* tidak sesuai untuk laju alir cair yang sangat rendah.
3. Efisiensi *tray* dapat diprediksi dengan lebih teliti dibandingkan dengan perhitungan untuk *packing* (HETP).
4. Hasil desain *tray column* lebih terjamin dari pada *packed column*. Pada *packed column* selalu ada keraguan bahwa distribusi cairan dapat terjaga dengan baik di sepanjang *packed column* pada semua kondisi operasi, terutama pada kolom yang cukup besar.
5. Pada kolom *tray* lebih mudah membuat pendingin; *coil* dapat dipasang pada *tray*.
6. Lebih mudah membuat *side stream* untuk *plate/tray column*.
7. Jika cairan menyebabkan *fouling* atau mengandung padatan, lebih mudah membersihkannya pada kolom *tray*. Dengan

diameter kolom cukup kecil, akan lebih murah menggunakan *packing* dan menggantikan *packing* jika terjadi *fouling*.

8. Untuk cairan yang bersifat korosif, *packed column* akan lebih murah daripada kolom tray.
9. Cairan *hold-up* jauh lebih rendah pada *packed column* dibandingkan *tray column*. Hal ini sangat penting ketika *inventory liquid* yang mudah terbakar atau beracun harus sekecil mungkin untuk alasan keselamatan.
10. *Packed column* lebih sesuai untuk menangani *foaming system*.
11. *Pressure drop* per tahap kesetimbangan (HETP) lebih rendah untuk *packing* daripada *tray*; dan pada kolom vakum sebaiknya menggunakan *packing*.
12. Pada kolom dengan diameter kecil (kurang dari 0,6 m), sebaiknya menggunakan *packing*; *tray* akan sulit dipasang dan cukup mahal.

II.3.2 Prosedur Desain *Packed Column*

Menurut Sinnott (2005), ada beberapa tahapan dalam mendesain *packed column*, yaitu:

1. Pilih jenis dan ukuran *packing*.
2. Menentukan tinggi kolom yang dibutuhkan untuk proses pemisahan.
3. Menentukan diameter kolom (kapasitas) untuk mengatasi laju alir absorben dan gas tertentu.
4. Pilih dan desain internal kolom: *packing support*, *liquid distributor*, *redistributor*.

II.3.3 *Packing*

Menurut Sinnott (2005), syarat-syarat pemilihan *packing* adalah :

1. Memiliki luas permukaan yang besar: luas *interface* yang tinggi antara gas dan cair

2. Memiliki struktur yang terbuka: resistansi yang rendah untuk aliran gas
3. Menghasilkan distribusi cairan yang seragam pada permukaan *packing*
4. Menghasilkan aliran gas yang seragam sepanjang penampang kolom

II.3.4 Jenis *Packing*

Packing dibagi menjadi dua jenis, diantaranya adalah :

1. *Random Packing*

Rings, saddles dan proprietary shapes yang terdapat dalam pada *packed column* disusun secara acak. Umumnya *random ring* menawarkan spesifikasi permukaan yang besar (dan gas *pressure drop* besar) didalam ukuran yang kecil, namun dalam ukuran besar maka biaya rendah per unit volum. Seperti *rough guide*, ukuran *packing* dari 25 mm atau lebih besar umumnya menggunakan kecepatan gas 0,25 m³/s (500 ft³/min), 50 mm atau lebih besar untuk ukuran 1 m³/s (2000 ft³/min). Selama instalasi *packing* dituangkan kedalam *tower* secara acak, dan untuk mencegah kerusakan dari keramik atau *packing carbon*, maka *tower* pertama-tama diisi dengan air untuk mengurangi *velocity* (Treybal, 1981).

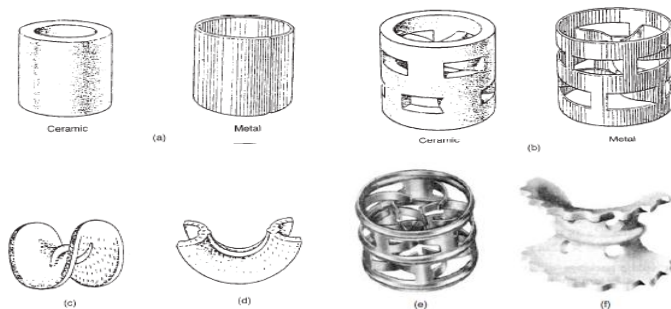
Menurut Sinnott (2005), ada berbagai jenis ring yang digunakan pada *random packing*, diantaranya adalah *Rasching rings, Pall rings, Berl Saddle serta Intalox Saddle*.

- a. *Rasching rings* merupakan salah satu tipe lama namun pada umumnya masih tetap digunakan.
- b. *Pall rings* pada dasarnya sama seperti *rasching ring*, dimana bukaananya dibuat oleh *folding strips* dari permukaan ke *ring*, hal tersebut dapat memperluas area dan meningkatkan karakteristik distribusi cairan.
- c. *Berl saddles* dibuat untuk meningkatkan distribusi cairan sama seperti *rasching rings*.
- d. *Intalox Saddles* dapat dianggap sebagai pengembangan dari tipe *berl saddle*, dilihat dari bentuknya, *intalox*

saddles pembuatannya lebih mudah dari pada *berl saddles*.

- e. *Hypac* dan *super intalox packing* adalah pengembangan dari tipe *pall ring* dan *intalox saddle*.

Ring dan *Saddle* tersedia dari bahan keramik, logam, plastik, dan karbon. Dibandingkan dengan ring yang terbuat dari keramik, ring yang terbuat dari logam dan plastik (polipropilen) lebih efisien karena dapat dibuat lebih tipis. *Rasching ring per volume* harganya lebih murah dibandingkan dengan *pall rings* atau *saddles* akan tetapi efisiensinya lebih rendah, dan biasanya biaya total kolom akan lebih mahal jika menggunakan *raschig ring*. Untuk kolom yang baru, biasanya memilih menggunakan *pall ring* dan *berl* atau *intalox saddle*. Pemilihan material *packing* berdasarkan pada jenis fluida dan temperatur operasi. *Packing* keramik akan menjadi pilihan pertama untuk cairan yang bersifat korosif; namun keramik tidak cocok untuk basa kuat. *Packing* plastik lemah terhadap beberapa pelarut organik dan hanya dapat digunakan sampai temperatur moderat (tidak terlalu tinggi), maka tidak cocok untuk kolom distilasi. Jika kondisi operasi kolom cenderung tidak stabil, maka sebaiknya digunakan *packing* logam, karena keramik akan mudah pecah (Sinnott, 2005).



Gambar II.2 Tipe Random Packing a) *Rasching rings* b) *Pall rings* c) *Berl saddle Ceramic* d) *Intalox Saddle Ceramic* e) *Metal Hypac* f) *Ceramic, super Intalox*

2. *Reguler Packing*

Terdapat berbagai tipe pada *reguler packing*. *Packing reguler* memberikan kelebihan pada *pressure drop*nya yang rendah untuk gas, namun kecepatan aliran fluida besar serta biaya instalasi lebih mahal dari pada *random packing*.

Ada beberapa tipe pada *reguler packing*, yaitu : *stacked rings*, *grids* dan *proprietary structured packings*.

- a. *Stacked Rasching ring* ekonomis hanya didalam ukuran besar.
- b. Beberapa modifikasi dari *expanded metal packing* seperti *wood grid*, atau *hurdles* lebih murah dan sering digunakan, dimana dibutuhkan volume kosong yang lebih besar dengan gas *tar-bearing* dari oven arang atau membawa partikel *suspended solid*. *Knitted* atau *woven wire screen* yang lain, digulung seperti *fiber* menjadi silinder (Neo-Kloss) atau *metal gauzeliike* yang lain disusun (Koch sulzer, Hyperfil dan *Goodloe packing*) mengandung *interfacial* permukaan besar dari kontak cair dan gas, dan tekanan gas sangat rendah sangat berguna untuk destilasi vakum (Treybal, 1981).

II.3.5 Ukuran *Packing*

Secara umum, ukuran terbesar *packing* yang sesuai untuk ukuran kolom adalah 50 mm. *Packing* yang lebih kecil akan lebih mahal daripada *packing* yang lebih besar. Jika digunakan *packing* dengan ukuran diatas 50 mm, maka biaya per meter kubik (per volum) yang lebih rendah, efisiensi perpindahan massa yang lebih rendah. Jika menggunakan *packing* yang terlalu besar dalam kolom yang kecil, maka tidak akan diperoleh distribusi cairan yang baik.

Rentang ukuran *packing* yang direkomendasikan :

Tabel II.4 Rentang Diameter serta Ukuran *Packing*

Diameter Kolom	Ukuran <i>Packing</i> yang digunakan
< 0,3 m (1 ft)	< 25 mm (1 in)
0,3 – 0,9 m (1 – 3 ft)	25 – 38 mm (1 – 1,5 in)
> 0,9 m	50 – 75 mm (2 – 3 in)

II.4 Absorben dan Promotor untuk Absorpsi Kimia

II.4.1 Jenis-Jenis Absorben

Potassium Carbonate (K_2CO_3) dan amines seperti *Mono ethanolamine* (MEA), *Diethanolamine* (DEA) dan *N-Methyldiethanolamine* (MDEA) dapat menghilangkan kandungan gas asam untuk implementasi dalam skala besar. K_2CO_3 mempunyai beberapa keuntungan jika dibandingkan dengan pelarut jenis amine, seperti biaya rendah, bahaya racun rendah, dapat melakukan proses absorpsi pada temperatur tinggi sehingga membuat regenerasi lebih ekonomis (Shen dkk., 2013). Berdasarkan stabilitas thermal, K_2CO_3 mampu bekerja pada temperatur tinggi, yang memungkinkan K_2CO_3 menggunakan konsentrasi tinggi untuk proses absorpsi (Saidi dkk., 2014). Selain itu K_2CO_3 tidak mengalami masalah degradasi dan korosi, akan tetapi kecepatan reaksi K_2CO_3 dengan CO_2 lebih rendah dibandingkan dengan *aqueous amines* (Kothandaraman dkk., 2009). Mekanisme reaksi larutan K_2CO_3 adalah sebagai berikut :



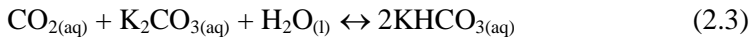
Karena K_2CO_3 mempunyai kecepatan reaksi yang rendah, maka dibutuhkan suatu promotor untuk meningkatkan kecepatan reaksi.

