

TESIS - TK2541

**PENGARUH PENGGUNAAN TIPE *PACKING* DALAM
PEMISAHAN CO₂ MENGGUNAKAN K₂CO₃ BERPROMOTOR
DEA DENGAN METODE ABSORPSI REAKTIF DALAM
REAKTOR *PACKED COLUMN***

JUNETY MONDE
02211550012001

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng
Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.S.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNOLOGI PROSES
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**PENGARUH PENGGUNAAN TIPE *PACKING* DALAM PEMISAHAN CO₂
MENGUNAKAN K₂CO₃ BERPROMOTOR DEA DENGAN METODE
ABSORPSI REAKTIF DALAM REACTOR *PACKED COLUMN***

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Junety Monde

Nrp. 02211550010201

Tanggal Ujian : 4 Januari 2018

Periode Wisuda : Maret 2018

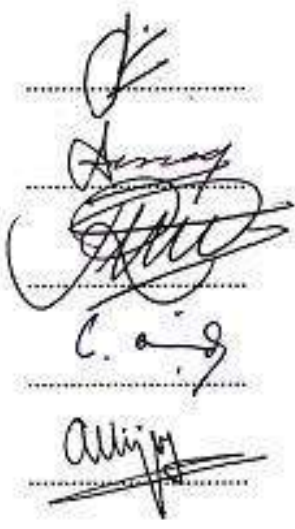
Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M. Eng (Pembimbing1)
NIP. 19611021 198603 1 001

Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.Sc. (Pembimbing 2)
NIP. 1951 08 04 1974 12 1001

Prof. Ir. Renanto, M.Sc. Ph. D (Penguji 1)
NIP. 1953 07 19 1978 03 1001

Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA (Penguji 2)
NIP. 1958 06 12 1984 03 1003

Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M. Eng (Penguji 3)
NIP. 1966 05 23 1991 02 1001





Dekan Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, ST., MT
NIP. 19690507 199512 1 001

**“PENGARUH PENGGUNAAN TIPE *PACKING* DALAM PEMISAHAN CO₂
MENGUNAKAN K₂CO₃ BERPROMOTOR DEA DENGAN METODE ABSORPSI
REAKTIF DALAM REACTOR *PACKED COLUMN*”**

Nama Mahasiswa : Junety Monde
NRP : 02211550012001
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng
Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.S.

ABSTRAK

Keberadaan CO₂ dalam gas dapat mengurangi nilai kalor. Berbagai teknologi pemisahan dilakukan untuk mengurangi kandungan CO₂ dan meningkatkan kualitas gas. Penyerapan kimia paling banyak digunakan karena menyediakan tingkat removal lebih tinggi. K₂CO₃ merupakan salah satu absorben yang umum digunakan dalam penyerapan kimia tetapi laju absorpsi lambat. Beberapa cara untuk meningkatkan penyerapan K₂CO₃ diantaranya dengan menambahkan promotor untuk mempercepat laju penyerapan dari K₂CO₃ atau dengan cara memperbaiki kualitas *packing* yang digunakan sehingga meningkatkan loading CO₂. Pada penelitian ini kedua cara tersebut akan digunakan dengan membandingkan pengaruh penggunaan jenis *packing raschig ring* dan *steel wool* yang disusun secara acak dan terstruktur dalam kolom dan menggunakan absorben K₂CO₃, promotor DEA dengan variabel temperatur (40⁰C-80⁰C), konsentrasi DEA (1-4) % dan laju alir absorben (0.5,0.75,1 LPM). Gas dan absorben dialirkan secara berlawanan dalam *packed* kolom, CO₂ yang terserap dianalisa dengan titrasi. Besarnya CO₂ yang terabsorpsi dinyatakan dalam CO₂ loading dan % removal CO₂. Tujuan dari penelitian ini adalah meningkatkan penyerapan dari K₂CO₃ dengan membandingkan pengaruh penggunaan jenis kemasan dan mengkaji variabel proses seperti suhu, laju alir absorben dan konsentrasi promotor pada absorpsi CO₂ dalam reaktor *packed* kolom sehingga meningkatkan penyerapan CO₂ dan menghasilkan produk gas yang bebas dari kandungan CO₂. Hasil penelitian ini menunjukkan CO₂ Loading dan % CO₂ Removal meningkat menjadi $0.0722 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$ dan 31.0728% dengan penggunaan *packing steel wool* jika dibandingkan dengan *raschig rings* CO₂ Loading $0.0656 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$ dan % Removal CO₂ 27.965% pada kondisi operasi yang sama yaitu 3% DEA, 0.75 LPM dan temperature 70⁰C.

Kata kunci: potasium karbonat; absorpsi reaktif; *packed* kolom; *packing raschig ring*; *steel wool*

“EFFECT OF USING PACKAGING TYPE ON CO₂ SEPARATION USING K₂CO₃ PROMOTER DEA WITH REACTIVE ABSORBSI METHOD IN REACTOR PACKED COLUMN”

Student Name : Junety Monde
NRP : 02211550012001
Advisor : Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng
Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.S.

ABSTRACT

The presence of CO₂ in the gas can reduce the heating value. Some separation technologies are carried out to reduce the content of CO₂ and improve the quality of gas. Chemical absorption is mostly used because it provides a higher rate of removal. K₂CO₃ is one of the most common absorbents in chemical absorption but with slow absorption rate. Several ways to increase K₂CO₃ absorption include adding a promoter to speed up the absorption rate of K₂CO₃ or by improving the quality of packing that is used to increase CO₂ loading. In this study, both of the methods will be used by comparing the effect of using raschig ring and steel wool that was arranged randomly and structured in column and using K₂CO₃ absorbent, DEA promoter with temperature variable (40⁰C-80⁰C), DEA concentration (1-4) % and absorbent flow rate (0.5.0.75,1 LPM). Gases and absorbents are flowed countercurrent in packed columns, absorbed CO₂ is analyzed by titration. The amount of absorbed CO₂ is expressed in CO₂ loading and CO₂ % removal. The purpose of this research is to increase the absorption of K₂CO₃ by comparing the effect of using packaging type and studying process variables such as temperature, absorbent flow rate and promoter concentration on CO₂ absorption in column packed reactor thus increasing CO₂ absorption and produce gas products that are free from CO₂ content. The results of this research showed CO₂ Loading and CO₂ % Removal increased to 0.0722 and 31.0728% with the use of packing steel wool when compared with raschig rings CO₂ Loading 0.0656 and% CO₂ Removal 27.965% under the same operating conditions that is 3% DEA, 0.75 LPM and temperature 70⁰C.

Keyword: potassium carbonate, packed column, reactive absorption and packing raschig ring; steel wool

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas Penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tesis dengan judul **“Pengaruh Penggunaan Tipe *Packing* Dalam Pemisahan CO₂ Menggunakan K₂CO₃ Berpromotor DEA Dengan Metode Absorpsi Reaktif Dalam Reaktor *Packed Column*”**.

Laporan tesis ini memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya (FTI – ITS). Pada kesempatan ini dengan kerendahan hati kami menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Yayasan Sekolah Tinggi Teknologi Minyak dan Gas Bumi Balikpapan sebagai pemberi beasiswa tugas belajar.
2. Bapak Juwari, S.T, M.Eng, Ph.D, selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.
3. Bapak Dr. Tantular Nurtono, S.T, M.Eng, Ph.D, selaku Ketua program pascasarjana Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng dan Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.S selaku Dosen Pembimbing tesis atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
5. Bapak Prof. Ir. Renanto, M.Sc. Ph. D, bapak Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA, dan bapak Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M. Eng atas semua saran yang telah diberikan.
6. Bapak dan Ibu Dosen pengajar serta seluruh staf Program Pascasarjana ITS atas dukungan administratif bagi kelancaran studi.
7. Seluruh teman-teman Laboratorium Teknologi Biokimia yang memberikan suasana kondusif dalam pengerjaan tesis.
8. Seluruh pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, yang turut membantu kami.

9. Kedua orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan segalanya yang tak mungkin tercantumkan dalam tulisan ini.

penulis menyadari bahwa laporan tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran dari para pembaca sangat diharapkan sebagai upaya peningkatan kualitas dari tesis ini dan Semoga laporan tesis ini bermanfaat bagi pengembangan energi terbarukan di masa yang akan datang.

Surabaya, Januari 2018

Junety Monde

DAFTAR ISI

	Halaman
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	v
Kata pengantar	ix
Daftar Isi.....	xi
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Tabel	xv
Daftar Notasi	xiv
Bab I Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
Bab II Tinjauan Pustaka	7
2.1. CO ₂	7
2.2. Metode Pemisahan CO ₂ dari gas	7
2.3. Potassium Karbonat (K ₂ CO ₃).....	14
2.4. Alkanolamine.....	15
2.5. Hasil Penelitian Sebelumnya	19
Bab III Metodologi Penelitian.....	25
3.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	25
3.2. Bahan dan Alat	25
3.3. Variabel Penelitian	25
3.4. Tahapan Metodologi Penelitian.....	26
3.4.1 Persiapan Absorban.....	26
3.4.2 Persiapan Titrasi.....	26
3.4.3 Eksperimen	26
3.4.4 Titrasi	27
3.5. Peralatan Penelitian.....	29
3.6. Pengujian Dengan Metode Titrasi.....	29
3.7. Pengolahan Data.....	30

Bab IV	31
% CO ₂ Removal dan CO ₂ Loading	32
4.1 Pengaruh konsentrasi DEA.....	32
4.2 pengaruh temperature absorben	34
4.3 pengaruh laju alir absorben	37
4.4 pengaruh tipe <i>packing</i>	41
Bab V kesimpulan	51
Kesimpulan	51
Daftar pustaka	53
Lampiran A	59
A.1 Perhitungan % removal CO ₂	61
A.2 Perhitungan CO ₂ Loading	62
A.2 Perhitungan Bulk Density.....	62
Lampiran B	64
Hasil Perhitungan Dengan Metode Analisa Tittrasi	64

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Skema absorpsi yang diikuti dengan difusi dan reaksi.....	9
Gambar 2.2. Struktur molekul amine primer monoethanol amine.....	16
Gambar 2.3 Struktur molekul amine sekunder diethanol amine	17
Gambar 2.4. Struktur molekul amine tersier methylethanol amine.....	17
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian pemisahan CO ₂	28
Gambar 3.2 Skema rangkaian alat pada unit pemisahan CO ₂	29
Gambar 4.1 Pengaruh konsentrasi dan temperatur terhadap CO ₂ Loading pada laju alir 0.5 LPM.....	33
Gambar 4.2 Pengaruh konsentrasi dan temperatur terhadap % Removal CO ₂ pada laju alir 0.5 LPM	33
Gambar 4.3 Pengaruh konsentrasi dan temperatur terhadap CO ₂ Loading pada laju alir 0.75 LPM	34
Gambar 4.4 Pengaruh konsentrasi dan temperatur terhadap % Removal CO ₂ pada laju alir 0.75 LPM	35
Gambar 4.5 Pengaruh konsentrasi dan temperatur terhadap CO ₂ Loading pada laju alir 1 LPM	35
Gambar 4.6 Pengaruh konsentrasi dan temperatur terhadap % Removal CO ₂ pada laju alir 1 LPM	36
Gambar 4.7 pengaruh Laju alir absorben terhadap CO ₂ Loading dengan menggunakan <i>packing raschig ring</i> pada konsentrasi DEA 1%	41
Gambar 4.8 pengaruh Laju alir absorben terhadap % Removal CO ₂ dengan menggunakan <i>packing raschig ring</i> pada konsentrasi DEA 1%	41
Gambar 4.9 pengaruh Laju alir absorben terhadap CO ₂ Loading dengan menggunakan <i>packing raschig ring</i> pada konsentrasi DEA 2%.....	41
Gambar 4.10 pengaruh Laju alir absorben terhadap % Removal CO ₂ dengan menggunakan <i>packing raschig ring</i> pada konsentrasi DEA 2%	42
Gambar 4.11 pengaruh Laju alir absorben terhadap CO ₂ Loading dengan menggunakan <i>packing raschig ring</i> pada konsentrasi DEA 3%.....	42
Gambar 4.12 pengaruh Laju alir absorben terhadap % Removal CO ₂ dengan menggunakan <i>packing raschig ring</i> pada konsentrasi DEA 3%	43

Gambar 4.13 pengaruh Laju alir absorben terhadap CO ₂ Loading dengan menggunakan <i>packing steel wool</i> pada konsentrasi DEA 3%.....	44
Gambar 4.14 pengaruh Laju alir absorben terhadap % Removal CO ₂ dengan menggunakan <i>packing steel wool</i> pada konsentrasi DEA 3%	44
Gambar 4.15 pengaruh Laju alir absorben terhadap CO ₂ Loading dengan menggunakan <i>packing raschig ring</i> pada konsentrasi DEA 4%	45
Gambar 4.16 pengaruh Laju alir absorben terhadap % Removal CO ₂ dengan menggunakan <i>packing raschig ring</i> pada konsentrasi DEA 4%	45
Gambar 4.17 pengaruh temperature dan tipe packing terhadap CO ₂ Loading DEA 3% dan laju alir 0.5 LPM.....	46
Gambar 4.18 pengaruh temperature dan tipe packing terhadap % Removal CO ₂ Loading DEA 3% dan laju alir 0.5 LPM	47
Gambar 4.19 pengaruh temperature dan tipe packing terhadap CO ₂ Loading DEA 3% dan laju alir 0.75 LPM.....	47
Gambar 4.20 pengaruh temperature dan tipe packing terhadap % Removal CO ₂ Loading DEA 3% dan laju alir 0.75 LPM	48
Gambar 4.21 pengaruh temperature dan tipe packing terhadap CO ₂ Loading DEA 3% dan laju alir 01 LPM.....	48
Gambar 4.22 pengaruh temperature dan tipe packing terhadap % Removal CO ₂ Loading DEA 3% dan laju alir 01 LPM	49

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Perbandingan tipe packing.....	12
Tabel 2.2 Perbandingan karakteristik pelarut alkanolamine	18
Tabel 3.1 Variabel laju alir, temperatur dan waktu sampling	25
Tabel A.1 hasil perhitungan kebutuhan pelarut	59
Tabel A.2 pengujian dengan PH meter	60
Tabel A.2.1 pengujian dengan PH meter cepat.....	60
Tabel A.2.2 pengujian dengan PH meter lambat	60
Tabel A.2.3 pengujian dengan PH meter	60
Tabel A.3 pengujian dengan titrasi	60
Table B.1 Data perhitungan konsentrasi CO_3^{2-} 1% DEA.....	64
Table B.2 Data perhitungan mol CO_3^{2-} dan mol CO_2 1% DEA.....	65
Table B.3 Data perhitungan konsentrasi CO_3^{2-} 2% DEA	65
Table B.4 Data perhitungan mol CO_3^{2-} dan mol CO_2 2% DEA	66
Table B.5 Data perhitungan konsentrasi CO_3^{2-} 3% DEA	66
Table B.6 Data perhitungan mol CO_3^{2-} dan mol CO_2 3% DEA	67
Table B.7 Data perhitungan konsentrasi CO_3^{2-} 4% DEA	67
Table B.8 Data perhitungan mol CO_3^{2-} dan mol CO_2 4% DEA	68
Table B.9 Data perhitungan konsentrasi CO_3^{2-} <i>Stell wool</i> 3% DEA	68
Table B.10 Data perhitungan mol CO_3^{2-} dan mol <i>Stell wool</i> 3% DEA	69
Table B.11 hasil perhitungan CO_2 Loading	70
Table B.12 hasil perhitungan dengan konsentrasi DEA 2 %.....	70
Table B.13 hasil perhitungan CO_2 Loading <i>steel wool</i>	71
Table B.14 hasil perhitungan CO_2 Loading <i>steel wool</i>	71