Beberapa penelitian tentang absorpsi CO_2 yaitu : Mindaryani dkk., (2006), menggunakan absorber 20 % berat MDEA dapat mengurangi 40 % CO_2 menjadi 17 % CO_2 ; Aboudheir dkk., (1998), menggunakan absorber 30 % berat MEA dapat mengurangi 100 % CO_2 menjadi 79 % CO_2 ; James dan Henry (2001), menggunakan absorber campuran 20 % berat MEA, 60 % berat *methanol* dan 20 % berat air

didapatkan efisiensi CO_2 removal sebesar 96,5 % dan menggunakan campuran 20 % berat MEA, 60 % berat *ethylene glycol* dan 20 % berat air didapatkan efisiensi CO_2 removal sebesar 80,1 %; Tippayawong dan Thanompongchart (2009), menggunakan 3 absorber yaitu NaOH, Ca(OH), dan MEA dengan konsentrasi 0,1 M dapat mengurangi 46,8 % CO_2 menjadi masing-masing 3,2 % CO_2 , 4 % CO_2 , dan 1,3 % CO_2 ; dan Kasikamphaiboon dkk., (2012), menggunakan absorber 97 % berat MEA dapat mengurangi 38,4 % volume CO_2 menjadi 1,7 % volume CO_2

II.4.2 Transfer Massa pada Absorpsi CO_2 menggunakan K_2CO_3

Absorpsi dengan reaksi berfungsi untuk meningkatkan laju transfer massa yang dinyatakan dengan faktor peningkatan (*enhancement factor*). Absorpsi CO_2 kedalam larutan potassium karbonat dengan reaksi stoikhiometri sebagai berikut,



Reaksi yang menentukan kecepatan reaksi kesetimbangan berikut,



Didalam larutan juga terjadi reaksi-reaksi kesetimbangan berikut,



Laju absorpsi gas disertai reaksi kimia pada umumnya diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh reaksi menggunakan faktor peningkatan E, yaitu :

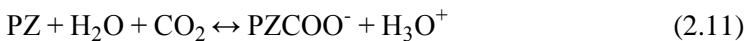
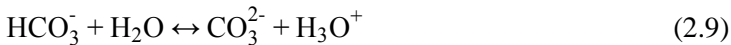
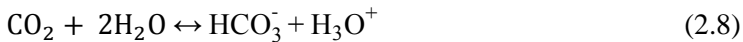
$$R = E k_L (C_{Ai} - C_{Ab}) \quad (2.7)$$

dimana C_{Ai} adalah konsentrasi gas dalam fasa cair pada *interface* yang dianggap terjadi kesetimbangan gas-cair. C_{Ai} diestimasi dengan menggunakan hukum Henry yang dimodifikasi akibat adanya ion-ion elektrolit dalam larutan (Danckwertz, 1970). Sedang k_L adalah koefisien transfer massa sisi cair. Estimasi harga E didasarkan pada asumsi model perpindahan massa antarfasa untuk absorpsi gas kedalam liquida yang pada dasarnya meliputi penyelesaian persamaan diffusi yang berlaku (Danckwertz, 1970); (Astarita, Savage, & Joshi, 1980).

II.4.3 Mekanisme Reaksi pada Promotor

Alkanolamine dan asam amino dapat digunakan sebagai promotor, akan tetapi alkanolamines mempunyai keterbatasan dalam pengaplikasiannya karena alkanolamine mudah terdekomposisi pada temperatur tinggi atau ketika berinteraksi dengan *sox* didalam gas buang. Sehingga tidak sesuai jika diaplikasikan pada temperatur dan tekanan tinggi. Promotor lain yang dapat digunakan selain dari jenis asam amino adalah dari jenis amines. Amines tahan terhadap bahan kimia dan degradasi panas. Asam amino mempunyai karakteristik kehilangan *vapor*/uap yang rendah, karena asam amino membentuk ion-ion pada larutan (Park dkk., 2014).

Berikut ini merupakan proses absorpsi CO_2 menggunakan promotor *secondary amine* (*paparazine*).





PZ mempunyai kecepatan absorpsi CO_2 dengan baik, begitu juga pada jenis asam amino lain seperti : *glycine* dan asam 2/4 amino-2/4-*methyl butyric* yang mempunyai hasil sejenis (Park dkk., 2014).

Aqueous asam amino seperti *glycine*, *sarcosine* dan *proline* terbagi menjadi tiga *state*, yaitu : *acidid state*, *zwitterionic state*, *basic/deprotonated*.

Amino acid	Structure			pK _a
	Acidic	Zwitterionic	Basic	
Glycine				9.8
Sarcosine				10.6
Proline				10.2

Gambar II.3 Struktur dan pKa pada *Glycine*, *Sarcosine*, *Proline*

(Goldberg, Kishore & Lennen, 2002; Hamborg, Niederer & Versteeg, 2007; Holst &., 2009).

Untuk *acidic state* dan *zwitterionic state* pada asam amino mempunyai reaktifitas lebih rendah pada CO_2 jika dibandingkan dengan *deprotonated* (Holst dkk., 2009; Aronu dkk., 2011; Guo dkk., 2013). Deprotonasi pada asam amino *zwitterionic* didapatkan dengan cara penambahan basa kuat, seperti *potassium hydroxide* (KOH) yang terdissosiasiasi dalam air seperti reaksi berikut :



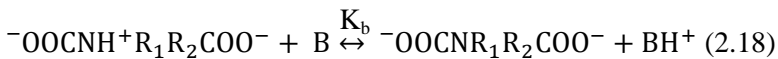
Deprotonasi dapat ditulis sebagai berikut :



Reaksi antara CO_2 dan asam amino deprotonasi kemudian dilanjutkan melalui *zwitterionic carbamate intermediate* :



Reaksi penghilangan proton dari *zwitterionic carbamate* oleh basa (B) untuk membentuk *neutral carbamate* ditunjukkan pada reaksi berikut :



Glycine (Gly, G) atau asam aminoetanoat adalah asam amino alami paling sederhana dengan rumus kimia $\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$. *Glycine* mudah menyesuaikan diri dengan berbagai situasi karena strukturnya sederhana. *Glycine* adalah satu-satunya asam amino internal pada heliks kolagen, suatu protein struktural. Pada sejumlah protein penting tertentu, misalnya sitokrom c, mioglobin, dan hemoglobin, *glycine* selalu berada pada posisi yang sama sepanjang evolusi (terkonservasi). Penggantian *glycine* dengan asam amino lain akan merusak struktur dan membuat protein tidak berfungsi dengan normal (Rafiqi & Junaidi, 2011).

Glycine memiliki sebuah atom hidrogen sebagai rantai sisi, sehingga *glycine* merupakan asam amino yang paling sederhana. (Marks, Marks, & Smith, 1996). *Glycine* mempunyai stabilitas tinggi terhadap oksigen sehingga tidak mudah terdegradasi oleh oksigen serta memiliki kecepatan reaksi dengan CO_2 yang tinggi.

II.5 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang dapat dijadikan sebagai acuan untuk referensi yang ditinjau dari penggunaan *packed column*, seperti yang telah tercantum dalam **Tabel II.5** berikut :

Tabel II.5 Penelitian Terdahulu

Peneliti (tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
Wenxia Xie, Jun Zhang, Lixin Xu, Jianhong Lv, Hui Zhong, Changdong Sheng (2017)	Influence Of Particles On Mass Transfer Performance for CO ₂ Absorption using K ₂ CO ₃ Solution in a Random O ring Packed Column	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatur dan ratio gas-cair mempunyai pengaruh yang signifikan pada kenaikan KGav, namun adanya partikel (fly ash) dapat menurunkan KGav. - Pengaruh partikel abu sedikit melemah dengan adanya kenaikan temperatur. - Berdasarkan analisis mengindikasikan bahwa pengaruh partikel abu pada KGav dengan cara merubah persebaran larutan absorpsi.
Preecha K. Charun B. (2012)	CO ₂ and H ₂ S Removal Using MEA Solution in a Packed Column Absorber for Biogas Upgrading	<ul style="list-style-type: none"> - Efisiensi Lebih dari 90% removal CO₂ diperoleh ketika menggunakan laju aliran gas tidak lebih dari 6 L/min dan laju aliran cairan dari 0,10-0,15 L/min. - Efisiensi Lebih dari 90% removal H₂S diperoleh ketika menggunakan laju aliran gas tidak lebih dari 8 L/min dan laju aliran

		cairan dari 0,15 L/min.
Mindaryani Budhijanto (2006)	Continuous Absorption of CO ₂ in Packed Column Using MDEA Solution for Biomethane Preparation	<ul style="list-style-type: none"> - Data eksperimen menunjukkan bahwa penyerapan laju alir gas 1 LPM dengan 0,15 LPM dapat mengurangi 40% CO₂ menjadi 17% CO₂. - Peningkatan laju aliran gas menunjukkan koefisien perpindahan massa yang lebih tinggi secara keseluruhan.
Kusnarjo Kuswandi Susianto Ali Altway (2009)	Pengaruh Model Aliran Terhadap Recovery CO ₂ pada Absorpsi Gas CO ₂ oleh Larutan K ₂ CO ₃ didalam Packed Column dengan Kondisi Non-Isothermal	<ul style="list-style-type: none"> - Absorpsi gas CO₂ 20% volume menggunakan larutan benfield dengan model aliran non-ideal besar % recovery gas CO₂ dengan larutan K₂CO₃ 1,5 M jumlahnya lebih besar. - Absorpsi CO₂ dengan campuran udara 80% volume dengan model aliran non-ideal (D/uL=0,1), jumlah % recovery gas CO₂ lebih kecil dibandingkan dengan aliran ideal (D/uL=0,2).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Biokimia, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, ITS, tahun 2017.

III.2 Bahan dan Alat Penelitian

III.2.1 Bahan Penelitian

1. Campuran Gas CO₂ 40% *balance* N₂ (Samator, 2017)
2. Aquadest (Gudang T.kimia, 2017)
3. Indikator *Phenolphthalein* (PP)
Spesifikasi *Phenolphthalein* (PP)

Rumus Molekul	: C ₂₀ H ₁₄ O ₄
Densitas	: 1,277 gr/mol
Titik Leleh	: 258-263 °C
Kelarutan Dalam Air	: 400 mg/L

(Gudang T.kimia, 2017)
4. *Pottasium Hydroxide (Extra Pure)*
Spesifikasi *Pottasium Hydroxide*

Rumus Molekul	: KOH
Berat Molekul	: 56,11 gr/mol
Densitas	: 2,12kg/L
Titik Leleh	: 360 °C
Titik Didih	: 1327 °C
Kelarutan Dalam Air	: 85 gr/100 gr H ₂ O
Kemurnian	: 98 %

(SIP, 2017)
5. *Glycine (Food Grade)*
Spesifikasi *Glycine*

Rumus Molekul	: C ₂ H ₅ NO ₂
Berat Molekul	: 75 gr/mol
Densitas	: 1,61kg/L
Titik Leleh	: 233-280 °C

Kelarutan Dalam Air : 25 gr/100 gr H₂O(25°C)
Kemurnian : 99,5 %

(Sumber Berlian Kimia, 2017)

6. *Pottasium Carbonate*

Spesifikasi *Pottasium Carbonate (Extra Pure)*

Rumus Molekul : K₂CO₃
Berat Molekul : 138 gr/mol
Densitas : 2,43kg/L
Titik Leleh : 891°C (1635.8°F)
Kemurnian : > 99%

(Chemical Indonesia Multi Sentosa, 2017)

7. HCl (Pro Analisis)

Spesifikasi Asam Klorida

Rumus Molekul : HCl
Berat Molekul : 36,458 gr/mol
Tekanan Uap : 84 mm Hg (20 C)
Titik Didih : 50,5°C
Kelarutan Dalam Air : 100%
Keasaman : < 1 pKa

(Gudang T.kimia, 2017)

III.2.2 Alat Penelitian

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah botol vial kaca, gelas ukur, pipet tetes, *beaker glass*, erlenmeyer, rangkaian kolom absorber, statif, *burrete*, *thermocouple*, dan *heater*.

III.3 Variabel Penelitian

• Variabel Tetap

1. Tekanan : 1 atmosfer
2. Gas Umpan : campuran 40%v CO₂ + 60%v N₂
3. Lajualir gas umpan : 40 L/menit
4. Pelarut : Larutan K₂CO₃ 30% berat total pelarut

5. Jenis promotor : *Glycine*

- Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah suhu operasi, laju alir absorbent dan konsentrasi promotor. Variabel bebas yang dimaksud dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel III.1 Variabel Laju Alir Absorbent, Konsentrasi *Glycine* dan Temperatur

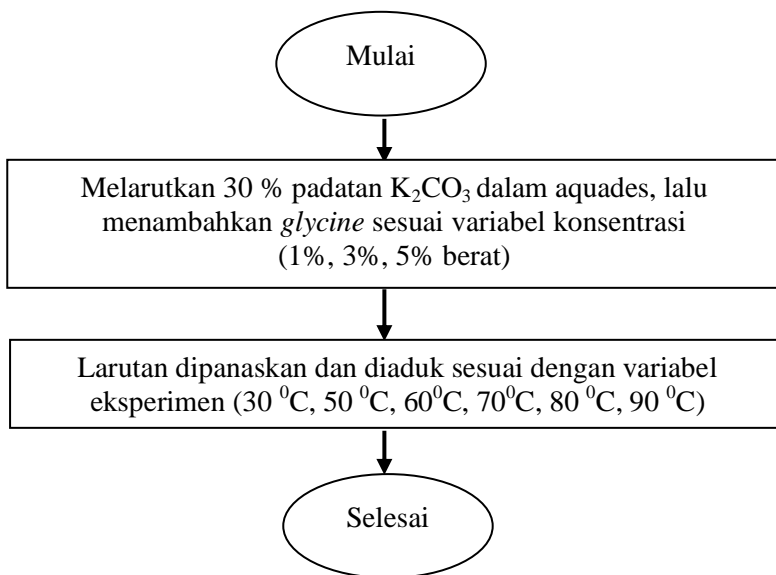
No.	Laju Alir Absorbent (LPM)	Konsentrasi <i>Glycine</i> (% berat)	Temperatur (°C)
1.	0,5	1	30,50,60,70,80,90
		3	30,50,60,70,80,90
		5	30,50,60,70,80,90
2.	0,75	1	30,50,60,70,80,90
		3	30,50,60,70,80,90
		5	30,50,60,70,80,90
3.	1	1	30,50,60,70,80,90
		3	30,50,60,70,80,90
		5	30,50,60,70,80,90

III.4 Tahapan Metodologi Penelitian

Rangkaian penelitian yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut :

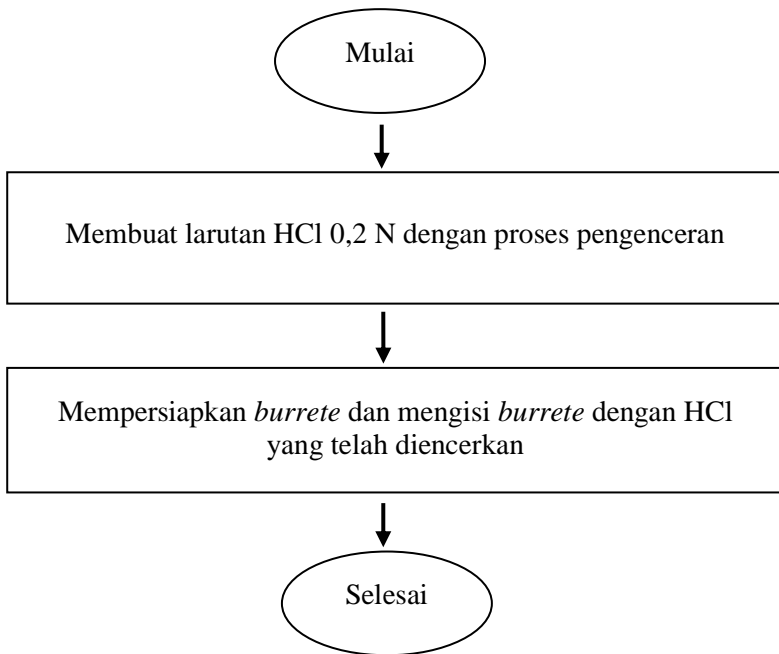
1. Persiapan Absorben
2. Persiapan Titrasi
3. Eksperimen
4. Analisa Titrasi
5. Analisa Gas *Chromatography* (GC)

III.4.1 Persiapan Absorben



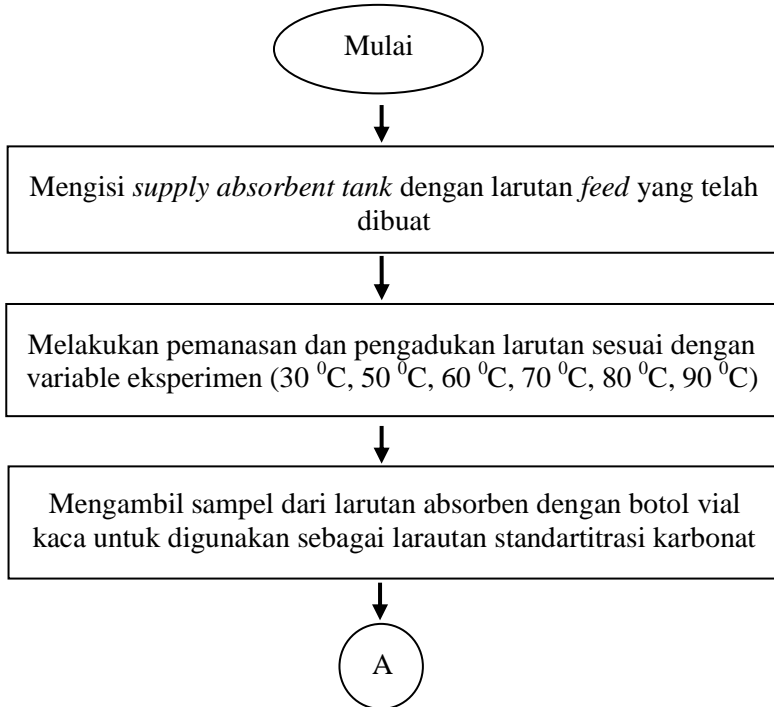
Gambar III.1 Diagram Alir Persiapan Absorben

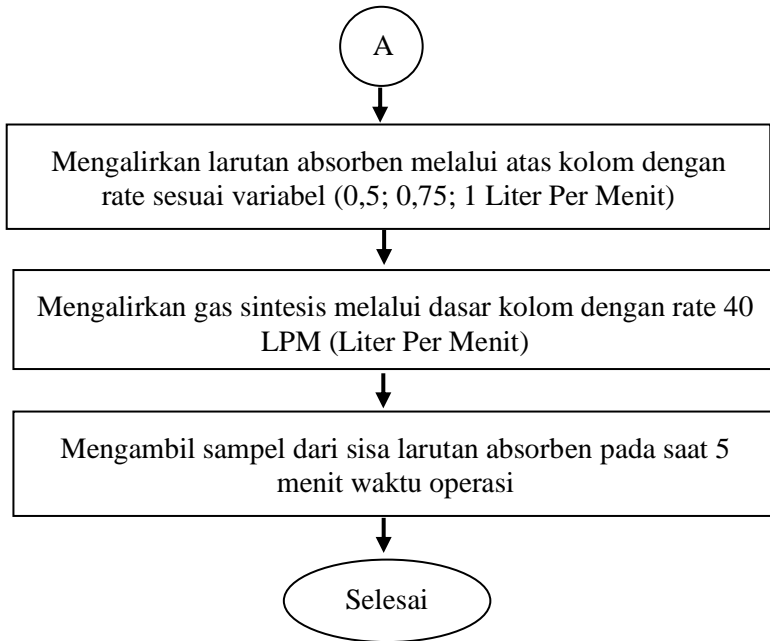
III.4.2 Persiapan Titrasi



Gambar III.2 Diagram Alir Persiapan Titrasi

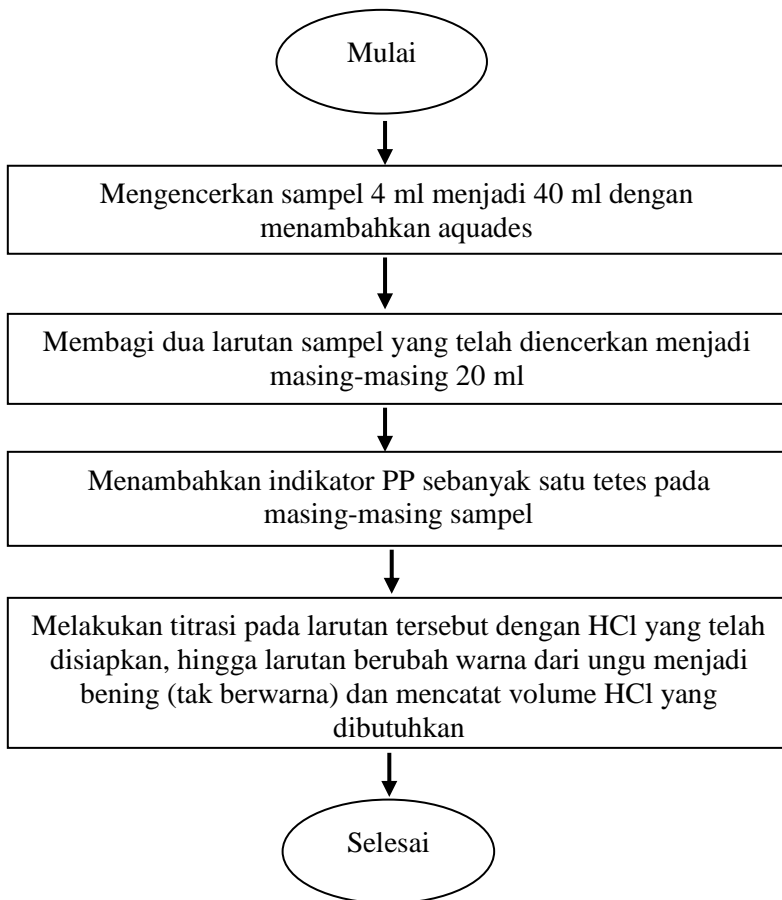
III.4.3 Eksperimen





Gambar III.3 Diagram Alir Eksperimen

III.4.4 Analisa Titrasi



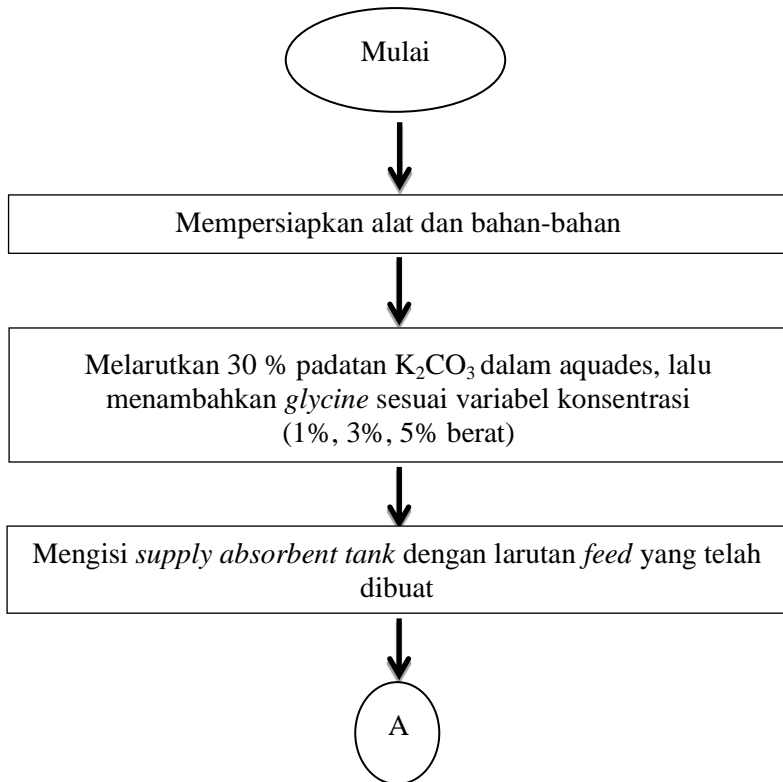
Gambar III.4 Diagram Alir Analisa Titrasi