DAFTAR NOTASI

a_T	= Specific dry packing area (m^2/m^3)
a_w	= Specific watted area of packing (m^2/m^3)
A	= Frekuensi Tumbukan ($\text{S}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$)
CAi	= konsentrasi carbon dioksida pada interface (kmol m^{-3})
CA ⁰	= konsentrasi equilibrium dari komponen dalam bulk liquid (kmol m^{-3})
D_L	= difisivitas liquid (m^2/s)
d_p	= Diameter packing (m)
E	= <i>enhancement factor</i>
Ea	= energi aktivasi (Kj/ mol)
g	= grafitasi (m^2/s)
H	= kosntanta Hendry ($\text{kPa dm}^3/\text{mol}$)
K	= konstanta laju reaksi ($\text{m}^3 \cdot \text{Kmol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)
K _G	= koefisien perpindahan massa keseluruhan
L_0	= laju liquid ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)
P	= tekanan (atm)
R	= Konstanta Gas ideal dalam Joule.kmol ⁻¹ .K ⁻¹
R	= flux perpindahan massa ($\text{kmol h}^{-1}\text{m}^{-2}$)
r	= jari-jari lingkran (cm)
T	= Temperature dalam (K)
Π	= tetapan Mate Matika (3.14)
μ_L	= viskositas liquid (Pa.s)
ρ_L	= densitas liquid (kg/m^3)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Energi merupakan bagian penting dalam kehidupan manusia, karena hampir setiap aktivitas manusia selalu membutuhkan energi. Negara Indonesia merupakan salah satu negara yang termasuk dalam katagori cadangan gas alam terbesar di dunia dan merupakan negara dengan penghasil bahan baku yang dapat digunakan untuk memproduksi biogas. Gas sangat berpotensi untuk dijadikan sebagai salah satu energi alternative di Indonesia di tengah semakin tingginya kebutuhan energi. Gas sebagian besar dimanfaatkan untuk sektor Industri, rumah tangga dan sektor transportasi.

Kualitas gas sebagai energi alternatif baik yang bersumber dari biogas maupun dari gas alam harus ditingkatkan karena saat ini penggunaan gas sebagai bahan bakar secara luas masih dibatasi oleh kemurnian yang dimilikinya. Keberadaan CO₂ dalam gas sangat tidak diharapkan karena CO₂ dapat mengurangi nilai kalor dan dapat menyebabkan korosi pada komponen-komponen mesin (Zhao dkk, 2011). Oleh sebab itu perlu dilakukan suatu proses untuk pemurnian gas yang bertujuan untuk mengurangi kandungan gas CO₂.

Pada gas alam mengandung CO₂ sebesar 28-87% (Tan dkk 2012) dari keseluruhan komposisi gas alam sedangkan produk biogas terdiri dari metana (45-75 %V), karbondioksida (25-55%V), dan sejumlah kecil hidrogen, nitrogen, hydrogen sulfide (deublein, 2008). Konsentrasi minimum CH₄ sebaiknya 90 %V (Harasimowicz dkk, 2007).

Berbagai teknologi pemisahan gas telah banyak dilakukan dalam industri dengan berbagai metode diantaranya adsorbsi, destilasi kriogenik, pemisahan dengan membrane, absorpsi baik secara fisik, maupun secara kimia. Di antara teknologi ini, penyerapan kimia yang paling banyak digunakan karena menyediakan tingkat removal lebih tinggi dibandingkan dengan metode lain yang disebutkan di atas (Rodriguez-Flores dkk, 2013).

Absorpsi reaktif pada gas meliputi pemisahan gas CO₂ dan komponen-komponen lain dalam fasa gas melalui transportasi ke dalam fasa cair untuk menghasilkan produk reaksi. Absorpsi reaktif CO₂ dan H₂S telah dikembangkan dan diaplikasikan pada berbagai proses komersial, termasuk pemurnian biogas dan produksi ammonia (Cullinane & Rochelle 2005). Proses tersebut menggabungkan sirkulasi pelarut yang mengandung *absorbent* reaktif seperti kalium karbonat (K₂CO₃) atau senyawa-senyawa alkanolamine seperti monoethanolamine (MEA), diethanolamine (DEA), diisopropanolamine (DIPA), diglycolamine (DGA), triethanolamine (TEA), methyldiethanolamine (MDEA) dan amine 2-amino-2-methyl-1-propanol (AMP).

Larutan K₂CO₃ merupakan absorben yang menggunakan reaksi kimia untuk melarutkan CO₂ dan H₂S (Bohloul dkk, 2014). Keuntungan utama dari potassium karbonat dapat melarutkan CO₂, mudah diregenerasi, toksisitas rendah, biaya operasi yang lebih rendah dan kemurnian gas akhirnya lebih tinggi (Kohl & Nielsen, 1997). Namun, memiliki beberapa kelemahan yang yaitu perpindahan massa lambat dalam fasa cair, Menurut Zhao ada beberapa cara untuk meningkatkan penyerapan K₂CO₃ diantaranya dengan menambahkan promotor untuk mempercepat laju penyerapan dari K₂CO₃ atau dengan cara yang lain yaitu memperbaiki kualitas *packing* yang digunakan sehingga meningkatkan loading CO₂ per absorben K₂CO₃.

Promotor (aktivator) digunakan untuk meningkatkan proses transfer massa CO₂ dalam kalium karbonat (Borhani dkk, 2015). Amina primer yang banyak digunakan dalam industri adalah monoethanolamina (MEA) karena bereaksi cepat dengan CO₂, amina sekunder diethanolamine (DEA) tidak seaktif MEA tetapi memiliki kelebihan dibandingkan MEA yaitu panas regenerasi lebih kecil, lebih tahan korosif dibandingkan MEA dan kehilangan solven selama proses lebih rendah tinggi (Kohl & Nielsen, 1997). Senyawa K₂CO₃ dengan promotor senyawa alkanolamine menunjukkan cara yang efektif untuk meningkatkan keseluruhan *performance* bahan pelarut, khususnya senyawa alkanolamine kelompok *primary* dan *secondary*. (Tanasie dkk, 2007) meneliti efek dari DEA, 2 aminoethoxy ethanol (AMET), triethanolamin (TEA), trietilamina (Trea), dan MDEA untuk

K_2CO_3 / $KHCO_3$ dalam *packed column*. Percobaan dilakukan secara berturut-turut dengan larutan karbonat berpromotor untuk menyerap CO_2 dalam air. Hasil dari percobaannya adalah laju reaksi DEA lebih tinggi dibandingkan dengan promotor lainnya yang diuji (Borhani dkk, 2015).

Jenis *packing* yang digunakan juga mempunyai peranan penting untuk meningkatkan efisiensi perpindahan massa, yaitu berperan dalam kontak antar fasa selama penyerapan CO_2 (Tan dkk, 2012) dan dapat meningkatkan penyerapan dari potassium karbonat. *Packing* merupakan bahan isian yang digunakan sebagai bahan isian pada *packed column*. Beberapa jenis *packing* yang dapat digunakan untuk mengisi *packed kolom* adalah tipe yang disusun secara acak seperti *packing raschig ring* dengan harga yang lebih murah, tidak terlalu berat dan dapat digunakan untuk temperatur yang rendah dan tipe *steel wool* yang dapat dibuat dalam bentuk *packing* terstruktur.

Pada penelitian ini akan menggunakan kedua cara tersebut untuk meningkatkan penyerapan dari K_2CO_3 yaitu dengan membandingkan pengaruh penggunaan tipe *packing raschig ring* dan *steel wool* dalam pemisahan CO_2 dan menggunakan promotor DEA dengan metode absorpsi reaktif dalam reaktor *packed kolom* dengan variabel temperature (40^0C - 80^0C), konsentrasi DEA(1-4)% dan laju alir absorben (0.5,0.75,1 LPM). Gas dialirkan dari bagian bawah *packed kolom* dan absorben dialirkan dari bagian atas sehingga terjadi aliran *countercurrent* antar gas dan pelarut dalam *packed kolom*, CO_2 akan larut dalam reaksi dengan larutan K_2CO_3 dan DEA kemudian dilakukan pengujian terhadap jumlah CO_2 yang terikat melalui analisa titrasi.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana proses pemisahan karbondioksida (CO_2) dengan menggunakan *absorbent* K_2CO_3 dengan promotor *diethanolamine* (DEA) dalam reaktor *packed kolom* dengan menggunakan tipe *packing* yang berbeda?

2. Bagaimana pengaruh penggunaan jenis *packing* dan variabel seperti suhu, laju alir absorben dan konsentrasi promoter pemisahan CO₂ dari gas dengan menggunakan absorben K₂CO₃ dengan promotor diethanolamine (DEA) dalam reaktor packed kolom terhadap CO₂ loading dan % removal CO₂ ?

1.3 Batasan Masalah

1. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan packed kolom.
2. *Feed* berupa gas dengan komposisi N₂ 60% dan CO₂ 40%.
3. Absorbent yang digunakan adalah K₂CO₃ dengan promotor diethanolamine (DEA).
4. Variabel yang ingin diketahui adalah bagaimana pengaruh suhu, laju alir absorben dan konsentrasi promoter terhadap penyerapan CO₂.
5. Jenis *packing* yang digunakan adalah *raschig ring* dan *steel wool* yang disusun secara acak dan terstruktur.
6. Jumlah CO₂ yang larut dalam reaksi dianalisa dengan titrasi

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang disampaikan di atas, maka tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Melakukan proses pemisahan CO₂ dengan menggunakan absorben K₂CO₃ dengan promotor *diethanolamine* (DEA) dalam reaktor *packed column* dengan menggunakan tipe *packing* yang berbeda.
2. Mengkaji pengaruh penggunaan tipe *packing* dan variabel proses seperti suhu, laju alir absorben dan konsentrasi promoter terhadap efisiensi *absorpsi* untuk proses pemisahan CO₂ dengan menggunakan absorben K₂CO₃ dengan promotor diethanolamine (DEA) dalam reaktor packed column dimana besarnya CO₂ yang terabsorpsi dinyatakan dalam CO₂ loading dan % removal CO₂.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan didapatkan dalam penelitian ini adalah Menghasilkan produk gas dengan kualitas baik dengan melakukan pemisahan gas dari

komponen impuritis seperti CO₂ dengan metode *absorpsi* reaktif menggunakan *absorbent* K₂CO₃ dengan promotor diethanolamine (DEA).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 CO₂ (Karbon Dioksida)

Karbon dioksida merupakan suatu senyawa kimia yang tidak berwarna, dan pada konsentrasi rendah, tidak berbau dan akan bersifat asam ketika bereaksi dengan air. Karbon dioksida akan berubah fasa menjadi padat pada temperatur -78.51⁰C. Dampak yang ditimbulkan keberadaan CO₂ dalam gas:

- a) Bersifat asam, maka dari itu disebut gas asam (acid gas), gas CO₂ tergolong gas impurities (kontaminan atau pengotor) .
- b) Berifat korosif, dapat merusak bagian dalam utilitas pabrik dan sistem pemipaan. Gas CO₂ akan bersifat korosif jika di dalam gas alam terkandung uap air yang dapat mengasamkan CO₂ menjadi H₂CO₃.
- c) CO₂ akan mengakibatkan penurunan nilai kalor
- d) CO₂ akan membeku pada suhu yang sangat rendah, sehingga dapat menyumbat peralatan dan perpipaan pada unit pencairan
- e) Penyumbang emisi global warming.

2.2 Metode Pemisahan CO₂ dari gas

Dalam pemisahan CO₂ dari gas terdapat berbagai teknologi yang dikembangkan, yaitu :

1. Adsorpsi

Proses adsorpsi permukaan zat padat melibatkan transfer zat terlarut dalam gas menuju ke permukaan zat padat, dimana proses transfer digerakkan oleh gaya Vander wall. Dalam pemilihan adsorben yang diperhatikan paling utama adalah luas permukaan karna dengan luar permukaan yang besar mengakibatkan penyearapan terhadap H₂S dan CO₂ semakin besar. Adsorben dapat menggunakan padatan yang berupa silika, alumina, karbon aktif atau silikat. Adsorpsi memiliki kelemahan yaitu hanya selektif terhadap H₂S sehingga memerlukan proses kimia atau kombinasi dengan proses lain untuk mengadsorpsi gas asam yang lainnya sehingga perlu mempertimbangkan karna energi yang besar dan biaya tambahan.

2. Pemisahan Secara Kriogenik

Kriogenik merupakan salah satu metode pemurnian yang melibatkan campuran gas dengan kondensasi fraksional dan destilasi pada temperatur rendah mencapai -180°C . Dalam proses kriogenik *crude* biogas ditekan hingga mencapai 80 bar. Proses kompresi ini berjalan secara multistage dengan *intercooler*, biogas bertekanan kemudian dikeringkan untuk menghindari terjadinya pembekuan selama proses pendinginan berlangsung. Kemudian biogas didinginkan oleh *chiller* dan *heat exchanger* hingga -45°C , CO_2 yang terkondensasi dihilangkan didalam separator. Kemudian CO_2 diproses lebih lanjut untuk merecoveri metana yang terlarut, hasil *recovery* kemudian *direcycle* menuju inlet gas. Destilasi kriogenik memerlukan persiapan feed yang rumit, instalasi unit yang mahal dan memerlukan operasi kompresor sehingga biayanya lebih tinggi.

3. Pemisahan dengan Membran

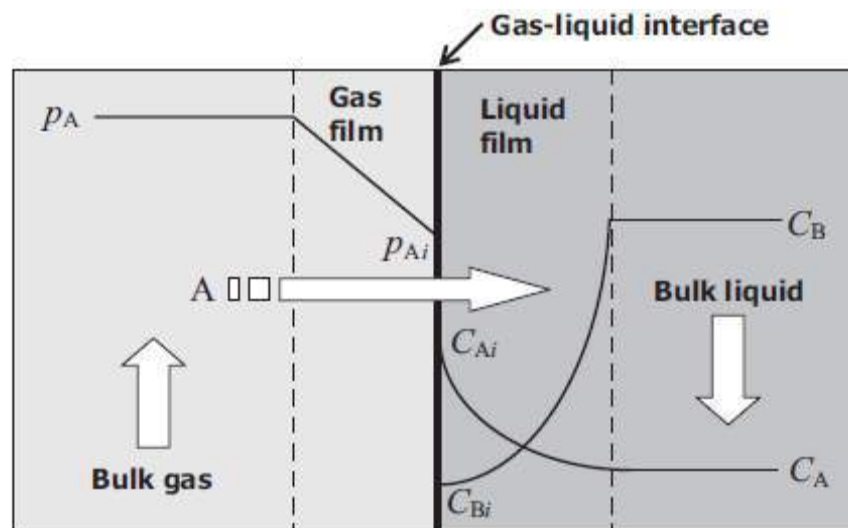
Membran dapat digunakan untuk memisahkan gas dengan memanfaatkan perbedaan fisik atau interaksi kimia antara gas dan membran. Campuran dari gas ditransportasikan melalui lapisan tipis membran ($< 1\text{mm}$). Transportasi tiap komponen dikendalikan oleh perbedaan tekanan parsial pada membran dan permeabilitas tiap komponen dalam membran. Untuk mencapai gas metana dengan kemurnian yang tinggi maka permeabilitas harus tinggi. Membran padat dapat disusun dari polimer selulosa asetat yang mempunyai permeabilitas untuk CO_2 mencapai 20 kali lebih tinggi dibanding permeabilitas CH_4 . Dalam konsep pemisahan dengan membran hal yang menjadi permasalahan utama adalah selektifitas dan permeabilitas yang tinggi. Dalam pemisahan CO_2 dengan membran konvensional masalah tersebut dijumpai.

4. Absorpsi

Absorpsi adalah pemisahan suatu gas tertentu dari campuran gas-gas dengan cara transfer massa kedalam suatu pelarut liquid. Absorpsi dilakukan dengan mengontakkan aliran gas dan liquid yang memiliki selektifitas pelarut yang berbeda dengan yang akan dipisahkan.

5. Absorpsi reaktif

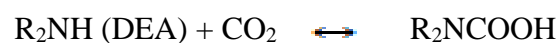
Absorpsi reaktif dilakukan melalui menyerap CO₂ dari gas oleh ikatan kovalen dalam molekul cairan penyerap. ikatan kovalen yang kuat antara molekul pelarut kimia dan molekul CO₂ membuat proses penyerapan kimia yang lebih efisien dalam menyerap CO₂ bahkan pada suhu kamar dan tekanan. Kesesuaian pelarut yang akan digunakan untuk menyerap CO₂ ditentukan oleh perbedaan kelarutan antara CO₂ dan metana dalam pelarut itu. Penyerapan kimia menyebabkan perbedaan kelarutan yang besar sehingga metana tidak ikut terserap kedalam absorbent. Pada gambar 2.1 menjelaskan bagaimana mekanisme penyerapan dalam packed column.



Gambar 2.1 Skema absorpsi reaktif menurut Levenspiel (1999)

Ada 2 mekanisme yang dapat menjelaskan promotor dalam penyerapan CO₂:

1. promotor disebut katalisis homogen yang merupakan promotor yang pertama membentuk zat antara dengan CO₂ dan zat antara dan kemudian dihidrolisis untuk menghasilkan produk akhir, bikarbonat.



mekanisme shuttle yang diusulkan oleh Danckwerts & Shrier menyatakan bahwa promotor bertindak sebagai pembawa untuk menyediakan jalur tambahan untuk mengangkut CO₂ dari gas cair ke bulk liquid, ion karbonat kemudian berdifusi ke dalam cairan dan akan bereaksi dengan ion OH untuk menghasilkan Amine bebas CO₂ sehingga amina dapat kembali berdifusi ke dalam antarmuka untuk bereaksi dengan CO₂. Reaksi mekanisme shuttle menurut (Ajjam, 1983)



Kedua mekanisme diatas dapat disimpulkan bahwa pada temperatur rendah promotor mengikuti mekanisme shuttle, tetapi pada temperature tinggi promotor lebih mengikuti mekanisme katalis homogen (Hussein 2015)

Perpindahan massa disertai reaksi kimia terjadi bila dua fasa tak berada dalam kesetimbangan kimia dikontakkan satu sama lain. Fenomena ini terdiri atas beberapa tahap elementer berikut:

- a. Difusi satu reaktan dari badan gas ke bidang batas antar fasa gas-liquid.
- b. Difusi reaktan dari interface ke badan fasa liquida.
- c. Reaksi kimia di dalam fasa liquid

6. Absorpsi fisik

Kelebihan dari absorpsi fisika yaitu panas yang dibutuhkan untuk regenerasi relative kecil, kurang dari 5 kkal/mol (20kj/mol), jauh lebih kecil dibandingkan panas regenerasi untuk absorpsi reaktif yaitu 25 kkal/mol (100kj/mol). Selain itu pelarut fisika relative stabil, dan tidak menimbulkan korosif. Pelarut fisika juga lebih selektif terhadap H₂S sehingga kurang cocok untuk absorpsi CO₂.

Kecepatan absorpsi merupakan ukuran perpindahan massa antara fasa gas dan fasa cair, disamping pada perbedaan konsentrasi dan luas permukaan

absorben. Kolom absorber adalah suatu kolom atau tabung tempat terjadinya proses pengabsorpsi dari zat yang dilewatkan di kolom/tabung tersebut. Beberapa tipe kolom absorpsi yang sering digunakan yaitu:

1. Packed Column

Packed column yang digunakan untuk kontak kontinu antara liquid dan gas dalam aliran *countercurrent* atau *cocurrent* merupakan vertical dimana diisi dengan *packing* yang untuk memperbesar luas permukaan kontak antara gas dan liquid. Keuntungan dari penggunaan packed column adalah: lebih ekonomis dalam penggunaan pelarut yang korosif karna ditahan oleh *packing* keramik, biaya lebih murah jika dibandingkan dengan plate column dengan ukuran diameter yang sama, dan cairan hold up kecil selain itu Packed column digunakan sebagai sarana untuk mengontakan antara gas dan pelarut karna efisiensi perpindahan massa yang tinggi dengan penurunan tekanan rendah (Tan, dkk 2012). Packed kolom juga memiliki Kerugian: kurang baik dalam hal pendingin liquid, sulit untuk dibersihkan, kurang dapat handle fluktuasi temperature yang besar.

packed kolom diklasifikasikan berdasarkan arah relatif dari aliran gas menjadi cairan. Dimana Packed column yang paling sering dipergunakan adalah countercurrent. Aliran gas memasuki dasar tower dan mengalir ke atas melewati *packing* material. Packed Tower Menghasilkan luas permukaan yang besar antara liquid dan gas. Memiliki karakteristik aliran fluida yang diinginkan. Secara kimia bersifat inert terhadap fluida yang diproses. Memiliki kekuatan struktural untuk kemudahan dalam penanganan dan pemasangan dan biaya murah.

Susunan packing ada 2 macam, yaitu :

- a. *Random Packing* Adalah *packing* yang langsung saja dimasukkan ke dalam packed bed tanpa disusun pada saat pemasangan. Pada umumnya packing acak memberikan luas permukaan spesifik yang besar dan pressure drop gas yang lebih besar jika dipakai dalam ukuran yang lebih kecil dan biaya lebih murah.
- b. *Regular Packing* jenis ini baik untuk gas dengan *pressure drop* yang rendah dan memberikan laju fluida yang besar tetapi biaya lebih mahal.

Material *packing*:

- Kemasan plastik (biasanya polypropylene) murah dan memiliki kekuatan yang cukup, tetapi memiliki wettability kecil terutama pada laju cairan yang rendah.
- Kemasan keramik tahan korosi pada temperatur tinggi, memiliki *wettability* yang baik.
- Kemasan karbon tahan korosi tetapi kekuatannya lebih rendah dibanding keramik dan logam.
- Kemasan logam biasanya disukai karena kekuatannya lebih unggul dan *wettability* baik.

Kriteria Pemilihan *Packing*:

1. Memberikan luas permukaan bidang kontak yang besar tiap satuan volume.
2. Tumpukan *packing* dalam kolom harus memberikan rongga yang cukup.
3. Karakteristik pembasahan *packing* baik.
4. Tahan terhadap bahan yang bersifat korosif.
5. Bulk density rendah
6. Ringan, kuat dan tidak mudah pecah.
7. Murah dan mudah diperoleh

Tabel 2.1 Perbandingan Tipe *Packing*

TIPE PACKING	KELEBIHAN	KEKURANGAN
Rachig Rings	Harganya lebih murah Tidak terlalu berat Sensitivitas lebih rendah terhadap kualitas distribusi cair dan uap Dapat digunakan untuk bahan yang tidak tahan suhu tinggi	Efisiensinya lebih rendah Kontaknya berlangsung secara cepat
Lessing Rings	Harganya murah Tidak terlalu berat Dapat digunakan untuk bahan yang tidak tahan suhu tinggi Sensitivitas lebih rendah terhadap kualitas distribusi cair dan uap	Efisiensinya lebih rendah Kontaknya berlangsung secara cepat
Partition Rings	Penyerapannya baik Tidak bereaksi dengan zat kimia Lebih banyak memiliki laluan sehingga memungkinkan untuk kontak dengan baik	Pembersihannya sulit dilakukan. Harganya lebih mahal dibandingkan raschig ring, lessing ring, berl saddle dan intalox saddle
Pall Rings	Kapasitas lebih tinggi dan Pressure drop rendah Distribusi cairan baik	Pembersihannya sulit dilakukan. Harganya lebih mahal dibandingkan raschig ring, lessing ring, berl saddle dan intalox saddle
Berl Saddle	Distribusi uap-cair didistribusikan secara merata sama pada kedua sisi. Stabilitas kimia tinggi, dan daya tahan panas yang sangat baik, Sensitivitas lebih rendah terhadap kualitas distribusi cair dan uap Luas permukaannya besar	Kontaknya berlangsung secara cepat Harganya mahal

Tabel 2.1 Perbandingan Tipe *Packing* (Lanjutan)

TIPE PACKING	KELEBIHAN	KEKURANGAN
Tellerette	Pressure drop dan nilai HTU rendah. Batas flooding lebih tinggi dari pada Raschig Ring maupun Berl Saddle. Dapat dibuat dari plastik Luar permukaan lebih besar lebih banyak memiliki laluan sehingga memungkinkan untuk kontak dengan baik	Harganya lebih mahal dibandingkan raschig ring, lessing ring, berl saddle dan intalox saddle Pembersihannya sulit dilakukan
Steel wool	Harga oprasionl yang lebih murah dibandingkan packing yang dipasang secara terstruktur lainnya. <i>Steel wool</i> memiliki performa terbaik jika dibandingkan dengan <i>packing</i> lainnya pada diameter yang kecil (2-3 in).	Sulit untuk dibersihkan Dan pada diameter besar penggunaan <i>steel wool</i> kurang disarankan karena <i>steel wool</i> dapat terbawa oleh <i>liquid</i> sebab <i>steel wool</i> hanya bekerja maksimal jika disusun merata

2. *Spray Tower*

Pada *spray tower*, liquid disemprotkan ke dalam aliran gas melalui nozzle yang menyebarkan liquid ke bawah dan berkontak secara cunter current dengan aliran gas yang masuk. Keuntungan alat ini adalah memiliki *pressure drop* rendah untuk gas, sedangkan kerugiannya antara lain biaya pemompaan yang tinggi untuk transportasi liquidnya. *Spray tower* merupakan alat yang paling sederhana untuk absorpsi gas, terdiri dari tower yang kosong dan satu set nozzle untuk menyemprotkan cairan. Aliran gas kontaminan memasuki dasar tower dan melewati absorbent bersamaan disemprotkannya cairan pada satu atau beberapa tingkat nozzle.

3. *Watted Wall Column*

Watted Wall Column adalah suatu lapisan tipis dari liquid mengalir ke bawah di dalam pipa vertical dengan gas yang dialirkan dalam pipa. Aliran gas bisa searah ataupun berlawanan arah. Dalam industri, alat ini telah digunakan sebagai alat penyerap untuk asam hidoksida, dimana proses penyerapan diikuti oleh perubahan panas yang sangat besar. *watted wall tower* ini harus dilengkapi dengan air pendingin dengan laju yang cepat.

2.3 Potassium Karbonat (K_2CO_3)

Proses pemunian gas dengan menggunakan potassium karbonat yaitu proses yang awalnya digunakan untuk menghilangkan CO_2 dari aliran gas. Kemampuan K_2CO_3 sebagai absorben dari CO_2 sebenarnya telah dikenal sejak awal tahun 1900-an. Dalam proses industri, pelarut ini biasanya di temui dalam konsentrasi 30wt% K_2CO_3 *solution* dalam isothermal absorber pada suhu $100^\circ C$ dan 15-20 atm.

Pada umumnya, reaksi absorpsi dengan larutan K_2CO_3 berjalan lambat daripada dalam larutan amine. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kecepatan absorpsi biasanya dalam larutan K_2CO_3 ditambahkan promotor. Tetapi, penggunaan larutan amine memiliki kerugian yakni meningkatnya energi yang dibutuhkan untuk reaksi (Cullinane & Rochelle 2005).

Beberapa keuntungan dan kelemahan penggunaan larutan kalium karbonat untuk penyerapan gas asam sebagai berikut (Bullin dkk, 1990) :

Keuntungan:

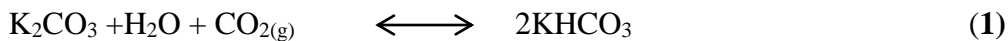
1. *Range temperature* tinggi, dapat meningkatkan kapasitas *loading* gas asam dan dapat mencegah terjadinya kristalisasi garam bikarbonat.
2. Dapat menghilangkan karbonil sulfida dan karbon disulfida yang ada di aliran gas dengan cara hidrolisis menjadi CO_2 dan H_2S , kemudian dilanjutkan dengan reaksi dengan kalium karbonat.
3. Biaya pelarut lebih murah.
4. Kebutuhan *steam* lebih sedikit dibandingkan dengan proses amine.

5. Pilihan skema proses relatif banyak, tergantung dari residu *acid gas* yang diperbolehkan dalam produk.
6. Penggunaan promotor alkanolamine dapat meningkatkan laju reaksi absorpsi.
7. Kemungkinan terjadi korosi dan *foaming* sangat kecil.
8. Sebagian besar CS₂, COS, mercaptan, HCN, dan SO₂ dapat terserap.

Kelemahan:

1. Penggunaan promotor dan aditif akan menambah biaya.
2. Kadang timbul masalah ketidakstabilan kolom.
3. Cenderung agak selektif ke H₂S.
4. Tidak mampu menghilangkan CO₂ hingga level yang sangat rendah.
5. Adanya SO₂ dalam gas dapat mendegradasi *pelarut*.

Prinsip utama dari penggunaan potassium karbonat sebagai absorbent adalah dengan mereaksikan dengan gas asam, yaitu :



2.4 Alkanolamine

Alkanolamine dapat diklasifikasikan menjadi tiga berdasarkan struktur kimianya, yaitu *primary amine*, *secondary amine* dan *tertiary amine*. *Primary amine* memiliki satu rantai alkanol dan dua atom hidrogen yang terikat atom nitrogen, contohnya adalah methylethanolamine (MEA). *Secondary amine* memiliki dua rantai atom alkanol dan satu atom hidrogen yang terikat atom nitrogen, contohnya adalah diethanolamine (DEA) dan diisopropylamine (DIPA). *Tertiary amine* tidak memiliki atom hidrogen, secara langsung terikat atom nitrogen, contohnya adalah methyldiethanolamine (MDEA) (Cullinane & Rochelle 2005).