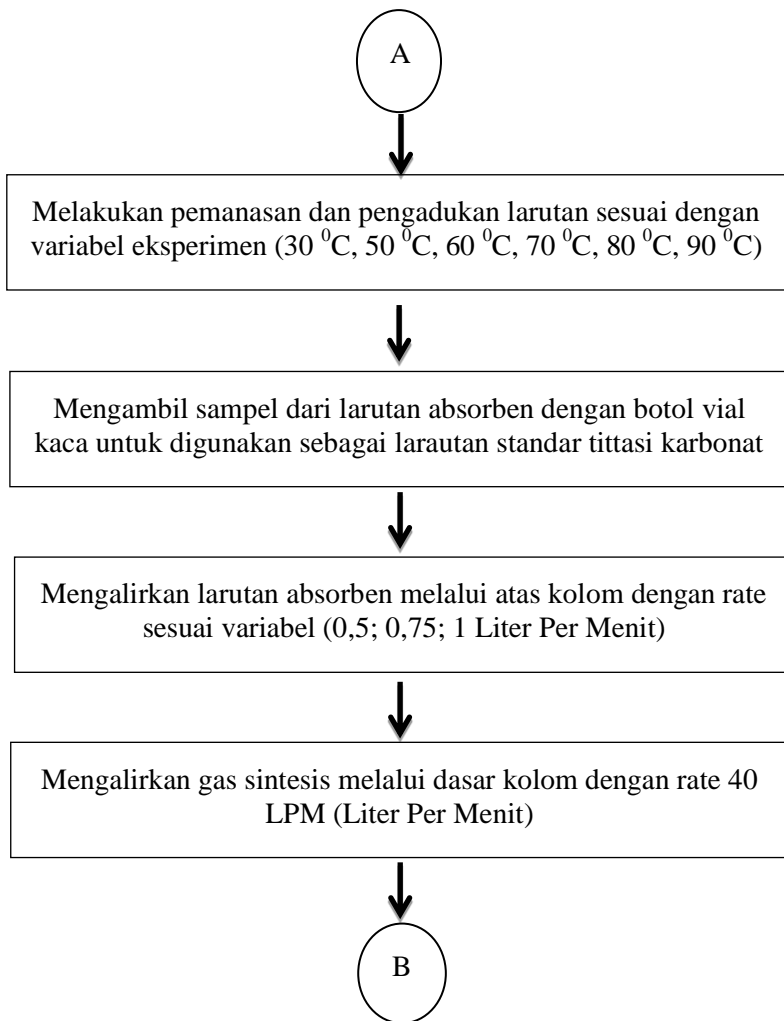
III.4.5 Analisa Gas *Chromatography* (GC)

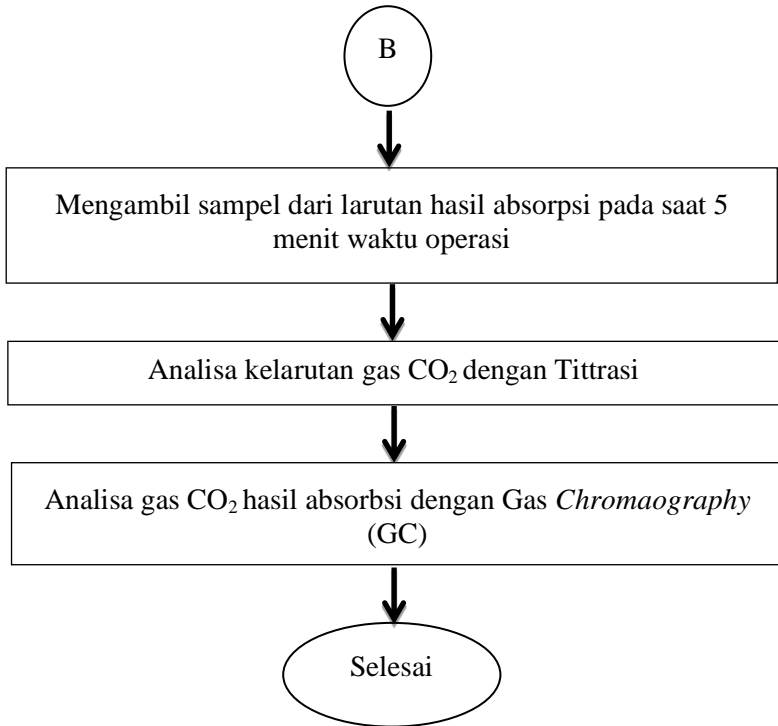
Untuk analisa gas *chromatography* dilakukan di Politeknik Kesehatan Surabaya, dimana spesifikasi GC yang digunakanyaitu :

- Jenis GC : GC *Agilet Trace Quo II* Detektor FID
- Jenis *Column* ada 2 :
 - *Packed Column* (bahannya kaca) = Sampel diinjeksikan 25-150 ml/menit
 - *Capilar Column* (bahannya silica) = Sampel diinjeksikan 1-25 ml/menit

III.5 Diagram Alir Percobaan



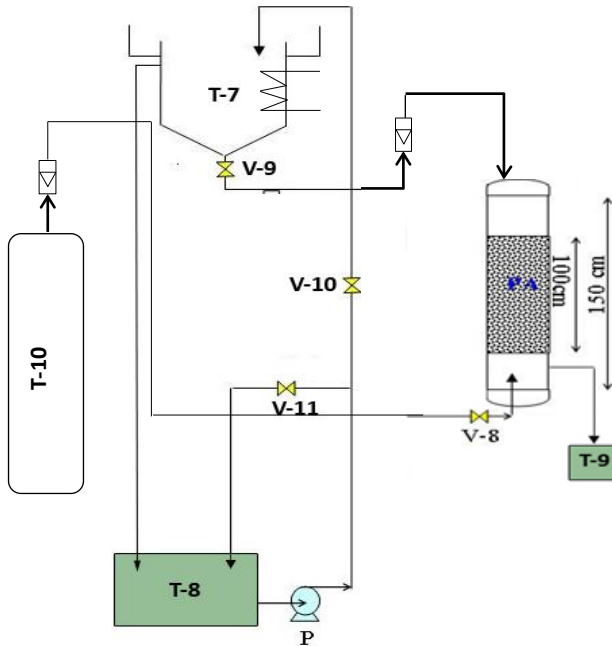




Gambar III.5 Diagram Alir Penelitian Pemisahan CO₂

III.6 Skema Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian adalah :



Gambar III.6 Skema Rangkaian Alat pada Unit Pemisahan CO₂

Keterangan :

T-7 = Tangki penyimpanan K₂CO₃ dengan promotor *Glycine*

T-8 = Tangki *over flow*

T-9 = Tangki penampung larutan hasil absorpsi

T-10 = Tangki penyimpanan gas CO₂ dan N₂

TC = Temperatur *Control*

V-8 = Valve aliran gas ke *packed column*

V-9 = Valve aliran larutan ke *packed column*

V-10 = Valve aliran larutan ke tangki *over flow*

V-11 = Valve aliran larutan *by pass*

D-2 = *Packed column*

- P = Pompa
- PA = *Packing*
- F-3 = Flow meter larutan ke *column*
- F-4 = Flow meter gas ke *column*
- K-5 = Koil pemanas

III.7 Evaluasi Data

1. Menghitung % CO₂ Removal

- Menghitung Nilai Karbonat Masuk (Sampel Sebelum Proses Absorpsi) :

$$[\text{CO}_3^{2-}]_{\text{mula-mula}} = \frac{N_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl(PP)}} \times \text{faktor pengenceran}}{V_{\text{sampel}} \text{ (mL)}} \quad (3.1)$$

- Menghitung Nilai Karbonat Keluar (Sampel Sesudah Proses Absorpsi) :

$$[\text{CO}_3^{2-}]_{\text{akhir}} = \frac{N_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl(PP)}} \times \text{faktor pengenceran}}{V_{\text{sampel}} \text{ (mL)}} \quad (3.2)$$

- Menghitung Nilai Karbonat yang Berreaksi :

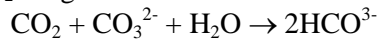
- Mol Karbonat Masuk (mol/menit) = $[\text{CO}_3^{2-}]_{\text{mula-mula}} \times \text{Laju Alir Liquid}$ (3.3)

- Mol Karbonat Keluar (mol/menit) = $[\text{CO}_3^{2-}]_{\text{akhir}} \times \text{Laju Alir Liquid}$ (3.4)

- Mol Karbonat Berreaksi (mol/menit) = Mol Karbonat Masuk (mol/menit) – Mol Karbonat Keluar (mol/menit) (3.5)

- Menghitung Mol Gas CO₂ Masuk dan CO₂ Keluar :

Reaksi CO₂ dengan karbonat :



$$\text{Mol CO}_2 \text{ masuk} = \text{komposisi CO}_2 \times \text{Rate Gas} \times \frac{1}{22,4} \times \frac{P}{P_0} \times \frac{T_0}{T}$$

(3.6)

$$\text{Mol CO}_2 \text{ keluar} = \text{mol CO}_2 \text{ masuk} - \text{mol karbonat berreaksi} \quad (3.7)$$

- Menghitung % CO₂ Removal :

$$\% \text{ CO}_2 \text{ Removal} = \frac{\text{mol CO}_2 \text{ masuk} - \text{mol CO}_2 \text{ keluar}}{\text{mol CO}_2 \text{ masuk}} \times 100\% \quad (3.8)$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan proses pemisahan karbondioksida (CO_2) dari biogas menggunakan absorben *pottasium carbonate* (K_2CO_3) dengan promotor *glycine* dalam reaktor *packed column* serta mengetahui pengaruh variabel temperatur, konsentrasi promotor, dan laju alir absorben terhadap efisiensi absorpsi CO_2 .