Keunggulan senyawa alkanolamine dalam menyerap gas karbondioksida adalah laju absorpsi cepat dan biaya pelarut murah. Namun terdapat beberapa kelemahan senyawa amine seperti panas absorpsi tinggi, tidak dapat memisahkan senyawa-senyawa mercaptan, konsumsi energi untuk regenerasi pelarut cukup tinggi, dan bersifat korosif.

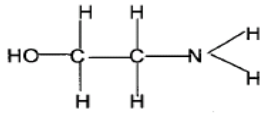
Untuk mengatasi kekurangan dalam absorpsi CO₂ menggunakan K₂CO₃, ditambahkan sejumlah kecil amine ke dalam larutan K₂CO₃ sebagai promotor. Senyawa kalium karbonat (K₂CO₃) dengan promotor senyawa amina menunjukkan cara yang efektif untuk meningkatkan keseluruhan *performance* bahan pelarut. Panas absorpsi larutan K₂CO₃ sebesar 10-15 kkal/mol CO₂ adalah secara signifikan lebih rendah daripada sistem amina yang memiliki panas absorpsi sebesar 20-25 kkal/mol CO₂. Energi regenerasi yang dibutuhkan dalam stripper rendah (Cullinane, 2005), selain itu dengan adanya amine sebagai promotor, proses absorpsi CO₂ dapat dilakukan hingga level kandungan *acid gas* yang rendah.

Sifat Kimia dan Fisika Alkanolamina

Alkanolamina adalah senyawa kimia dengan gugus hidroksi (-OH) dan gugus amino (-NH₂, -NHR, dan -NR₂) pada rantai alkana. Alkanolamina adalah pelarut preferensial yang digunakan oleh kilang minyak dan pabrik gas alam. Berbagai jenis alkanolamina telah digunakan meliputi *Monoethanolamine* (MEA), *Diethanolamine* (DEA), *Diglycolamine* (DGA), *Diisopropanolamine* (DIPA), dan *Methyldiethanolamine* (MDEA). Prefiks 'mono', 'di' dan 'tri' menyatakan derajat substitusi radikal pada gugus amino Nitrogen.

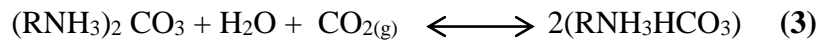
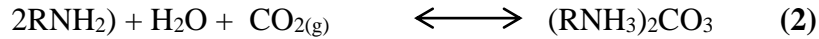
Kriebel (1998) menyarankan bahwa ethanolamine lebih stabil secara kimia, bersih, dan cairan tanpa warna. Alkanolamine stabil secara kimia, dan dapat dipanaskan hingga ke titik didih saat dekomposisi, kecuali triethanolamine yang cukup reaktif secara kimia dan dapat terdekomposisi di bawah *boiling point* 680 °F. Berdasarkan gugus alkanol yang terikat dengan atom nitrogen, alkanolamina diklasifikasikan menjadi amina primer, sekunder, dan tersier. Maddox & Morgan (1998) melaporkan bahwa masing-masing alkanolamina memiliki setidaknya satu gugus hidroksil dan satu gugus amino. Gugus hidroksil mengurangi tekanan uap dan meningkatkan kelarutan di dalam air dimana gugus amino meningkatkan alkalinitas dalam larutan air untuk bereaksi dengan gas asam. Amina primer dan sekunder memiliki ikatan atom nitrogen dengan atom hidrogen yang masih dapat disubstitusi oleh gugus hidroksil, sedangkan atom nitrogen pada amina tersier tidak berikatan dengan atom hidrogen.

Monoethanolamine (MEA)
 $C_2H_4OH - NH_2$



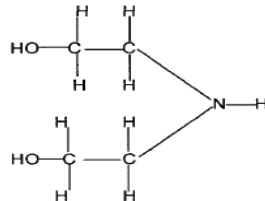
Gambar 2.2 Struktur molekul amina primer monoethanolamine (MEA)

Reaksi MEA dengan CO_2 :

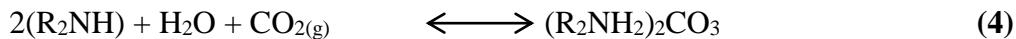


Gambar 2.3 Struktur molekul amina sekunder diethanolamine (DEA)

Diethanolamine (DEA)
 $C_2H_4OH - NH - C_2H_4OH$

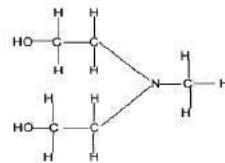


Reaksi DEA dengan

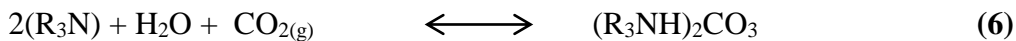


Gambar 2.4 Struktur molekul amina tersier methyldiethanolamine (MDEA)

Methyldiethanolamine (MDEA)
 $C_2H_4OH - NCH_3 - C_2H_4OH$



Reaksi MDEA dengan CO_2 :



Pada proses absorpsi CO_2 dari gas alam, biasanya digunakan pelarut kimia golongan alkanolamina, yaitu *monoethanolamina* (MEA), *diethanolamina* (DEA), dan *metildiethanolamina* (MDEA), yang dipilih berdasarkan kecepatan laju absorpsi, kemampuan penyerapan CO_2 yang tinggi dan kemudahan regenerasi. Perbandingan karakteristik pelarut alkanolamina dapat dilihat pada Tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.2 Perbandingan Karakteristik Pelarut Alakanolamina

Pelarut	Kelebihan	Kekurangan
<i>Monoethanole Amine</i> (MEA)	Mampu menghilangkan CO ₂ <i>Recovery</i> CO ₂ tinggi. Harganya paling murah dibanding pelarut amin lainnya.	Paling korosif diantara DEA dan MDEA. Kurang reaktif terhadap CO ₂ dibandingkan DEA dan MDEA. Tekanan uapnya tinggi sehingga banyak massa yang hilang saat diregenerasi. Sulit diregenerasi. Tekanan uap yang besar. Beban larutan terhadap gas asam lebih rendah dibandingkan DEA 0,3-0,4 mol gas asam per mol MEA.
<i>Diethanole Amine</i> (DEA)	Harganya tidak terlalu mahal. Paling efektif menyerap CO ₂ dibandingkan MDEA. Lebih mudah diregenerasi dibandingkan MEA Beban larutan terhadap gas asam lebih tinggi yaitu sekitar 0,65 mol gas asam per mol DEA.	Bersifat korosif Kurang reaktif jika dibandingkan dengan <i>amine</i> primer
<i>Methyl Diethanole Amine</i> (MDEA)	Tidak korosif. Banyak digunakan untuk absorpsi dengan kandungan CO ₂ yang tinggi. Energi untuk regenerasi rendah. Lebih stabil dari degradasi. Beban larutan terhadap gas asam lebih tinggi 0,7-0,8mol gas asam per mol MDEA Konsumsi energy yang digunakan lebih rendah dibandingkan <i>amine</i> primer dan sekunder. Selektivitas yang tinggi terhadap H ₂ S. Cocok digunakan untuk gas dengan tekanan rendah.	Akibat keselectifannya yang tinggi terhadap H ₂ S, maka akan terjadi CO ₂ <i>slippage</i> sehingga absorpsi CO ₂ kurang maksimal. Harganya paling mahal di antara pelarut amin lainnya. Kurang reaktif dibandingkan dengan MEA dan DEA

(Kohl & Nielsen, 1997)

Hasil Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian sebelumnya yang mendasari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Altway & Wijaya, 2008 melakukan penelitian *Analisa Transfer Massa Disertai Reaksi Kimia Pada Absorpsi CO₂ Dengan Larutan Potasium Karbonat Dalam Packed Column Model* Tujuan penelitian ini adalah mempelajari proses perpindahan massa pada absorpsi CO₂ dalam packed column untuk reaksi reversible pada kondisi non isothermal. Penelitian dilaksanakan secara eksperimen dan simulasi. Penelitian secara eksperimen dilaksanakan untuk validasi hasil simulasi. Bahan yang digunakan adalah campuran CO₂ dan udara serta larutan potasium karbonat. Larutan potasium karbonat dialirkan kedalam packed column dari atas dan dikontakkan secara berlawanan arah dengan aliran campuran CO₂-udara dari bawah. Cairan keluar kolom dianalisa dengan titrasi. Sedangkan percobaan simulasi dilaksanakan dengan mengembangkan model neraca massa dan energy mikroskopik pada kolom. Solusi model ini memerlukan informasi mengenai laju transfer massa antar fasa gas-liquid yang dalam hal ini menggunakan model film. Data kelarutan CO₂, data perpindahan massa, data kinetika dan kesetimbangan reaksi yang diperlukan pada penelitian ini diperoleh dari literatur (Danckwertz, 1970; Kohl and Riesenfeld,1985; Perry and Chilton, 1973;Treyball, 1981). Pada penelitian ini dipelajari pengaruh laju alir absorben dan konsentrasi K₂CO₃ dalam larutan absorben masuk terhadap persen penyisihan gas CO₂. Deviasi antara hasil prediksi simulasi dan data percobaan pada penelitian ini dibawah 10% untuk laju alir absorben dari 3 sampai dengan 5 liter/menit dan untuk laju alir 5 sampai dengan 7 liter menit deviasi nya antara 10-30%.
2. Ramazani dkk, 2016 Melakukan penelitian tentang *Investigation Of Different Additives To Monoethanolamine (Mea) As A Solvent For CO₂ Capture* penelitian ini dilakukan untuk mengetahui Pengaruh berbagai aditif termasuk potasium lysinate (PL), kalium glycinate (PG), kalium karbonat (K₂CO₃), 2- (1-piperazinyl)-ethylamine (PZEA), trinitrium fosfat (TSP) dan histamin tetraethylenepen-(TEPA) untuk monoethanolamine (MEA) sebagai pelarut untuk karbon dioksida

(CO₂) penghitungan eksperimen dievaluasi untuk menentukan tingkat penyerapan dan kelarutan karbon dioksida ke pelarut MEA dengan aktivator, kesetimbangan uap-cair (VLE) digunakan untuk mengukur perubahan tekanan terhadap waktu pada konsentrasi total campuran konstan 2,5 mol dm⁻³ (M) dan tekanan parsial CO₂ antara 0 dan 50 kPa pada 313,15 K. dalam percobaan, perbandingan molar aditif untuk MEA ditetapkan untuk 0,25, 0,66 dan 1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 1,25M MEA + 1.25 sistem M TEPA mencapai kapasitas loading maksimum (mol CO₂ /mol solution) 1,32 dan memiliki tingkat penyerapan tertinggi.

3. Bohloul dkk., 2014 Melakukan penelitian tentang *Experimental And Analytical Study Of Solubility Of Carbon Dioxide Inaqueous Solutions Of Potassium Carbonate* penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kelarutan CO₂ dalam pelarut kalium karbonat diukur dengan menggunakan metode tekanan-decay pada suhu 313,15 K, 323,15 K, dan 333,15 K dan konsentrasi 15wt%, 20 wt% dan 30 wt%. Hasil penelitian menunjukkan terjadi penurunan suhu dan peningkatan konsentrasi CO₂ terlarut. kelarutan CO₂ meningkat dengan meningkatnya tekanan sampai tekanan tertentu setelah itu mulai menurun. Fenomena ini dijelaskan secara rinci menggunakan persamaan Henderson-Hasselbalch untuk reaksi pembentukan bikarbonat. data kelarutan dikorelasikan menggunakan regresi non linear. Mean deviasi antara kelarutan eksperimental dan nilai-nilai yang dihasilkan kecil dari 3,7%.
4. Borhani dkk, 2015 melakukan penelitian *comparison of equilibrium and non equilibrium models of atray column for post combustion CO₂ capture using DEA promoted potassium carbonate solution*, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan membandingkan keseimbangan dan model non ekuilibrium untuk penyerapan CO₂ dari aliran gas alam oleh promotor DEA dengan absorben kalium karbonat dalam *tray column*. Model termodinamika NRTL dimanfaatkan untuk menghitung koefisien aktivitas dalam fase cair, dan persamaan SRK digunakan untuk phase gas. gas model non ekuilibrium didasarkan pada teori dua film. Model ekuilibrium didasarkan pada jumlah teoritis dikombinasikan dengan konsep efisiensi Murphree. Studi termodinamika dilakukan untuk

menggambarkan perilaku keseimbangan pelarut. Semua reaksi yang diperlukan dalam fase cair dianggap di semua model simulasi. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil data yang diperoleh. Hasil eksperimental simulasi menunjukkan bahwa model non-ekuilibrium memberikan prediksi yang lebih baik dari suhu dan profil konsentrasi dibandingkan dengan model keseimbangan.

5. Girsang et al, 2014 melakukan penelitian *Performa Kolom Sieve Tray Dengan Penambahan Packing Serabut Pada Distilasi Etanol-Air* pada penelitian ini menggunakan sistem batch dengan penambahan packing serabut besi pada tray ke-3. Dari hasil penelitian didapatkan efisiensi Murphee untuk tinggi packing 5 cm, 3cm, 2 cm dan tanpa packing adalah 74%, 67%, 57%, dan 47%. Efisiensi Murphee dengan menggunakan packing meningkat sebanyak 22-58% dari 47%. Dengan pengukuran dari manometer air didapatkan perbandingan pressure drop dengan tinggi packing 5 cm, 3cm, 2 cm adalah 38,33 cmH₂O/m, 30 cmH₂O/m, 10cm H₂O/m. Dan interfacial area sebesar 11,88 cm² /cm³ , 0,48 cm² /cm³ dan 0,32 cm² /cm³ .
6. Zhao dkk, 2011 melakukan penelitian *Comparison Of Several Packings For CO₂ Chemical Absorption In A Packed Column* Penelitian ini difokuskan pada peningkatan efisiensi packed kolom dengan menggunakan tiga packing berbeda Super Mini Rings (SMRs), Pall Rings dan Mellapak pada skala laboratorium untuk penyerapan CO₂ Larutan K₂CO₃ 30 wt%. packing SMR menghasilkan koefisien perpindahan massa kira-kira 20% dan 30% lebih tinggi dari pada Mellapak dan Pall Rings. Penurunan tekanan menggunakan SMR sebanding dengan packing lainnya sedangkan kecepatan banjir gas Lebih tinggi bila beban cair diatas 25 kg.m⁻².s⁻¹.

7. Pada Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Widjaja, 2014 dkk menggunakan structured steel wool pada Pemisahan Campuran Etanol–Oktan–Air dengan Metode Distilasi dalam Structured Packing didapatkan kadar etanol sebesar 91,95% hal ini dikarenakan porositas yang dimiliki oleh packing steel wool Porositas adalah kerapatan dari suatu packing. Semakin kecil nilai porositas maka semakin rapat pula packing itu dan sebaliknya. Semakin kecil nilai porositas maka semakin besar luas kontakannya. Luas kontak berpengaruh pada kadar etanol yang akan dihasilkan.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

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

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah HCl 2N, indikator phenolphthalein (PP), aquades, K₂CO₃, diethanoamine (DEA), dan gas sintesis (dengan komposisi 40% CO₂ dan 60% N₂).