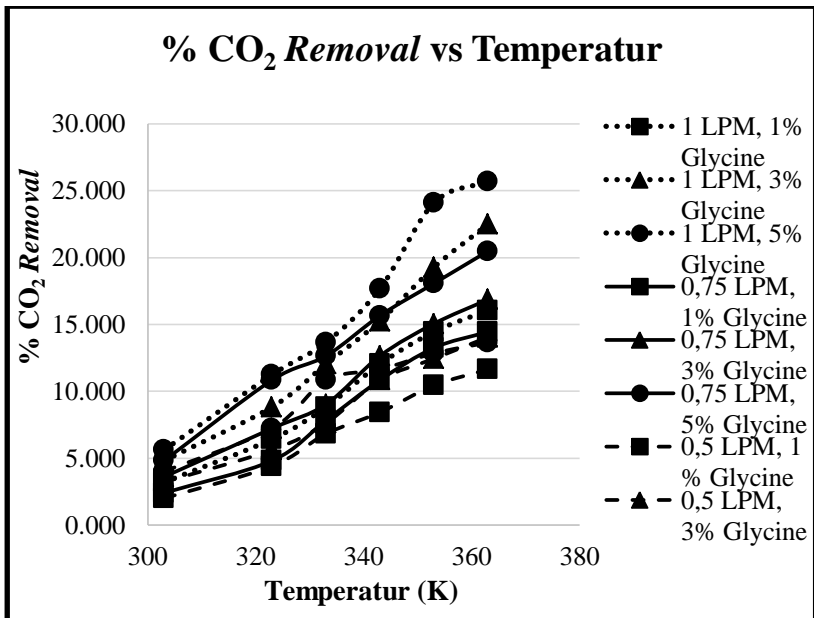
Pada penelitian ini menggunakan peralatan *packed column* dengan dimensi tinggi kolom 1,5 meter, diameter kolom 0,05 m, dan jenis *packing* yaitu *rasching ring* dengan ketinggian 1 meter serta diameter 0,005 m yang dipasang secara acak. Larutan absorben yang dipakai yaitu 30 % berat K_2CO_3 , karena K_2CO_3 dengan berat 30% merupakan nilai yang sesuai dan baik untuk aplikasi penyerapan CO_2 (Nielson dan Kohl, 1997). Namun, perpindahan massa K_2CO_3 berjalan lambat dalam fase cair sehingga perlu penambahan *glycine* sebagai promotor yang berfungsi untuk mempercepat reaksi absorpsi gas dalam larutan K_2CO_3 .

Konsentrasi *glycine* yang digunakan yaitu 1%, 3%, dan 5 % berat dengan temperatur absorben yaitu 303, 323, 333, 343, 353, dan 363 K. pemilihan variabel temperatur berdasarkan kinerja absorpsi dari larutan K_2CO_3 yang menyatakan bahwa proses absorpsi diatas temperatur 343 K dapat meningkatkan kecepatan transfer massa (Tan dkk., 2012). Sedangkan, laju absorben yang dipakai yaitu 0,5; 0,75; dan 1 liter per menit (LPM), jika diatas 1 liter per menit akan terjadi *flooding* dan laju alir gas dibuat konstan yaitu 40 liter/menit dengan tekanan gas 1 atm. Pada penelitian ini menggunakan gas sintetis sebagai pengganti biogas dimana komposisi gas sintetis disesuaikan dengan kadar yang secara umum ada pada biogas yaitu menggunakan campuran gas CO_2 40 % dan Nitrogen (N_2) 60%, dipilih N_2 karena sifat N_2 inert yaitu tidak ikut bereaksi.

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh data % CO₂ removal dan pada temperatur absorben 303; 323; 333; 343; 353; dan 363 K, laju alir absorben 0,5; 0,75; dan 1 LPM dengan konsentrasi promotor 1 %, 3 %, dan 5% berat. Data % CO₂ removal keseluruhan disajikan pada **Tabel IV.1** dan kurva % CO₂ removal dapat dilihat pada **Gambar IV.1**.

Tabel IV.1 % CO₂ Removal pada berbagai Variabel

Konsentrasi <i>Glycine</i> (%)	Temperatur (K)	Laju Alir		
		0,5 LPM	0,75 LPM	1 LPM
1	303	2,007	2,408	3,211
	323	4,415	4,816	6,422
	333	6,823	7,826	8,830
	343	8,428	10,836	12,040
	353	10,435	13,244	14,449
	363	11,639	14,449	16,054
3	303	3,211	3,612	4,816
	323	5,619	7,224	8,830
	333	7,626	9,030	12,040
	343	10,836	12,642	15,251
	353	12,442	15,051	19,265
	363	14,047	16,857	22,476
5	303	4,013	4,816	5,619
	323	7,224	10,836	11,238
	333	10,836	12,642	13,646
	343	11,639	15,653	17,659
	353	12,843	18,061	24,081
	363	13,646	20,469	25,686



Gambar IV.1 Kurva Hubungan antara Temperatur vs % CO_2 Removal pada larutan K_2CO_3 30% berat dan Promotor Glycine 1%; 3% dan 5% berat serta Laju Alir Absorben (0,5 ; 0,75 ; 1 LPM)

IV.1 Pengaruh Kenaikan Temperatur pada % CO_2 Removal

Pada **Gambar IV.1** menunjukkan hubungan antara temperatur terhadap % CO_2 removal. Dapat dilihat dalam **Gambar IV.1**, pada temperatur (303; 323; 333; 343; 353; 363 K) dengan laju alir absorben 0,5 LPM dan konsentrasi promotor 1% berat diperoleh persen CO_2 removal secara berturut-turut sebesar (2,007 %; 4,415 %; 6,823 %; 8,428%; 10,435 % dan 11,639%). Sehingga pada kondisi laju alir dan konsentrasi promotor yang sama secara keseluruhan menunjukkan bahwa kenaikan temperatur berbanding lurus terhadap % CO_2 removal yang dihasilkan. Secara umum, temperatur merupakan parameter

penting yang mempengaruhi kinetika reaksi. Untuk kinetika penyerapan CO₂, laju konstanta reaksi didasarkan pada persamaan Arrhenius :

$$k = A_e^{-E_a/RT}$$

Hal ini menunjukkan bahwa konstanta laju reaksi dipengaruhi oleh temperatur dan kenaikan temperatur menyebabkan konstanta laju reaksi yang lebih besar. Telah ditunjukkan dalam penelitian sebelumnya bahwa temperatur yang lebih tinggi berkontribusi pada efisiensi transfer massa yang lebih tinggi sehingga menyebabkan peningkatan penyerapan CO₂ (Tan dkk., 2012). Dapat dilihat pada **Gambar IV.1** semakin tinggi temperatur maka % CO₂ removal juga semakin meningkat. Dalam proses absorpsi, peningkatan temperatur akan berpengaruh terhadap laju reaksi K₂CO₃, laju reaksi *glycine*, faktor kelarutan gas, diffusifitas gas serta diffusifitas *liquid*. Semakin tinggi temperatur maka dapat meningkatkan jumlah gas CO₂ yang bereaksi dengan absorben dapat mengakibatkan % CO₂ removal meningkat. Peningkatan temperatur juga berpengaruh terhadap *overall volumetrik* koefisien transfer massa (KGav). Dari penelitian yang dilakukan oleh Wenxia (2017), bahwa nilai KGav meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur. Berdasarkan atas teori dua film, diketahui bahwa faktor yang mempengaruhi dari KGav adalah koefisien transfer massa fase *liquid* pada K₂CO₃ berpromotor *glycine*, koefisien transfer massa fase gas (k_g), koefisien Henry (H), enhancement faktor reaksi kimia (E) dan efektifitas area transfer massa (a_v) (Fu dkk., 2012). Sehingga dengan meningkatkan temperatur dapat secara signifikan berkontribusi dalam meningkatkan koefisien transfer massa fase *liquid*, H dan E serta menurunkan viskositas larutan. Dari **Gambar IV.1** menunjukkan bahwa % CO₂ removal semakin meningkat dari temperatur 303 hingga 363 K. Sehingga penulis menduga bahwa kenaikan temperatur pada lebih dominan dipengaruhi oleh reaksi absorpsi pada K₂CO₃ berpromotor *glycine*.

IV.2 Pengaruh Laju Alir pada % CO₂ Removal

Hubungan laju alir absorben pada larutan K₂CO₃ berpromotor *glycine* terhadap % CO₂ removal dapat dilihat pada **Gambar IV.1**, dari gambar tersebut menunjukkan bahwa hasil absorpsi CO₂ pada larutan K₂CO₃ 30% berat berpromotor *glycine* 1% berat pada temperatur 363 K dengan laju alir terendah (0,5 LPM) mempunyai nilai % CO₂ removal sebesar 11,639% sedangkan pada kondisi yang sama pada laju alir absorben tertinggi (1 LPM) mempunyai nilai % CO₂ removal sebesar 16,054%. Jika dibandingkan dengan hasil absorpsi larutan K₂CO₃ 30% berpromotor *glycine* 5% berat dengan temperatur 363 K pada laju alir terendah (0,5 LPM) mempunyai nilai % CO₂ removal sebesar 13,646 %, sedangkan pada kondisi yang sama pada laju alir absorben tertinggi (1 LPM) mempunyai nilai % CO₂ removal sebesar 25,686%. Kenaikan dari laju alir pada larutan absorben akan menyebabkan semakin besar kemampuan K₂CO₃ untuk menyerap lebih banyak molekul CO₂ yang akan mengakibatkan kinerja transfer massa lebih besar. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Kasikamphaiboon (2012), bahwa semakin besar laju alir absorben maka semakin besar % CO₂ removal. Kenaikan laju alir *liquid* menyebabkan penyebaran *liquid* pada permukaan *packing* dan pembentukan *area interfacial* lebih efektif antara *liquid* dan gas dalam *packing* untuk meningkatkan transfer massa overall. Begitu juga pada penelitian sebelumnya dilakukan oleh Altway dkk., (2008) yang menunjukkan bahwa semakin besar laju alir absorben maka semakin besar pula % CO₂ removal yang dihasilkan. Menaikkan laju absorben juga dapat menaikkan koefisien transfer massa sisi *liquid* atau menurunkan tahanan transfer massa sisi *liquid* akibat kenaikan turbulensi aliran *liquid*. Menaikkan laju alir absorben juga dapat menurunkan konsentrasi dari badan *liquid* dan dapat memperbesar *driving force* untuk transfer massa. Kedua dampak tersebut dapat memperbesar laju transfer massa sehingga

memperbesar kandungan CO₂ yang terserap kedalam absorben. (Altway dkk., 2008).

IV.3 Pengaruh Konsentrasi Promotor pada % CO₂ Removal

Penambahan promotor pada larutan absorben K₂CO₃ dapat mempengaruhi persen CO₂ removal. Dapat dilihat pada **Gambar IV.1**, dimana dari gambar tersebut menunjukkan bahwa pada laju alir 1 LPM dengan konsentrasi promotor sebesar 1%; 3%; dan 5% berat mempunyai nilai % CO₂ removal secara berturut-turut sebesar 19,746 %; 22,476%; dan 25,686%. Larutan K₂CO₃ dengan promotor *glycine* pada laju alir yang sama dari konsentrasi 1%; 3%, 5 % berat secara berturut-turut mengalami peningkatan. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Altway dkk., (2016) yang menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi promotor *glycine* maka semakin besar pula kecepatan absorpsi CO₂ sehingga % CO₂ removal semakin besar. Proses absorpsi dipengaruhi oleh transfer massa (difusi) serta fenomena reaksi kimia. Pada konsentrasi promotor yang lebih rendah, maka pengaruh dari reaksi kimia lebih berpengaruh dibandingkan dengan difusi, sedangkan untuk promotor dengan konsentrasi lebih tinggi, maka pengaruh difusi lebih signifikan, sehingga menaikkan konsentrasi promotor dapat meningkatkan kecepatan absorpsi.