3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah botol penampung, gelas ukur (pyrex), pipet volumetrik (pyrex), pipet tetes, gelas beker (pyrex), labu erlenmeyer (pyrex), rangkaian kolom absorber, statif, buret, sarung tangan, ember, pompa, tabung gas, valve untuk mengatur aliran, regulator, gas flow meter, liquid flow meter, PH meter, thermometer, thermocouple dan *heater*.

3.3 Variabel Penelitian

Tabel 3.1 Variabel laju alir, temperatur dan waktu sampling

No	Laju Alir absorbent (LPM)	Temperatur (C)	Konsentrasi DEA (%berat)	Konsentrasi K ₂ CO ₃ (%berat)
1	0.5,0.75,1	40-80	1-4	30

3.4 Tahapan Metodologi Penelitian

Rangkaian penelitian yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut :

1. Persiapan Absorban
2. Persiapan Titrasi
3. Eksperimen
4. Titrasi

3.4.1 Persiapan Absorban

1. Untuk konsentrasi DEA 1%: Melarutkan 3 kg padatan K_2CO_3 pada 6,9 L aquades, lalu menambahkan DEA sebanyak 92 mL
2. Untuk konsentrasi DEA 2%: Melarutkan 3 kg padatan K_2CO_3 pada 6,8 L aquades, lalu menambahkan DEA sebanyak 183.5 mL
3. Untuk konsentrasi DEA 3%: Melarutkan 3 kg padatan K_2CO_3 pada 6,7 L aquades, lalu menambahkan DEA sebanyak 275 mL
4. Untuk konsentrasi DEA 4%: Melarutkan 3 kg padatan K_2CO_3 pada 6,6 L aquades, lalu menambahkan DEA sebanyak 367 mL

3.4.2 Persiapan Titrasi

1. Mengencerkan 10 mL HCl 2N menjadi 100 mL dengan menambahkan aquades
2. Mempersiapkan buret dan mengisi buret dengan HCl yang telah diencerkan.

3.4.3 Eksperimen

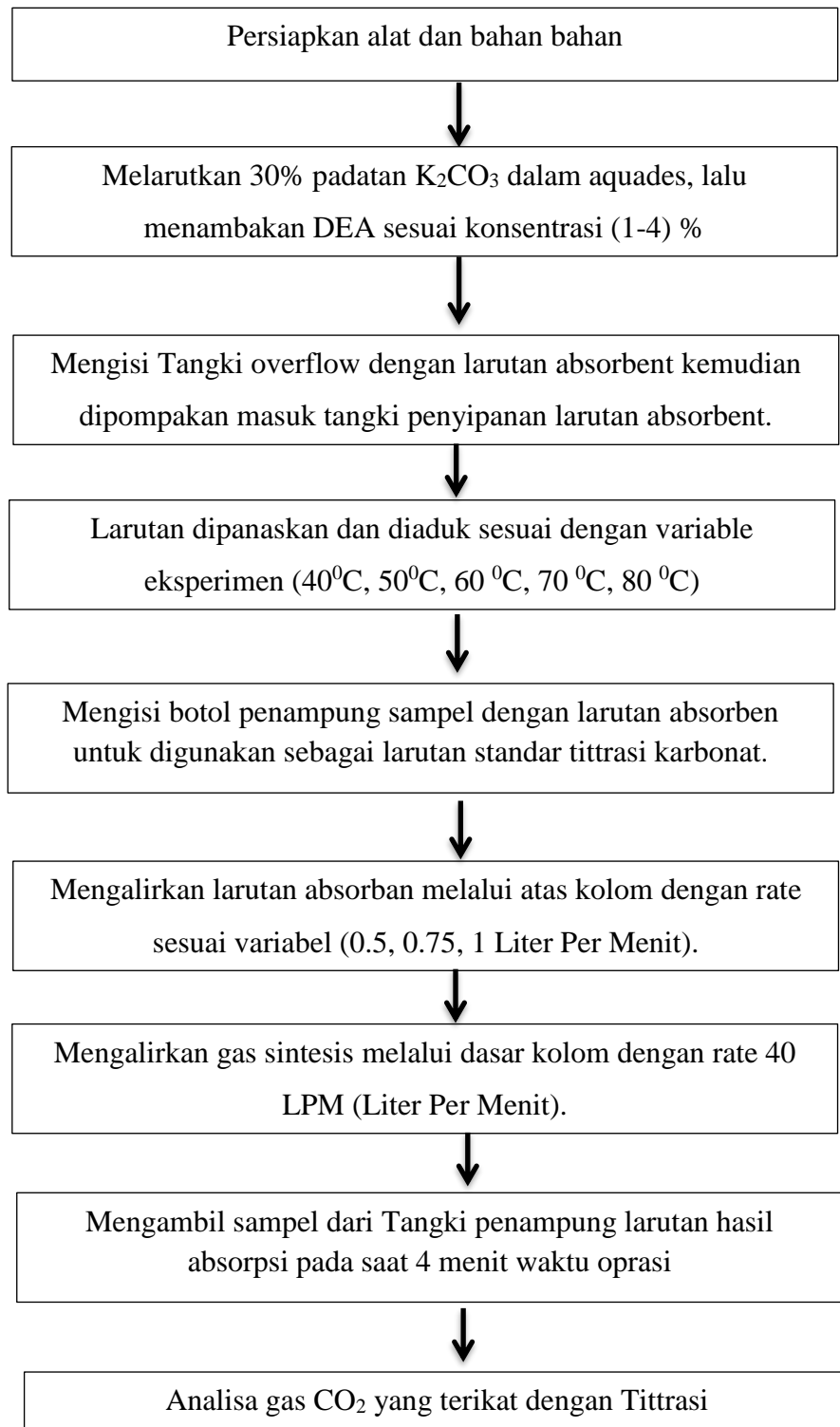
1. Mengisi Tangki overflow dengan larutan absorben K_2CO_3 berpromotor diethanolamine (DEA) yang telah dibuat sesuai variable konsentrasi yang diperukan.
2. larutan kemudian dipompakan masuk Tangki penyimpanan larutan absorbent.
3. Larutan dipanaskan sesuai dengan variable eksperimen ($40^{\circ}C$, $50^{\circ}C$, $60^{\circ}C$, $70^{\circ}C$, $80^{\circ}C$).

4. Mengisi botol penampung sampel dengan larutan absorben yang telah dipanaskan untuk digunakan sebagai larutan standar titrasi karbonat.
5. Mengalirkan larutan absorban melalui atas kolom dengan rate sesuai variabel (0.5, 0.75, 1 Liter Per Menit).
6. Mengalirkan gas sintesis melalui dasar kolom dengan rate 40 LPM (Liter Per Menit).
7. Mengambil sampel dari Tangki penampung larutan hasil absorpsi pada saat 4 menit waktu oprasi.

3.4.4 Titrasi

1. Prosedur Analisa Tittrasi

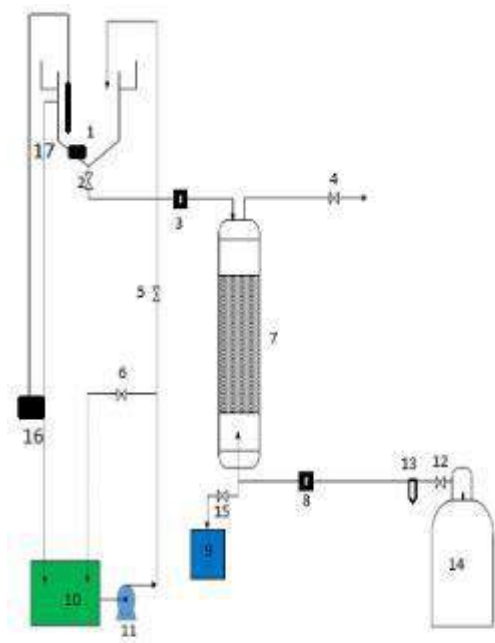
- a. Mengencerkan sampel 1 mL menjadi 100 mL dengan menambahkan aquades
- b. Membagi dua larutan sampel yang telah diencerkan menjadi masing-masing 50 mL
- c. Menetesi larutan tersebut dengan larutan PP
- d. Melakukan titrasi pada larutan tersebut dengan HCl yang telah disiapkan, hingga larutan berubah warna menjadi merah muda dan mencatat volume HCl yang dibutuhkan



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian pemisahan CO_2

3.5 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian adalah:



1. Tangki penyimpanan larutan absorbent
2. Valve aliran larutan ke kolom absorpsi
3. flowmeter larutan ke kolom absorpsi
4. Valve sampling gas ke luar dari kolom absorpsi
5. Valve aliran larutan ke tangki Tangki penyimpanan absorbent
6. Valve aliran larutan by pass
7. kolom absorpsi
8. flowmeter gas masuk ke kolom absorpsi
9. Tangki penampung larutan hasil absorpsi
10. Tangki overflow
11. Pompa
12. Valve gas masuk Packed column
13. Manometer gas ke column
14. Tabung Gas
15. Valve aliran ke tangki penampung larutan hasil absorpsi
16. Pengontrol temperatur
17. heater

Gambar 3.2 Skema rangkaian alat pada unit pemisahan CO₂

3.6 Pengujian Dengan Metode Titrasi

Titration asam basa disebut juga titration netralisasi asam basa, dimana jumlah asam yang mengandung 1 mol H⁺ akan selalu bereaksi secara sempurna dengan jumlah basa yang mengandung 1 mol OH⁻. Titik dalam titration dimana jumlah asam dan basa berada dalam jumlah yang sama dan disebut titik ekuivalen. Penentuan konsentrasi larutan asam melalui perhitungan volume titration larutan basa dan garam dari asam lemah dengan larutan baku asam disebut asidimetri.

Dalam hal ini jumlah asam yang tepat ekuivalen ditentukan dengan jumlah basa yang ada. Penentuan konsentrasi larutan basa melalui perhitungan volume titration larutan asam dan garam dari basa lemah dengan larutan baku basa disebut alkalimetri. Disini jumlah basa yang tepat ekuivalen secara kimia ditentukan dengan jumlah asam yang ada

Dari metode titrasi dapat diketahui molaritas larutan masuk dan keluar absorber. Analisa efisiensi penyerapan CO₂ dihitung dari perubahan konsentrasi karbonat pada larutan yang diuji dengan metode titrasi.

3.7 Pengolahan Data

1. Menghitung % CO₂ Removal

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

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

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

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

- Menghitung Nilai Karbonat yang Berreaksi :

$$\text{Perubahan mol CO}_3^{2-} \left(\frac{\text{mol}}{\text{menit}} \right) =$$

$$\left(n \text{ CO}_3^{2-} \text{ masuk} \left(\frac{\text{mol}}{\text{liter}} \right) - n \text{ CO}_3^{2-} \text{ keluar} \left(\frac{\text{mol}}{\text{liter}} \right) \right) \times V_{\text{liquid}} \left(\frac{\text{liter}}{\text{menit}} \right)$$

- Menghitung Mol Gas CO₂ Masuk dan CO₂ Keluar :

$$\text{- Mol CO}_2 \text{ masuk} = \frac{p_{\text{gas}}(\text{atm}) \times V \left(\frac{\text{L}}{\text{menit}} \right)}{0.08205 \frac{\text{L.atm}}{\text{mol.K}} \times T(\text{K})}$$

$$\text{- Mol CO}_2 \text{ keluar} = \text{mol CO}_2 \text{ masuk} - \text{mol karbonat bereaksi}$$

- Menghitung % CO₂ Removal :

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

2. Menghitung CO₂ loading

$$\text{CO}_2 \text{ loading} = \frac{\text{CO}_2 \text{ yang terserap}}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini akan digunakan reaktor *packed column* dengan tinggi 1.50 m dan diameter kolom 5 cm. Kolom tersebut akan diisi dengan packing disusun secara acak dan secara terstruktur yang bertujuan untuk memperbesar waktu kontak antara gas dan absorben selama penyerapan CO₂. Ada 2 jenis packing yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Rasching Ring* yang secara umum telah digunakan di industri dan *steel wool*. Dalam kolom kontak gas dan absorben dikontakkan secara *countercurrent* dimana gas dengan komposisi 40% CO₂ dan 60% N₂ dialirkan dengan laju alir tetap pada 40 LPM dari bagian bawah kolom dan absorben dengan komposisi DEA (sesuai variable konsentrasi), Potassium karbonat (K₂CO₃) dan aquades dialirkan dari bagian atas kolom dengan laju alir sesuai variabel yaitu 0.5, 0.75 dan 1 LPM.

Pembuatan absorben dimulai dengan menimbang potasium karbonat (K₂CO₃) sebanyak 30 persen berat. potasium karbonat dengan nilai tersebut merupakan nilai yang sesuai dan baik digunakan dalam aplikasi penyerapan CO₂ (Nielson dan Kohl, 1997), kemudian menambahkan DEA sesuai konsentrasi variable yang diinginkan yaitu 1,2,3 dan 4 persen berat dan kemudian menambahkan aquades.

Pada penelitian ini digunakan absorpsi reaktif yang merupakan pemisahan gas CO₂ dan komponen-komponen lain dari fase gas dengan cara dikontakkan dengan fase cair. Dalam kolom kontak lapisan gas-cair akan dipisahkan dalam bentuk fase cair dan fase gas. Gas akan terabsorpsi ke dalam cairan dengan cara berdifusi melalui lapisan interface. Pada saat gas berdifusi, gas tersebut akan bereaksi dengan Potassium karbonat (K₂CO₃) dan komponen lainnya yang ada di dalam larutan yang menghasilkan karbonat dan bikarbonat dan produk reaksi lain. Prinsip absorpsi pada penelitian ini adalah perbedaan kelarutan antara gas CO₂ dan gas N₂ sehingga hanya gas CO₂ yang akan terserap kedalam fasa cair.

Laju absorpsi dari Potassium karbonat berjalan lambat dalam fase cair. Menurut (Zhao dkk, 2011) ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk memperbaiki laju penyerapan dari K_2CO_3 yaitu dengan penambahan promotor yang berfungsi untuk mempercepat laju absorpsi gas dalam larutan K_2CO_3 atau dengan memperbaiki transfer massa menggunakan packing. Kedua cara tersebut akan digunakan dalam penelitian ini.

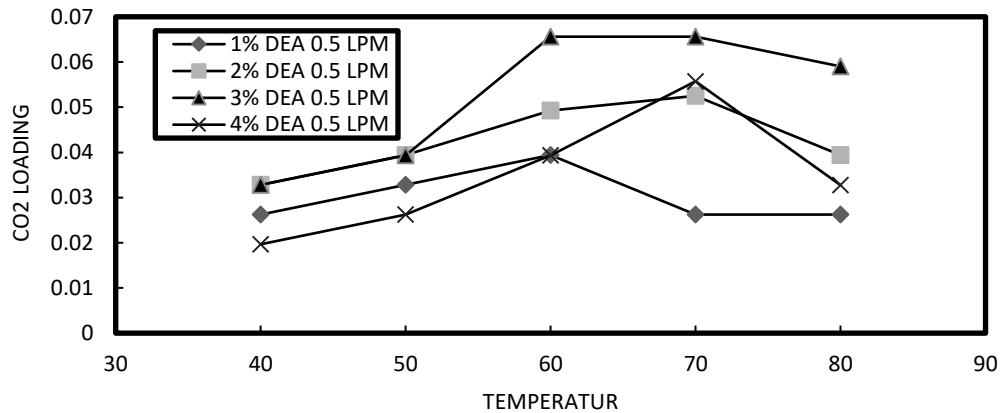
Pada penelitian ini variable penelitian yang digunakan adalah temperatur, absorben, konsentasi DEA, laju alir absorben dan jenis packing.

% CO_2 Removal dan CO_2 loading

Besarnya CO_2 yang terabsorpsi dapat dinyatakan dalam % CO_2 removal dan CO_2 loading. Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap % CO_2 removal dan CO_2 loading adalah seperti temperatur, konsentrasi promotor, laju alir absorben dan jenis packing yang digunakan.

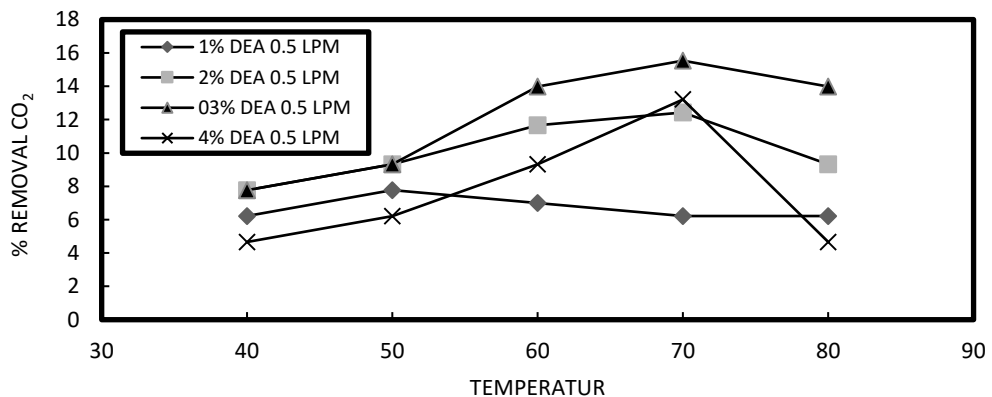
4.1 Pengaruh konsentrasi DEA terhadap CO_2 Loading dan % Removal CO_2

Konsentrasi DEA dalam K_2CO_3 memberikan pengaruh yang sangat penting dalam penyerapan CO_2 seperti pada Pada **Gambar 4.1** dapat dilihat bahwa pertamanya ketika konsentrasi DEA bertambah dalam potassium karbonat maka nilai CO_2 Loading pada laju alir 0.5 LPM akan meningkat berturut-turut $0.0393 \frac{mol CO_2}{mol K_2CO_3}$ pada konsentrasi DEA 1%, $0.0557 \frac{mol CO_2}{mol K_2CO_3}$ konsentrasi DEA 2% , dan pada konsentrasi DEA 3% $0.0655 \frac{mol CO_2}{mol K_2CO_3}$, tetapi pada konsentrasi DEA 4% penambahan konsentrasi tidak berpengaruh lagi terhadap peningkatan nilai CO_2 loading $0.0525 \frac{mol CO_2}{mol K_2CO_3}$.



Gambar.4.1 pengaruh konsentrasi DEA dan temperatur terhadap CO₂ Loading dengan menggunakan *packing raschig ring* pada laju alir 0.5 LPM

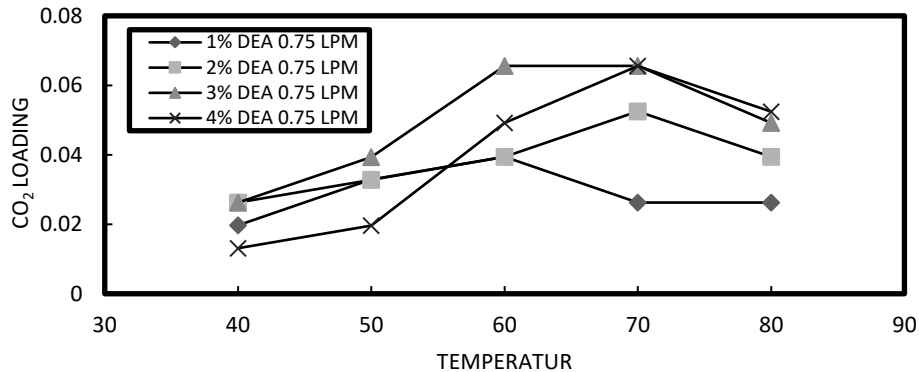
Gambar 4.2 pertama-tama ketika konsentrasi DEA bertambah dalam potassium karbonat maka nilai % removal CO₂ pada laju alir 0.5 LPM akan meningkat berturut-turut CO₂ 6.995% pada konsentrasi DEA 1%, 12.429% konsentrasi DEA 2%, dan 15.536% pada konsentrasi DEA 3%, tetapi pada penambahan konsentrasi DEA 4% tidak berpengaruh lagi terhadap nilai % removal CO₂ sehingga nilai % removal CO₂ 13.206%.



Gambar.4.2 pengaruh konsentrasi DEA dan temperatur terhadap % Removal CO₂ dengan menggunakan *packing raschig ring* pada laju alir 0.5 LPM.

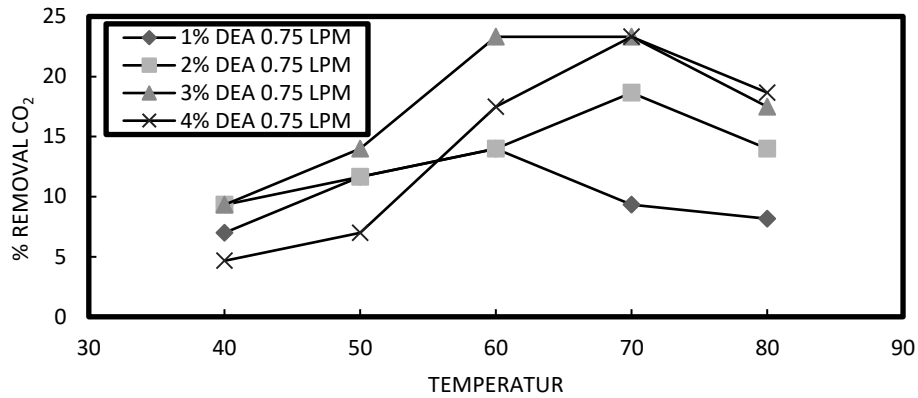
Gambar 4.3 pertama-tama ketika konsentrasi DEA bertambah dalam potassium karbonat maka nilai CO₂ Loading pada laju alir 0.75 LPM akan meningkat berturut-turut 0.0394 $\frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$ pada konsentrasi DEA 1%,

0.0525 $\frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$ konsentrasi DEA 2%, dan 0.0655 $\frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$ pada konsentrasi DEA 3%, tetapi pada konsentrasi DEA 4% penambahan konsentrasi tidak berpengaruh lagi terhadap peningkatan nilai CO₂ loading 0.0655 $\frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$.

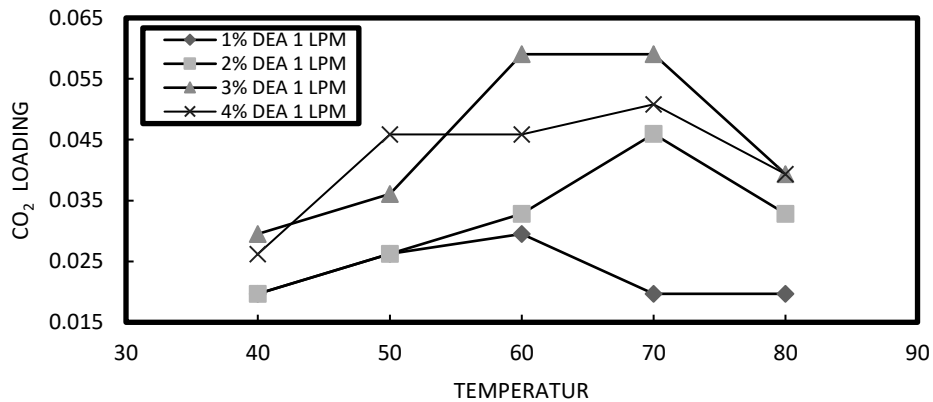


Gambar.4.3 pengaruh konsentrasi DEA dan temperatur terhadap CO₂ Loading dengan menggunakan *packing raschig ring* pada laju alir 0.75 LPM

Gambar 4.4 ketika konsentrasi DEA bertambah dalam potassium karbonat maka nilai % removal CO₂ pada laju alir 0.75 LPM akan meningkat berturut-turut 13.983% pada konsentrasi DEA 1%, 18.644% konsentrasi DEA 2%, dan 23.304% pada konsentrasi DEA 3%, tetapi pada penambahan konsentrasi DEA 4% tidak berpengaruh lagi terhadap nilai % removal CO₂ sehingga nilai % removal CO₂ 23.305%.

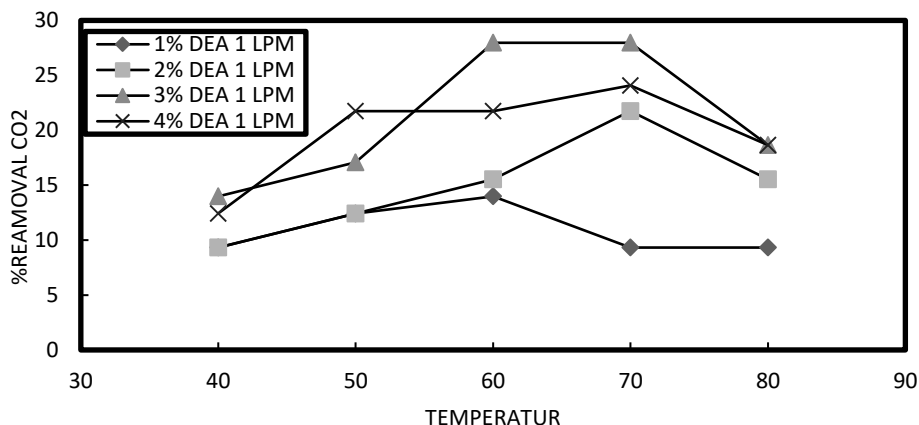


Gambar.4.4 pengaruh konsentrasi DEA dan temperatur terhadap % Removal CO₂ dengan menggunakan *packing raschig ring* pada laju alir 0.75 LPM..



Gambar.4.5 pengaruh konsentrasi DEA dan temperatur terhadap CO₂ Loading dengan menggunakan *packing raschig ring* pada laju alir 1 LPM

Gambar 4.5 pertama-tama ketika konsentrasi DEA bertambah dalam potassium karbonat maka nilai CO₂ Loading pada laju alir 1 LPM akan meningkat berturut-turut nilai $0.0295 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$ pada konsentrasi DEA 1%, $0.0459 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$, konsentrasi DEA 2% dan $0.0655 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$ pada konsentrasi DEA 3%, tetapi pada konsentrasi DEA 4% penambahan konsentrasi tidak berpengaruh lagi terhadap peningkatan nilai CO₂ loading $0.0508 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$.



Gambar.4.6 pengaruh konsentrasi DEA dan temperatur terhadap % Removal CO₂ dengan menggunakan packing raschig ring pada laju alir 1 LPM.

Gambar 4.6 ketika konsentrasi DEA bertambah dalam potassium karbonat maka nilai % removal CO₂ pada laju alir 1 LPM akan meningkat berturut-turut 13.983% pada konsentrasi DEA 1%, 21.751% konsentrasi DEA 2%, dan 27.965% konsentrasi DEA 3%, tetapi pada konsentrasi DEA 4% penambahan konsentrasi tidak berpengaruh lagi terhadap peningkatan nilai % removal CO₂ 24.081%.

Dari **Gambar 4.1** sampai **Gambar 4.6** dapat dilihat bahwa pertama-tama ketika konsentrasi DEA bertambah dalam potassium karbonat maka nilai CO₂ Loading dan % Removal CO₂ akan meningkat seperti pada penambahan konsentrasi promotor DEA 1-3% hal ini dikarenakan konsentrasi DEA berkontribusi dalam meningkatkan difusivitas dan transfer massa yang lebih tinggi karena jumlah molekul DEA yang bertambah dalam larutan, hal ini menyebabkan penyerapan CO₂ pada lapisan *interface* lebih banyak dan meningkatkan CO₂ untuk kontak dan bereaksi dengan absorben. konsentrasi dari DEA dalam larutan K₂CO₃ menyebabkan CO₂ yang terserap semakin besar. Selain berpengaruh positif terhadap penyerapan konsentrasi dapat berpengaruh negatif yaitu dengan konsentrasi yang tinggi akan berakibat pada viskositas yang tinggi yang dapat berpengaruh penyerapan CO₂ Menurut Setameteekul dkk viskositas yang tinggi berpengaruh pada kemampuan absorben dalam menyebar sehingga pada penambahan konsentrasi 4% tidak berpengaruh lagi terhadap peningkatan CO₂ loading dan % removal CO₂. Penjelasan yang sama diberikan oleh Weiland, dkk 1993

Peningkatan konsentrasi dalam larutan memiliki dua efek yang berlawanan untuk penyerapan CO₂ Pertama, meningkatkan CO₂ loading dan yang Kedua, adalah Peningkatan viskositas larutan menyebabkan penurunan koefisien difusi dan tingkat penyerapan. Pengaruh viskositas terhadap penyerapan dapat dijelaskan dengan persamaan:

$$R = E \cdot 0.0051 (a_T \cdot d_\rho)^{0.4} \left(\frac{L_0}{a_w \cdot \mu_L}\right)^{0.667} \left(\frac{\mu_L}{\rho_L \cdot D_L}\right)^{-0.5} \left(\frac{\rho_L}{\mu_L \cdot g}\right)^{-0.333} (CA_i - CA^0)$$

Selain karna pengaruh viskositas Penjelasan yang mungkin untuk kasus ini menurut Rahimpour & Kashkooli pada tahun 2004 adalah bahwa meningkatnya konsentrasi amina mencerminkan *enhancement factor* yang lebih tinggi dalam fase cair, yang berbanding lurus dengan k_g dalam kasus Transfer massa fase cair sehingga transfer massa fase gas dianggap sebagai faktor utama yang mengendalikan proses penyerapan, sehingga penyerapan CO₂ tidak terpengaruh lagi dengan penambahan konsentrasi promotor 4%. Perilaku ini dapat dijelaskan dengan persamaan:

$$\frac{1}{K_G} = \frac{1}{k_g} + \frac{H}{E \cdot k_L}$$

Dimana K_G adalah koefisien transfer massa keseluruhan, k_L dan k_g adalah koefisien transfer massa fasa liquid dan fasa gas, H adalah konstanta Hendry dan E adalah *enhancement factor*.