IV.4 Perbandingan K₂CO₃ tanpa Promotor dengan K₂CO₃ Menggunakan Promotor *Glycine*

Hasil analisa titrasi pada K₂CO₃ tanpa promotor dan K₂CO₃ menggunakan promotor *Glycine* pada laju alir 1 LPM dan temperatur absorben 363 K dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel IV.2 Perbandingan Hasil Analisa Titrasi tanpa Promotor dengan Menggunakan Promotor

Variabel	% CO ₂ Removal			
	Tanpa Promotor	Promotor <i>Glycine</i> 1%	Promotor <i>Glycine</i> 3%	Promotor <i>Glycine</i> 5%
Laju Alir Absorben 1 LPM dan Temperatur 363 K	12,040 %	16,054 %	22,476 %	25,686 %

Hasil penelitian pada absorpsi CO₂ menggunakan absorben K₂CO₃ tanpa promotor pada laju alir 1 LPM dan temperatur 363 K diperoleh % CO₂ removal sebesar 12,040 %. Jika dibandingkan dengan kondisi yang sama pada K₂CO₃ berpromotor *glycine* 1%, 3% dan 5% secara berturut-turut mempunyai % CO₂ removal sebesar 16,054 %, 22,476 % dan 25,686 %. Dari hasil tersebut menunjukkan terjadi peningkatan % CO₂ removal secara berturut-turut sebesar 4,014 %, 6,422% dan 13,646 %. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Smith (2015), yang menunjukkan bahwa hasil absorpsi CO₂ menggunakan promotor mempunyai nilai % CO₂ removal yang lebih besar dibandingkan absorben tanpa promotor. Berdasarkan persamaan 3.8, menunjukkan bahwa % CO₂ removal berbanding lurus terhadap mol CO₂ yang terserap, sehingga semakin besar mol CO₂ yang terserap kedalam larutan K₂CO₃ maka % CO₂ removal semakin meningkat.

IV.5 Perbandingan Hasil Analisa Titrasi dengan Analisa Gas *Chromatography* (GC)

Hasil analisa titrasi dan analisa GC dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel IV.3 Perbandingan Hasil Analisa Titrasi dengan Analisa GC

Variabel	% CO ₂ Removal	
	Hasil Analisa Titrasi	Hasil Analisa GC
5% <i>Glycine</i> , 363K, 1 LPM	25,686 %	28,528 %
3% <i>Glycine</i> , 363K, 1 LPM	22,476 %	21,187 %

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisa GC untuk Gas inlet sebelum proses absorpsi mempunyai kandungan gas CO₂ sebesar 39,25 %. Sedangkan komposisi gas yang diperoleh dari PT. Samator tertulis sebesar 40% + N₂ *inert*. Sehingga perbedaan hasil dari analisa GC dengan komposisi gas CO₂ yang berasal dari PT. Samator sebesar 1,911 %. Penyebab komposisi gas antara hasil analisa GC dengan komposisi gas dari PT. Samator kemungkinan dikarenakan terjadi kesalahan pada saat proses penginjeksian gas CO₂ + N₂ *inert* kedalam tabung dan kurang teliti saat pengambilan sampel gas sebelum uji analisa GC. Kemudian, perbandingan hasil analisa titrasi dengan analisa GC disajikan pada **Tabel IV.3**, dimana untuk variabel 5% dan 3% berat pada kondisi temperatur dan kecepatan laju alir yang sama mempunyai perbedaan hasil analisa dibawah <10%. Perbedaan hasil analisa antara analisa GC dengan analisa titrasi kemungkinan disebabkan karena adanya *human error*, kurang teliti pada saat pengambilan sampel gas, adanya kesalahan pada pengoperasian alat GC, ataupun ketidak tepatan saat penentuan titik akhir titrasi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian absorpsi karbon dioksida (CO_2) dari biogas menggunakan larutan *pottasium carbonate* (K_2CO_3) berpromotor *glycine* menggunakan peralatan *packed column* dengan konsentrasi K_2CO_3 sebesar 30% berat dan *glycine* 1, 3 dan 5 % berat, pada temperatur absorben 300, 323, 333, 343, 353, 363 K, dapat disimpulkan bahwa :

1. Efisiensi absorpsi CO_2 dipengaruhi oleh :
 - Peningkatan temperatur absorben dapat meningkatkan efisiensi absorpsi CO_2 , semakin tinggi temperatur absorben masuk maka % CO_2 *removal* semakin meningkat.
 - Perubahan konsentrasi promotor dapat berpengaruh pada efisiensi absorpsi CO_2 , semakin tinggi konsentrasi promotor maka % CO_2 *removal* semakin meningkat.
 - Peningkatan laju alir absorben dapat meningkatkan efisiensi absorpsi CO_2 , semakin tinggi laju alir absorben maka % CO_2 *removal* semakin meningkat.
2. Dari hasil eksperimen didapatkan nilai % CO_2 *removal* sebagai berikut :
 - Pada konsentrasi 1 % berat *Glycine*, laju alir 1 LPM, dan temperatur 363 K didapatkan nilai % CO_2 *removal* sebesar 16,054 %.
 - Pada konsentrasi 3 % berat *Glycine*, laju alir 1 LPM, dan temperatur 363 K didapatkan nilai % CO_2 *removal* sebesar 22,476 %.
 - Pada konsentrasi 5 % berat *Glycine*, laju alir 1 LPM, dan temperatur 363 K didapatkan nilai % CO_2 *removal* sebesar 25,686 %.
3. Dari hasil analisa titrasi dengan variabel konsentrasi *glycine* 3 dan 5 % berat dengan laju alir 1 LPM dan temperatur 363 K

yang dibandingkan dengan analisa gas *chromatography* (GC) diperoleh hasil sebagai berikut :

- Pada konsentrasi promotor 5 % berat didapatkan % CO₂ *removal* dengan analisa titrasi sebesar 25,686 % sedangkan hasil analisa GC sebesar 28,528 %.
- Pada konsentrasi promotor 3 % berat didapatkan % CO₂ *removal* dengan analisa titrasi sebesar 22,476 % sedangkan hasil analisa GC sebesar 21,187 %.

V.2 Saran

1. Untuk penelitian dengan temperatur tinggi perlu memperhatikan pemilihan jenis material yang digunakan pada alat percobaan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada alat.

DAFTAR PUSTAKA

- Aronu, U.E, dkk. 2011. *Kinetics of carbon dioxide absorption into aqueous amino acid salt: pottasium salt of sarcosine solution*. Industrial & Engineering Chemical Research. 50 (18), 10465-10475.
- Altway, A., Kusnaryo dan Wijaya, P.R. 2008. *Analisa Transfer Massa disertai Reaksi Kimia pada Absorpsi CO₂ dengan Larutan Potasium Karbonat dalam Packed Column*. Jurnal Teknik Kimia. 2(2),119-126.
- Altway, A., Elhosane,Y dan Susianto. 2016. *Kinetic Study of Carbon Absorption into Glycine Promoted Methyl di Ethanolamine(MDEA)*. International Journal of Technology and Engineering Studies. 2(2), 47-52.
- Astarita, G., Savage, D., dan Joshi, S. 1980. *Chemical Absorption and Desorption of Carbon Dioxide from Hot Carbonate solutions*. Chemical Engineering Science. 1513-1522.
- Baker, R.W dan Lokhandwala K. 2008. *Natural gas processing with membranes : An overview Ind*. Industrial & Engineering Chemistry Research. 47(7),2109-2121.
- Benamor, A., Brahim, A dan Aroua, M.K. 2008. *Kinetic of CO₂ absorption and carbamate formation in aqueous solutions of diethanolamine* Korean Journal of Chemical Engineering. 25(3),451-460.
- Benson, H.E dan Haynes, W.P. 1956. *Improved process for CO₂ absorption uses hot carbonate solutions*.Chemical engineering Progress.
- Boot-Handford, M. E. dkk. 2014. *Carbon capture and storage update*. *Energy Environ. Sci.* 7(1), 130–189.
- Chen, X, dkk. 2016. *Energy-efficient biogas reforming process to produce syngas: The enhanced methane conversion by O₂*. Applied Energy. Elsevier Ltd. 185, 687–697.
- Danckwertz. 1970. *Gas Liquid Reaction*. McGraw Hill Book Company.

- Danckwertz. 1972. *Solubility and Diffusivity of Nitros Oxide in Equimolar Pottasium Carbonate-Pottasium Bicarbonate Solution at 25C and 1 atm.* 17.
- Devries, N. P. 2014. *CO₂ Absorption into Concentrated Carbonate Solutions with Promoters at Elevated Temperatures* . Urbana : University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Elhosane, Y., dan Atway, A. 2016. *Key Knowledge Generation Kinetic Study of Carbon Dioxide Absorption into Glycine Promoted Methyl di Ethanolamine (Mdea).* International Journal of Technology and Engoneering Studies. 2 (2), 47–52.
- Fu, dkk. 2012. Investigation of Mass-transfer Performance for CO₂ Absorption into Diethylenetriamine (DETA) in a Randomly Packed Column. *Ind,Eng,Chem,Res.* 5, 12058-12064.
- Goldberg, R. N., Kishore, N. dan Lennen, R. M. 2002. *Thermodynamic quantities for the ionization reaction of buffers.* Journal of Physical and Chemical Reference Data. 31(2), 231–370.
- Guo, D. dkk. 2013. *Amino acids as carbon capture solvents: Chemical kinetics and mechanism of the glycine + CO₂ reaction.* Energy and Fuels. 27 (7), 3898–3904.
- Hamborg, E. S., Niederer, J. P. M. dan Versteeg, G. F. 2007. *Dissociation Constants and Thermodynamic Properties of Amino Acids Used in CO₂ Absorption from (293 to 353) K.* Journal of Chemical Engineering Data. 52 (II), 2491–2502.
- Holst, J. van, dkk. 2009. *Kinetic study of CO₂ with various amino acid salts in aqueous solution.* Chemical Engineering Science. 64 (1), 59–68.
- Huertas, J. I., Giraldo, N. dan Izquierdo, S. 2011. *Removal of H₂S and CO₂ from Biogas by Amine Absorption.* Mass Transfer in Chemical Engineering Processes, 307.
- Hussein, M. 2015. *Effect of Different Organic Promoters on*