Penelitian yang sama yang dilakukan oleh Hussein pada tahun 2015 menunjukkan bahwa penambahan promotor MEA kedalam K₂CO₃ pertama-tama meningkatkan perpindahan massa secara keseluruhan sampai mencapai konsentrasi promotor 0,06 mol/L akan tetapi pada konsentrasi promotor di atas konsentrasi ini tidak berpengaruh pada konsentrasi CO₂ yang terserap. Dengan semakin meningkatnya konsentrasi promotor, perpindahan massa fasa gas akan menjadi faktor utama yang mengendalikan proses penyerapan, sehingga penyerapan CO₂ tidak terpengaruh dengan meningkatkan konsentrasi promotor dalam kasus ini.

4.2 Pengaruh temperature terhadap CO₂ Loading dan % Removal CO₂

Peranan temperatur terhadap CO₂ Loading dan % Removal CO₂ dapat dilihat:

Pada **Gambar 4.1** pada konsentrasi DEA 3% dengan laju alir 0.5 LPM CO₂ Loading pertama meningkat dengan meningkatnya temperatur seperti pada temperatur 40; 50; 60⁰C dan 70⁰C CO₂ Loading meningkat berturut-turut 0.0327; 0.0393; 0.0655 dan 0.0655 $\frac{mol\ CO_2}{mol\ K_2CO_3}$ tetapi pada temperatur 80⁰C nilai CO₂ Loading turun menjadi 0.0590 $\frac{mol\ CO_2}{mol\ K_2CO_3}$.

Gambar 4.2 pada konsentrasi DEA 3% dengan laju alir 0.5 LPM % removal CO₂ pertama meningkat dengan meningkatnya temperatur seperti pada temperatur 40; 50 dan 60⁰C 70⁰C berturut-turut 7.768; 9.322; 13.983 dan 15.536% tetapi pada temperatur 80⁰C nilai % removal CO₂ turun menjadi 13.983%.

Gambar 4.3 pada konsentrasi DEA 3% dengan laju alir 0.75 LPM CO₂ Loading pertama meningkat dengan meningkatnya temperatur seperti pada temperatur 40; 50; 60⁰C dan 70⁰C CO₂ Loading meningkat berturut-turut 0.026238; 0.039356; 0.065594 dan 0.065594 $\frac{mol\ CO_2}{mol\ K_2CO_3}$ tetapi pada temperatur 80⁰C nilai CO₂ Loading turun menjadi 0.049195 $\frac{mol\ CO_2}{mol\ K_2CO_3}$.

Gambar 4.4 pada konsentrasi DEA 3% dengan laju alir 0.75 LPM % removal CO₂ pertama meningkat dengan meningkatnya temperatur seperti pada temperatur 40; 50 dan 60⁰C 70⁰C berturut-turut 9.322; 13.983; 23.304 dan 23.304% tetapi pada temperatur 80⁰C nilai % removal CO₂ turun menjadi 17.478%.

Gambar 4.5 pada konsentrasi DEA 3% dengan laju alir 1 LPM CO₂ Loading pertama meningkat dengan meningkatnya temperatur seperti pada temperatur 40; 50; 60⁰C dan 70⁰C CO₂ Loading meningkat berturut-turut 0.029517; 0.036076; 0.059034

dan $0.059034 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$ tetapi pada temperatur 80°C nilai CO_2 Loading turun menjadi $0.039356 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$.

Gambar 4.6 pada konsentrasi DEA 3% dengan laju alir 1 LPM % removal CO_2 pertama meningkat dengan meningkatnya temperatur seperti pada temperatur 40; 50 dan 60°C 70°C berturut-turut 13.983; 17.090; 27.965 dan 27.965% tetapi pada temperatur 80°C nilai % removal CO_2 turun menjadi 18.644%.

Secara umum, temperatur merupakan parameter penting yang mempengaruhi kinetika reaksi. Untuk kinetika penyerapan CO_2 , 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 suhu yang lebih tinggi berkontribusi pada efisiensi transfer massa yang lebih tinggi yang dapat menyebabkan peningkatan penyerapan CO_2 (Tan dkk, 2012). Pada **Gambar 4.1** sampai **Gambar 4.6** pada temperatur $40\text{-}60^\circ\text{C}$ dengan konsentrasi DEA 1% dan $40\text{-}70^\circ\text{C}$ pada konsentrasi DEA 2-4% CO_2 loading % removal CO_2 meningkat dengan meningkatnya temperatur karena yang lebih berperan dalam penyerapan adalah kinetika reaksi. Menurut Yan dkk 2014 selain meningkatkan difusi dan transfer massa temperatur dapat memberi pengaruh negatif yaitu pada temperatur tinggi kelarutan CO_2 akan turun seperti pada pada temperatur $70\text{-}80^\circ\text{C}$ dengan konsentrasi DEA 1% konsentrasi DEA 1% dan 80°C pada konsentrasi DEA 2-4% CO_2 loading % removal CO_2 turun dengan meningkatnya temperatur hal ini dikarenakan yang lebih berperan dalam penyerapan adalah kelarutan gas CO_2 . Penurunan kelarutan CO_2 ini dapat dijelaskan dengan persamaan:

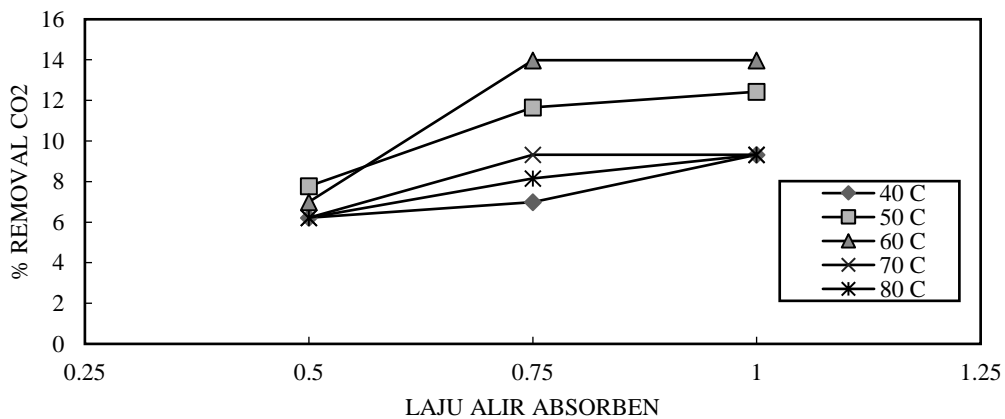
$$R = E \cdot k_L (CA_i - CA^0)$$

kelarutan yang menurun akan menghambat laju dari penyerapan dari CO_2 Yan dkk, 2014 dan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Aroowilas dkk, 2001

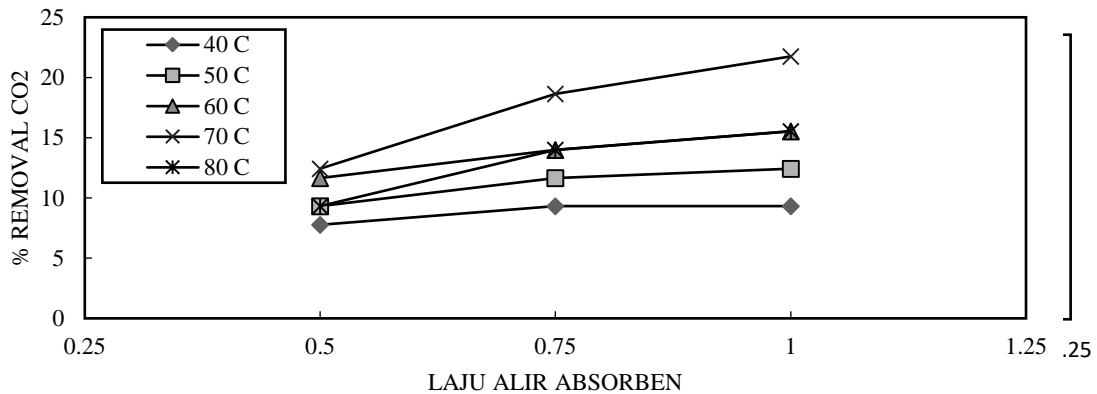
yaitu saat temperatur yang digunakan terlalu tinggi mengakibatkan efisiensi dari transfer massa menurun. Penurunan efisiensi dari transfer massa ini diakibatkan oleh sifat termodinamika yang eksotermik dari proses. Temperatur yang terlalu tinggi juga menyebabkan meningkatnya tekanan uap dari CO₂ pada larutan, oleh karenanya kelarutan fisik dari CO₂ menurun dalam larutan K₂CO₃, hal ini akan mengganggu proses penyerapan CO₂.

4.3 Pengaruh laju alir absorben terhadap CO₂ Loading dan % Removal CO₂

Laju alir absorben secara signifikan berdampak pada pengurangan CO₂ dalam gas. Contoh Hubungan antara laju alir absorben, CO₂ Loading dan % Removal CO₂ ditunjukkan pada **Gambar 4.7** ketika laju alir absorben meningkat dari 0.5; 0.75 dan 1 LPM % Removal CO₂ terus meningkat berturut turut menjadi dan 6.995; 13.983; 13.983% pada konsentrasi 1% dan temperatur 60⁰C.

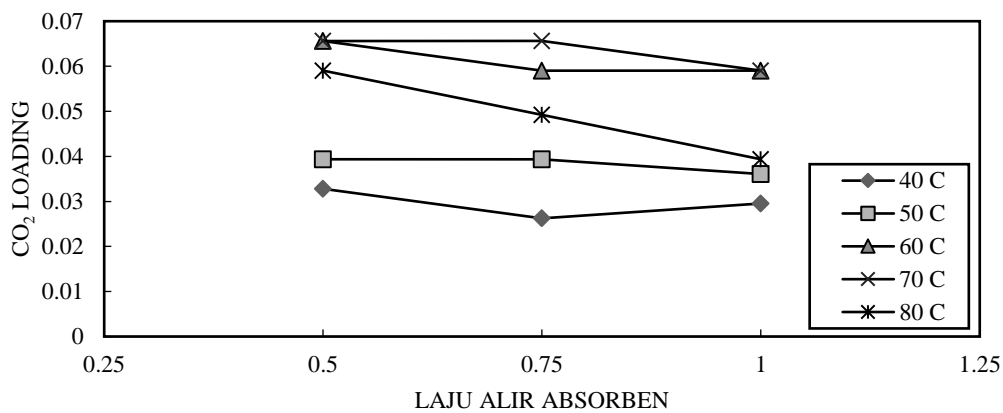


Gambar.4.7 Pengaruh Laju alir absorben terhadap % removal CO₂ dengan menggunakan *packing raschig ring* pada konsentrasi DEA 1%



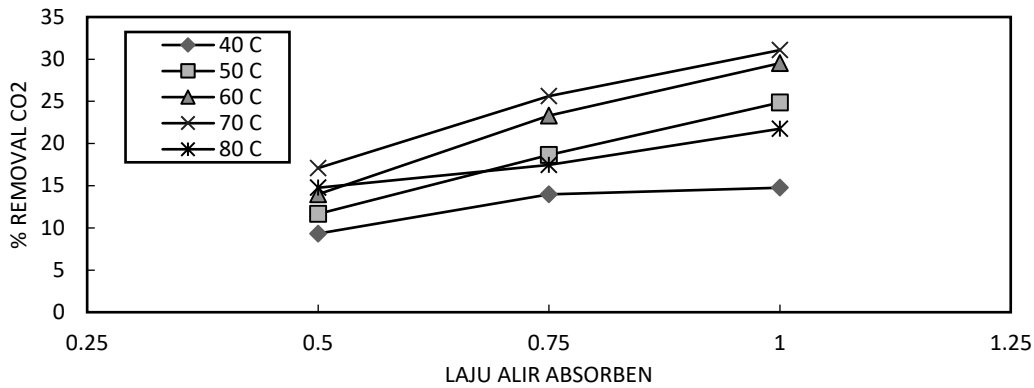
Gambar 4.8 Laju alir absorben terhadap % removal CO₂ dengan menggunakan *packing raschig ring* pada konsentrasi DEA 2%

Gambar 4.8 ketika laju alir absorben meningkat dari 0.5; 0.75 dan 1 LPM % Removal CO₂ terus meningkat berturut turut menjadi dan 12.429; 18.644; 13.983% pada konsentrasi 2% dan temperatur 70⁰C.



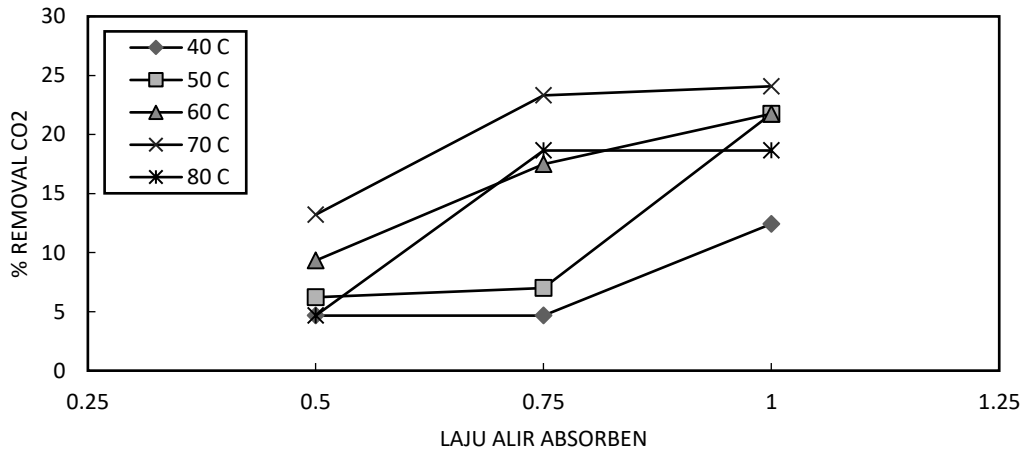
Gambar 4.9 Laju alir absorben terhadap % removal CO₂ dengan menggunakan *packing raschig ring* pada konsentrasi DEA 3%

Gambar 4.9 ketika laju alir absorben meningkat dari 0.5; 0.75 dan 1 LPM % Removal CO₂ terus meningkat berturut turut menjadi dan 15.536; 23.304; 27.965% pada konsentrasi 3% dan temperatur 70⁰C.



Gambar.4.10 Laju alir absorben terhadap % removal CO₂ dengan menggunakan *packing steel wool* pada konsentrasi DEA 3%.