- Carbon Dioxide Absorption by Potassium Carbonate.* Int.j.eng,sci.4 (2), 6–12.
- Kasikamphaiboon, P. dkk. 2013. *Simultaneous removal of CO₂ and H₂S using MEA solution in a packed column absorber for biogas upgrading.* Songklanakarinn Journal of Science and Technology. Elsevier Ltd. 35 (6), 683–691.
- Kenarsari, S. D. dkk. 2013. *Review of recent advances in carbon dioxide separation and capture.* RSC Advances. 3 (45), 22739.
- Kothandarman, dkk. 2009. Comparison of Solvent for post-combustion Ccapture of CO₂ by Chemical Absorption. Energy Procedia. 1(1), 1372-1380.
- Marks, D., Marks, A., dan Smith, C. 1996. *Biokimia Kedokteran Dasar.* EGC.
- Nielson dan Kohl. 1997. Gas Purification 5 th ed. Hoouston TX : Gulf Publishing Company
- Park, S, dkk. 2014. *Screening test for aqueous solvents used in CO₂ capture: K₂CO₃ used with twelve different rate promoters.* Korean Journal of Chemical Engineering.31(1), 125–131.
- Rafiqi, A., dan Junaidi, A. 2011. *Asam amino : gerak dan perubahan.* Sumenep: Universitas Wiraraja.
- Rutledge, B. 2005. *California biogas industry assessment white.* Pasadena California: WestStart-Calstart.
- Ryckebosch, E., Drouillon, M. dan Vervaeren, H. 2011. *Techniques for transformation of biogas to biomethane.* Biomass and Bioenergy. Elsevier Ltd. 35 (5), 1633–1645.
- Shen, S, dkk. 2013. *Kinetic study of carbon dioxide absorption with aqueous potassium carbonate promoted by arginine.* Chemical Engineering Journal. 222, 478–487.
- Sinnott, R. 2005. *Chemical Engineering Design* (Vol. 6). Jordan Hill: Elsevier.
- Smith, K, dkk. 2015. Pilot Plant for Capturing CO₂ Using a

- Precipitating Potassium Carbonate Solvent. The University of Melbourne : Cooperative Research for Greenhouse Gas Technologies (CO₂CRRC).
- Suyitno, N. M., dan Dharmanto. 2010. *Teknologi Biogas Pembuatan Operasional dan Pemanfaatan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Tan, L. S, dkk. 2012. *Factors affecting CO₂ absorption efficiency in packed column: A review*. Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 18 (6), 1874–1883.
- Thee, H, dkk. 2014. *A kinetic study of CO₂ capture with potassium carbonate solutions promoted with various amino acids: Glycine, sarcosine and proline*. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. Elsevier Ltd. 20, 2120–2222.
- Treybal, R.E. 1981. *Mass-Transfer Operations THird edition*. Tokyo: Mc Graw-Hill International Book Company.
- Wenxia, dkk. 2017. *Influence of Particles on mass transfer Performance for CO₂ absorption using K₂CO₃ soution in a random θ -ring packed column*. *International Journal of Gas Control*. 81-86.
- Yousef, A. M. I, dkk. 2016. *Upgrading biogas by a low-temperature CO₂ removal technique*. *Alexandria Engineering Journal*. 55 (2), 1143–1150.

DAFTAR NOTASI

K_{Ga_v}	: Koefisien perpindahan massa volumetrik <i>overall</i> ($\text{mol/m}^3 \cdot \text{atm} \cdot \text{s}$)
K_G	: Koefisien perpindahan massa <i>overall</i> ($\text{mol/m}^2 \cdot \text{atm} \cdot \text{s}$)
k	: Kostanta laju reaksi ($\text{m}^3 \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)
E_a	: Energi Aktivasi (kJ/mol)
R	: Konstanta Ideal Gas ($8,314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$)
N	: Normalitas (N)
T	: Temperatur (K)
T_o	: Temperatur <i>Reference</i> (K)
P	: Tekanan (atm)
P_o	: Tekanan <i>Reference</i> (atm)

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

APENDIKS A

A.1 Menentukan Keadaan *Steady State*

Keadaan *steady state* merupakan kondisi dimana tidak ada perubahan pH dan tidak dipengaruhi oleh waktu. Berdasarkan penelitian didapatkan hubungan pH tiap waktunya seperti yang didapatkan sebagai berikut :

Tabel A. 1 Data pengukuran pH larutan setiap waktu

Waktu (menit)	pH
1	11,55
2	11,40
3	11,37
4	11,30
5	11,30
6	11,30

Berdasarkan **Tabel A.1**, diketahui bahwa kondisi *steady state* dicapai pada waktu $t = 5$ menit. Sehingga sampel yang dianalisa yaitu pada menit ke-5.

A.2 Analisa Data

Berikut adalah contoh perhitungan hasil eksperimen pada variabel konsentrasi *Glycine* (5% berat), laju alir pelarut 1 liter/menit, dan temperatur 363 K (90°C).

Analisa Awal Larutan :

Untuk menganalisa adanya kandungan karbonat mula-mula dalam larutan, dilakukan titrasi menggunakan asam klorida (HCl) dengan indikator *Phenolphthalein* (PP) sebagai berikut :

Volume sampel larutan = 20 mL
 Normalitas HCl = 0,2 N
 Volume HCl = 26,85 mL

Dari hasil titrasi dapat dihitung mol karbonat mula-mula dalam 20 mL sampel larutan yaitu :

$$\begin{aligned}
 [\text{CO}_3^{2-}]_{\text{mula-mula}} &= \frac{N_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}} (\text{PP}) \times \text{faktor pengenceran}}{V_{\text{sampel}} (\text{mL})} \\
 &= \frac{0,2 \text{ N} \times 26,85 \text{ mL} \times 10}{20 \text{ mL}} \\
 &= 2,685 \text{ mol/L}
 \end{aligned}$$

Analisa Akhir Larutan :

Untuk menganalisa adanya kandungan karbonat akhir dalam larutan, dilakukan titrasi menggunakan asam klorida (HCl) dengan indikator *Phenolphthalein* (PP) sebagai berikut :

Volume sampel larutan = 20 mL
 Normalitas HCl = 0,2 N
 Volume HCl = 25,25 mL

Dari hasil titrasi dapat dihitung mol karbonat akhir dalam 20 mL sampel larutan yaitu :

$$\begin{aligned}
 [\text{CO}_3^{2-}]_{\text{akhir}} &= \frac{N_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}} (\text{PP}) \times \text{faktor pengenceran}}{V_{\text{sampel}} (\text{mL})} \\
 &= \frac{0,2 \text{ N} \times 25,5 \text{ mL} \times 10}{20 \text{ mL}} \\
 &= 2,525 \text{ mol/L}
 \end{aligned}$$

A.3 Evaluasi Data

Berikut adalah contoh perhitungan hasil eksperimen pada variabel konsentrasi *Glycine* (5% berat), laju alir pelarut 1 liter/menit, dan temperature 363 K (90 °C).

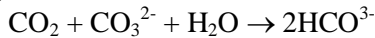
Menghitung Nilai Karbonat yang Berreaksi :

Untuk mengetahui nilai karbonat yang bereaksi terlebih dahulu menghitung nilai mol karbonat masuk dan mol karbonat keluar tiap menit dalam tiap laju alir sebagai berikut :

- Mol Karbonat Masuk = $[\text{CO}_3^{2-}]_{\text{mula-mula}} \times \text{Laju Alir Liquid}$
= 2,685 mol/L x 1 liter/menit
= 2,685 mol/menit
- Mol Karbonat Keluar = $[\text{CO}_3^{2-}]_{\text{akhir}} \times \text{Laju Alir Liquid}$
= 2,525 mol/L x 1 liter/menit
= 2,525 mol/menit
- Mol Karbonat Berreaksi = Mol Karbonat Masuk - Mol Karbonat Keluar
= 2,685 - 2,525
= 0,160 mol/menit

Menghitung Mol Gas CO₂ Masuk dan CO₂ Keluar :

Reaksi CO₂ dengan karbonat :



Rate Gas = 40 liter/menit

Tekanan Gas = 1 kg/cm² ≈ 0,968 atm

Temperature Gas = 303,15 K

- Mol CO₂ masuk = Komposisi CO₂ x Rate Gas x $\frac{1}{22,4} \times \frac{P}{P_0} \times \frac{T_0}{T}$
= 40% x 40 $\frac{\text{liter}}{\text{menit}}$ x $\frac{1}{22,4} \frac{\text{mol}}{\text{liter}}$ x $\frac{0,968 \text{ atm}}{1 \text{ atm}}$ x $\frac{273,15 \text{ K}}{303,15 \text{ K}}$
= 0,623 mol/menit
- Mol CO₂ keluar = mol CO₂ masuk – mol karbonat berreaksi
= 0,623 - 0,160
= 0,463 mol/menit

Menghitung % CO₂ Removal :

$$\begin{aligned}\% \text{ CO}_2 \text{ Removal} &= \frac{\text{mol CO}_2 \text{ masuk} - \text{mol CO}_2 \text{ keluar}}{\text{mol CO}_2 \text{ masuk}} \times 100\% \\ &= \frac{0,623 - 0,463}{0,623} \times 100\% \\ &= 25,686 \%\end{aligned}$$

Menghitung % CO₂ Removal dari Hasil Analisa Gas Chromotography (GC) :

Dari hasil analisa GC diperoleh nilai sebagai berikut :

- Kandungan Gas CO₂ Sintetis = 39,25 %
- Kandungan Gas CO₂ hasil Absorpsi = 31,59 %

$$\% \text{ CO}_2 \text{ Removal} = \frac{Y_{\text{Ain}} - Y_{\text{Aout}}}{Y_{\text{Ain}}} \times 100$$

$$\begin{aligned}Y_{\text{Ain}} &= \frac{y_{\text{Ain}}}{1 - y_{\text{Ain}}} = \frac{0,3925}{1 - 0,3925} \\ &= 0,646\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Y_{\text{Aout}} &= \frac{y_{\text{Aout}}}{1 - y_{\text{Aout}}} = \frac{0,3159}{1 - 0,3159} \\ &= 0,462\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ CO}_2 \text{ Removal} &= \frac{0,646 - 0,462}{0,646} \times 100 \\ &= 28,528 \%\end{aligned}$$

Menghitung % Error antara Hasil Titration dengan Hasil GC :

Hasil Titration = 25,686 %

Hasil GC = 28,528 %

$$\begin{aligned} \% \text{ Error} &= \frac{0,28528 - 0,25686}{0,2858} \times 100 \\ &= 9,961 \% \end{aligned}$$

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

APENDIKS B

B.1 Hasil Analisa Menggunakan Titrasi

Tabel B.1 Data Perhitungan $[\text{CO}_3^{2-}]$ dengan Promotor *Glycine* pada Konsentrasi 1% Berat (dengan titran HCl 0,2 N)

Laju Alir (LPM)	Suhu (K)	Larutan Blangko		Larutan Sampel	
		VHCl (PP)	$[\text{CO}_3^{2-}]_{\text{awal}}$	VHCl (PP)	$[\text{CO}_3^{2-}]_{\text{akhir}}$
0,5	303	25,850	2,585	25,600	2,560
	323	26,350	2,635	25,800	2,580
	333	26,650	2,665	25,800	2,580
	343	26,500	2,650	25,450	2,545
	353	26,550	2,655	25,250	2,525
	363	26,850	2,685	25,400	2,540
0,75	303	25,050	2,505	24,850	2,485
	323	25,450	2,545	25,050	2,505
	333	26,100	2,610	25,450	2,545
	343	26,100	2,610	25,200	2,520
	353	26,250	2,625	25,150	2,515
	363	26,550	2,655	25,350	2,535
1	303	26,250	2,625	26,050	2,605
	323	26,350	2,635	25,950	2,595
	333	26,550	2,655	26,000	2,600
	343	26,450	2,645	25,700	2,570
	353	26,650	2,665	25,750	2,575
	363	26,350	2,635	25,350	2,535

Tabel B.2 Data Perhitungan $[\text{CO}_3^{2-}]$ dengan Promotor *Glycine* pada Konsentrasi 3% Berat (dengan titran HCl 0,2 N)

Laju Alir (LPM)	Suhu (K)	Lautan Blangko		Larutan Sampel	
		VHCl (PP)	$[\text{CO}_3^{2-}]_{\text{awal}}$	VHCl (PP)	$[\text{CO}_3^{2-}]_{\text{akhir}}$
0,5	303	26,350	2,635	25,950	2,595
	323	26,400	2,640	25,700	2,570
	333	26,450	2,645	25,500	2,550
	343	26,450	2,645	25,100	2,510
	353	26,400	2,640	24,850	2,485
	363	26,850	2,685	25,100	2,510
0,75	303	26,250	2,625	25,950	2,595
	323	26,450	2,645	25,850	2,585
	333	26,250	2,625	25,500	2,550
	343	26,200	2,620	25,150	2,515
	353	26,550	2,655	25,300	2,530
	363	26,250	2,625	24,850	2,485
1	303	26,000	2,600	25,700	2,570
	323	26,400	2,640	25,850	2,585
	333	26,900	2,690	26,150	2,615
	343	26,600	2,660	25,650	2,565
	353	26,500	2,650	25,300	2,530
	363	26,200	2,620	24,800	2,480

Tabel B.3 Data Perhitungan $[\text{CO}_3^{2-}]$ dengan Promotor *Glycine* pada Konsentrasi 5% Berat (dengan titran HCl 0,2 N)

Laju Alir (LPM)	Suhu (K)	Lautan Blangko		Larutan Sampel	
		VHCl (PP)	$[\text{CO}_3^{2-}]_{\text{awal}}$	VHCl (PP)	$[\text{CO}_3^{2-}]_{\text{akhir}}$
0,5	303	26,300	2,630	25,800	2,580
	323	26,850	2,685	25,950	2,595
	333	26,800	2,680	25,450	2,545
	343	26,750	2,675	25,300	2,530
	353	26,850	2,685	25,250	2,525
	363	26,150	2,615	24,450	2,445
0,75	303	27,050	2,705	26,650	2,665
	323	26,600	2,660	25,700	2,570
	333	26,400	2,640	25,350	2,535
	343	26,750	2,675	25,450	2,545
	353	26,850	2,685	25,350	2,535
	363	26,050	2,605	24,350	2,435
1	303	26,550	2,655	26,200	2,620
	323	26,800	2,680	26,100	2,610
	333	26,500	2,650	25,650	2,565
	343	26,650	2,665	25,550	2,555
	353	26,750	2,675	25,250	2,525
	363	26,850	2,685	25,250	2,525

B.2 Hasil Perhitungan % CO₂ Removal

Tabel B.4 Data Perhitungan % CO₂ Removal dengan Promotor *Glycine* pada Konsentrasi 1 % Berat

Laju Alir (LPM)	Suhu (K)	Mol Karbonat Masuk (mol/menit)	Mol Karbonat Keluar (mol/menit)	Mol Karbonat Berreaksi (mol/menit)	Mol CO ₂ Masuk (mol/menit)	Mol CO ₂ Keluar (mol/menit)	% CO ₂ Removal
0,5	303	1,293	1,280	0,013	0,623	0,610	2,007
	323	1,318	1,290	0,028		0,595	4,415
	333	1,333	1,290	0,043		0,580	6,823
	343	1,325	1,273	0,053		0,570	8,428
	353	1,328	1,263	0,065		0,558	10,435
	363	1,343	1,270	0,073		0,550	11,639
0,75	303	1,879	1,864	0,015	0,623	0,608	2,408
	323	1,909	1,879	0,030		0,593	4,816
	333	1,958	1,909	0,049		0,574	7,826
	343	1,958	1,890	0,067		0,555	10,836
	353	1,969	1,886	0,083		0,540	13,244
	363	1,991	1,901	0,090		0,533	14,449

1	303	2,625	2,605	0,020	0,623	0,603	3,211
	323	2,635	2,595	0,040		0,583	6,422
	333	2,655	2,600	0,055		0,568	8,830
	343	2,645	2,570	0,075		0,548	12,040
	353	2,666	2,575	0,090		0,533	14,449
	363	2,635	2,535	0,100		0,523	16,054

Tabel B.5 Data Perhitungan % CO₂ Removal dengan Promotor *Glycine* pada Konsentrasi 3% Berat

Laju Alir (LPM)	Suhu (K)	Mol Karbonat Masuk (mol/menit)	Mol Karbonat Keluar (mol/menit)	Mol Karbonat Berreaksi (mol/menit)	Mol CO₂ Masuk (mol/menit)	Mol CO₂ Keluar (mol/menit)	% CO₂ Removal
0,5	303	1,318	1,298	0,020	0,623	0,603	3,211
	323	1,320	1,285	0,035		0,588	5,619
	333	1,323	1,275	0,047		0,575	7,626
	343	1,323	1,255	0,067		0,555	10,836
	353	1,320	1,243	0,077		0,545	12,442
	363	1,343	1,255	0,088		0,535	14,047

0,75	303	1,969	1,946	0,023	0,623	0,600	3,612
	323	1,984	1,939	0,045		0,578	7,224
	333	1,969	1,913	0,056		0,567	9,030
	343	1,965	1,886	0,079		0,544	12,642
	353	1,991	1,898	0,094		0,529	15,051
	363	1,969	1,864	0,105		0,518	16,857
1	303	2,600	2,570	0,030	0,623	0,593	4,816
	323	2,640	2,585	0,055		0,568	8,830
	333	2,690	2,615	0,075		0,548	1,040
	343	2,660	2,565	0,095		0,528	15,251
	353	2,650	2,530	0,120		0,503	19,265
	363	2,620	2,480	0,140		0,483	22,476

Tabel B.6 Data Perhitungan % CO₂ Removal dengan Promotor *Glycine* pada Konsentrasi 5% Berat

Laju Alir (LPM)	Suhu (K)	Mol Karbonat Masuk (mol/menit)	Mol Karbonat Keluar (mol/menit)	Mol Karbonat Berreaksi (mol/menit)	Mol CO₂ Masuk (mol/menit)	Mol CO₂ Keluar (mol/menit)	% CO₂ Removal
0,5	303	1,315	1,290	0,025	0,623	0,598	4,013
	323	1,343	1,298	0,045		0,578	7,224
	333	1,340	1,273	0,067		0,555	10,836
	343	1,338	1,265	0,073		0,550	11,639
	353	1,343	1,263	0,080		0,543	12,843
	363	1,308	1,223	0,085		0,538	13,646
0,75	303	2,029	1,999	0,030	0,623	0,593	4,816
	323	1,995	1,928	0,067		0,555	10,836
	333	1,980	1,901	0,079		0,544	12,646
	343	2,006	1,909	0,098		0,525	15,653
	353	2,014	1,901	0,113		0,510	18,061
	363	1,954	1,826	0,128		0,495	20,469

1	303	2,655	2,620	0,035	0,623	0,588	5,619
	323	2,680	2,610	0,070		0,553	11,238
	333	2,650	2,565	0,085		0,538	13,646
	343	2,665	2,555	0,110		0,513	17,659
	353	2,675	2,525	0,150		0,473	24,081
	363	2,685	2,525	0,160		0,463	25,686



KEMENTERIAN KESEHATAN RI
BADAN PENGEMBANGAN DAN PEMBERDAYAAN
SUMBER DAYA MANUSIA KESEHATAN
POLITEKNIK KESEHATAN KEMENKES SURABAYA



Jl. Pucang Jajar Tengah No. 56 Surabaya - 60282
Telp. (031) 5027058 Fax. (031) 5028141

Website : www.poltekkesdepkes-sby.ac.id
Email : admin@poltekkesdepkes-sby.ac.id

Nomor : LB.05.03/V.42/499 / 2017

HASIL PEMERIKSAAN LABORATORIUM

No. 689/VI/KIMIA /2017

- | | |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1. Nama Pengambil Contoh | : Dini |
| 2. Jenis Contoh | : Gas CO ₂ |
| 3. Alamat / Asal Sampel | : ITS Surabaya |
| 4. Tanggal Pengambilan Contoh | : 24 - 27 Juni 2017 |
| 5. Jam Pengambilan Sampel | : 15.00 Wib |
| 6. Tanggal Pengiriman Contoh | : 24 - 27 Juni 2017 |
| 7. Parameter | : Kadar CO ₂ |

NO	Kode Sampel	Metode	Satuan	Hasil Pemeriksaan Gas CO ₂
1	Sampel awal	SNI 19.7117.10.2005	%	39,25
2	Sampel 5 %			31,59
3	Sampel 3 %			33,74

Surabaya 7 Juli 2017

Mengetahui



Perhatian : Hasil Pengujian ini hanya berlaku untuk Contoh diatas

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Sinta Nuclea adalah anak ketiga dari empat bersaudara. Lahir di kota Pati, 11 April 1995. Penulis menjalani dunia pendidikan formal di SDN 1 Ngetuk Gunungwungkal Pati tahun 2000-2006, SMP Negeri 1 Margoyoso tahun 2006-2009, SMA Negeri 1 Tayu tahun 2009-2012, Jenjang Diploma III (D-III) Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember tahun 2012-2015, dan melanjutkan ke jenjang Strata I (S-1) Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya tahun 2015-2017. Untuk riset tugas akhir, penulis memilih laboratorium Teknologi Biokimia, yang dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng dengan judul “Pemisahan Gas CO_2 pada Biogas Menggunakan K_2CO_3 Berpromotor *Glycine* dalam Reaktor *Packed Column*”. Penulis juga melakukan kerja praktek di PT. Petrokimia Gresik pada Departemen PPE (Proses Pengelolaan Energi) Pabrik I pada tahun 2016 dengan tugas khusus “Membandingkan data desain pada unit PCT (*Process Condensate Treatment*) dengan data hasil simulasi menggunakan program Aspen Plus V8.4”. Penulis dapat dihubungi melalui email sintanuclea57@gmail.com.

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Dwi Kurnia Hariandini adalah anak kedua dari tiga bersaudara. Lahir di kota Gresik, 14 November 1993. Penulis menjalani dunia pendidikan formal di SDN Petrokimia Gresik tahun 2000-2006, SMP Negeri 3 Gresik tahun 2006-2009, SMA Negeri 1 Kebomas tahun 2009-2012, Jenjang Diploma III (D-III) Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember tahun 2012-2015, dan melanjutkan ke jenjang Strata I (S-1) Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya tahun 2015-2017. Untuk riset tugas akhir, penulis memilih laboratorium Teknologi Biokimia, yang dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng dengan judul “Pemisahan Gas CO_2 pada Biogas Menggunakan K_2CO_3 Berpromotor *Glycine* dalam Reaktor *Packed Column*”. Penulis juga melakukan kerja praktek di PT. Petrokimia Gresik pada Departmen PPE (Proses Pengelolaan Energi) Pabrik I pada tahun 2016 dengan tugas khusus “Membandingkan data desain pada unit PCT (*Process Condensate Treatment*) dengan data hasil simulasi menggunakan program Aspen Plus V8.4”. Penulis dapat dihubungi melalui email dwi.kurnia14@gmail.com.