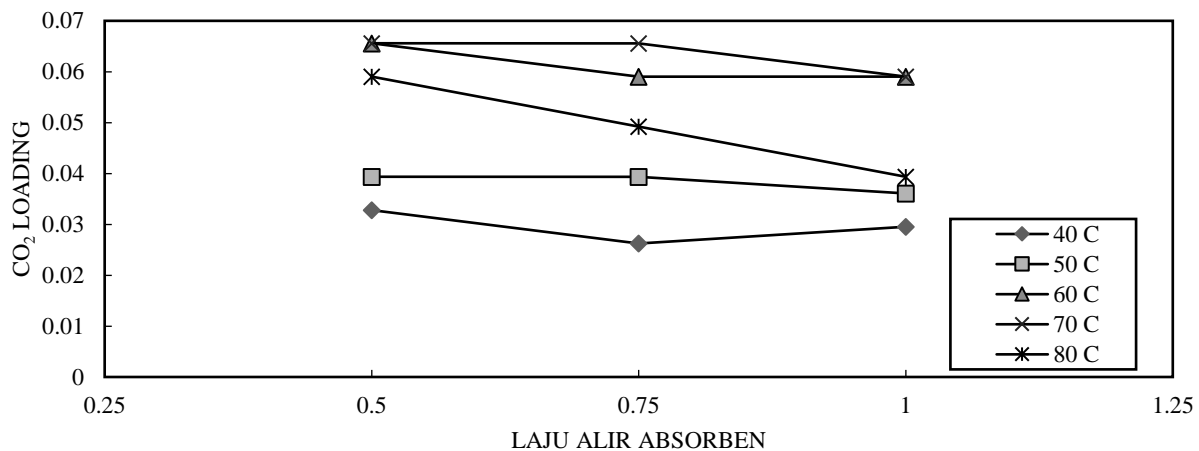
Gambar 4.10 pada penggunaan *packing steel wool* pengaruh yang sama diberikan oleh laju alir yaitu ketika laju alir absorben meningkat dari 0.5; 0.75 dan 1 LPM % Removal CO₂ terus meningkat berturut turut menjadi dan 17.0900; 25.63512; 31.0729% pada konsentrasi 3% dan temperatur 70⁰C.



Gambar.4.11 Laju alir absorben terhadap % removal CO₂ dengan menggunakan *packing raschig ring* pada konsentrasi DEA 4%.

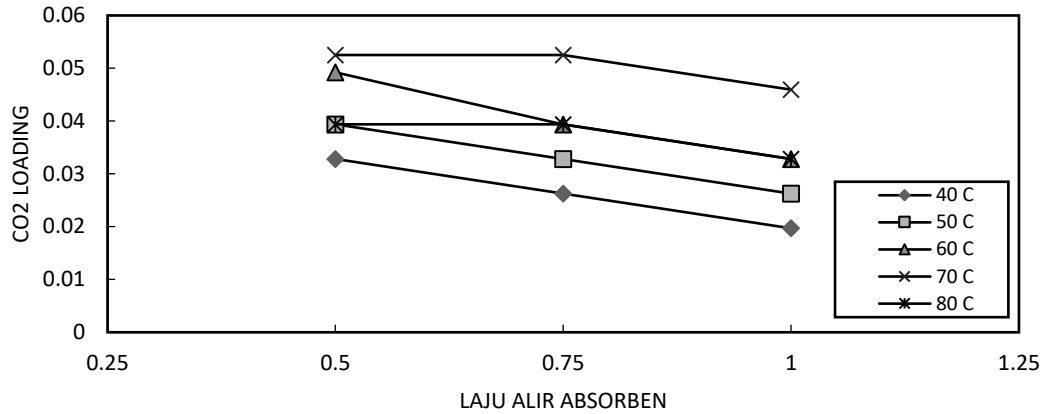
Gambar 4.11 pada konsentrasi 4% pengaruh yang sama diberikan oleh laju alir yaitu ketika laju alir absorben meningkat dari 0.5; 0.75 dan 1 LPM % Removal CO₂ terus meningkat berturut turut menjadi dan 13.206; 23.305; 24.081% pada temperatur 70⁰C.

Dari gambar **Gambar 4.7** sampai **Gambar 4.11** dapat dijelaskan bahwa laju alir absorben berpengaruh pada derajat kebasahan dari luas packing sehingga kontak antara gas dan absorben menjadi besar dan meningkat. Performa penyerapan CO₂. Laju alir absorben berpengaruh pada ketebalan *interface* yaitu menurunkan resisten fase cair yang berpengaruh pada transfer massa. Laju absorpsi dipengaruhi oleh konsentrasi reaktan dalam liquid dan keturbulensian laju alir. Kenaikan laju alir berpengaruh terhadap laju penyerapan. Peningkatan laju alir larutan memungkinkan kalium karbonat menyerap lebih banyak mol CO₂ yang terserap. Menurut Aroonwilas & Tontiwachwuthikul 1998, kenaikan laju alir cairan menyebabkan koefisien perpindahan massa pada sisi liquid yang lebih tinggi dan lebih tinggi Ketersediaan molekul absorben yang bereaksi dengan CO₂ per waktu. Berbeda dengan % removal nilai CO₂ Loading meningkat sampai 0.75 LPM dan turun pada 1 LPM seperti terlihat pada **Gambar 4.12**.



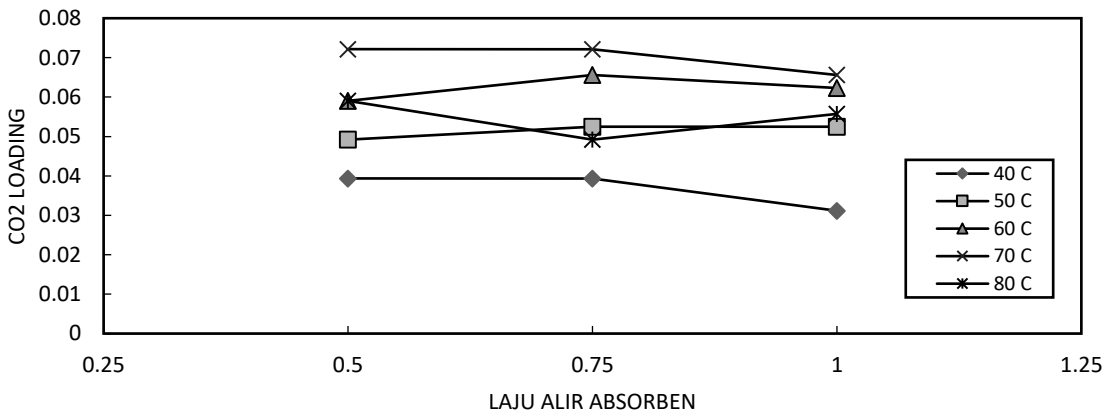
Gambar.4.12 Pengaruh Laju alir absorben terhadap CO₂ Loading dengan menggunakan *packing raschig ring* pada konsentrasi DEA 1%.

Gambar 4.12 dengan konsentrasi DEA 1% menunjukkan nilai CO₂ loading pada laju alir 0.5; 0.75 tidak meningkat 0.0394; 0.0394 dan pada 1 LPM nilai CO₂ loading turun menjadi $0.0295 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$ pada temperatur 60⁰C. **Gambar.4.13** Pengaruh Laju alir absorben terhadap CO₂ Loading dengan menggunakan *packing raschig ring* pada konsentrasi DEA 2%



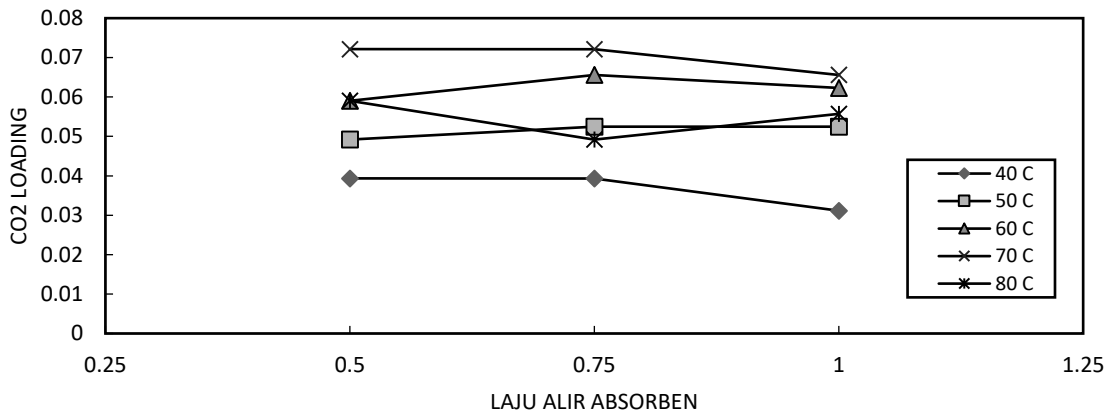
Gambar.4.13 Pengaruh Laju alir absorbent terhadap CO₂ Loading dengan menggunakan *packing raschig ring* pada konsentrasi DEA 2%.

Gambar 4.13 dengan konsentrasi DEA 2% menunjukkan nilai CO₂ loading pada laju alir 0.5; 0.75 tidak meningkat 0.0525; 0.0525 dan pada 1 LPM nilai CO₂ loading turun menjadi $0.0459 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$ pada temperatur 70⁰C.



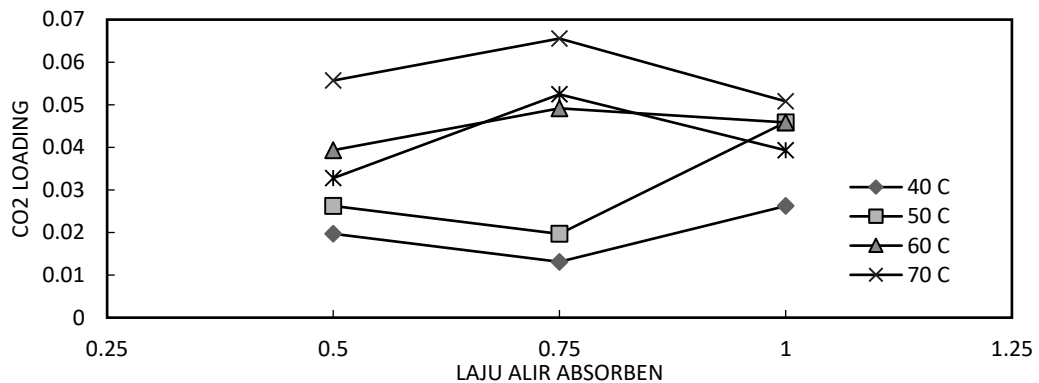
Gambar.4.14 Laju alir absorbent dan temperatur terhadap CO₂ Loading dengan menggunakan *packing raschig ring* pada konsentrasi DEA 3%.

Gambar 4.14 dengan konsentrasi DEA 2% menunjukkan nilai CO₂ loading pada laju alir 0.5; 0.75 tidak meningkat 0.0655; 0.0655 dan pada 1 LPM nilai CO₂ loading turun menjadi $0.0590 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$ pada temperatur 70⁰C.



Gambar.4.15 Laju alir absorben terhadap CO₂ Loading dengan menggunakan *packing steel wool* pada konsentrasi DEA 3%.

Gambar 4.15 dengan konsentrasi DEA 2% menunjukkan nilai CO₂ loading pada laju alir 0.5; 0.75 tidak meningkat 0.0721; 0.0721 dan pada 1 LPM nilai CO₂ loading turun menjadi $0.0655 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$ pada temperatur 70°C



Gambar.4.16 Laju alir absorben terhadap CO₂ Loading dengan menggunakan *packing raschig ring* pada konsentrasi DEA 4%.

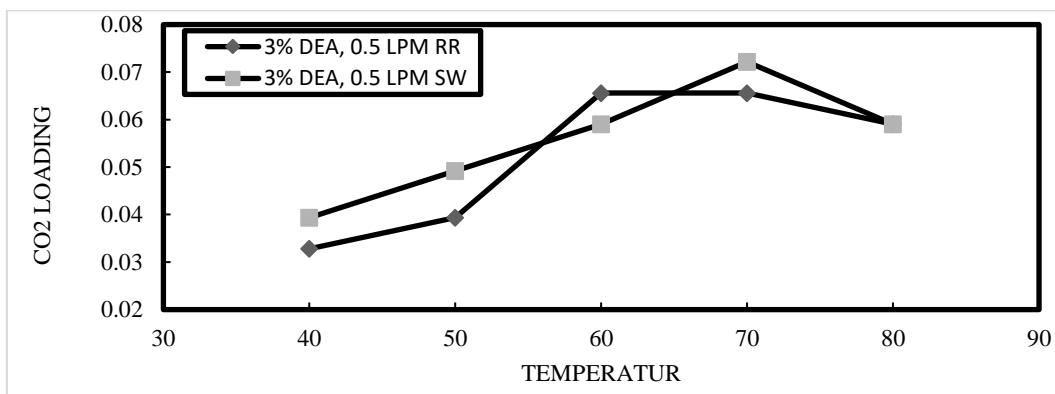
Gambar 4.16 dengan konsentrasi DEA 2% menunjukkan nilai CO₂ loading pada laju alir 0.5; 0.75meningkat 0.05572; 0.0655 dan pada 1 LPM nilai CO₂ loading turun menjadi $0.0508 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$ pada temperatur 70°C

Pada laju alir 0.5 – 0.75 LPM menyebabkan penyerapan CO₂ meningkat sehingga nilai CO₂ loading meningkat, kenaikan laju alir 0.75 – 1 LPM CO₂ terserap tidak terlalu signifikan sehingga loading menjadi turun. Penurunan CO₂ loading menunjukkan masih banyak K₂CO₃ tidak terikat atau K₂CO₃ berlebih

4.4 Pengaruh tipe *Packing* terhadap CO₂ Loading dan % Removal CO₂

Packing dalam kolom penyerapan merupakan instrument yang digunakan untuk memperbesar waktu kontak antara liquid dan gas sehingga CO₂ yang terserap akan lebih besar. **Gambar.4.17** sampai **Gambar 4.22** menunjukkan bagaimana pengaruh temperatur dan tipe *packing raschig rings* yang disusun secara acak dan *steel wool* yang disusun secara terstruktur terhadap CO₂ Loading dan % removal CO₂.

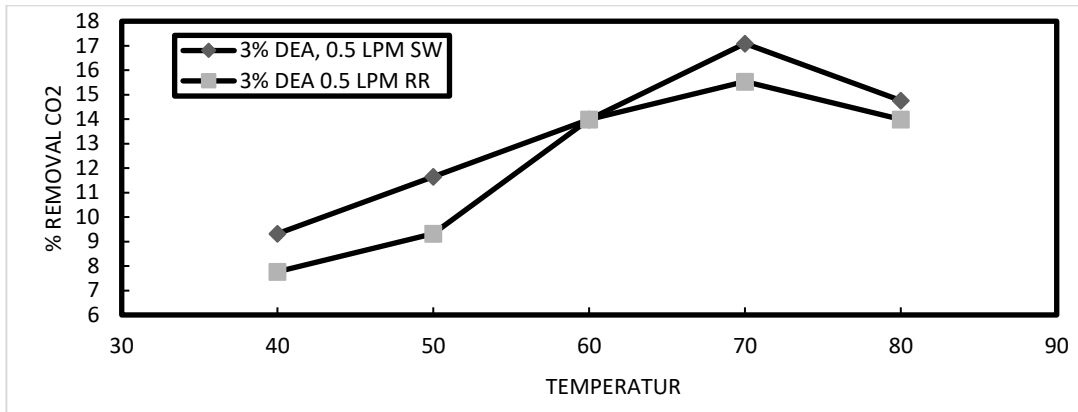
Gambar.4.17 menunjukkan pengaruh penggunaan tipe *packing raschig rings* dan *packing steel wool* terhadap CO₂ loading pada konsentrasi konsentrasi DEA 3% dengan Laju alir absorben 0.5 LPM. Pada penggunaan *packing raschig rings* yang disusun secara acak nilai CO₂ Loading $0.0655 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$ dan *packing steel wool* yang disusun secara terstruktur CO₂ Loading meningkat menjadi $0.0721 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$.



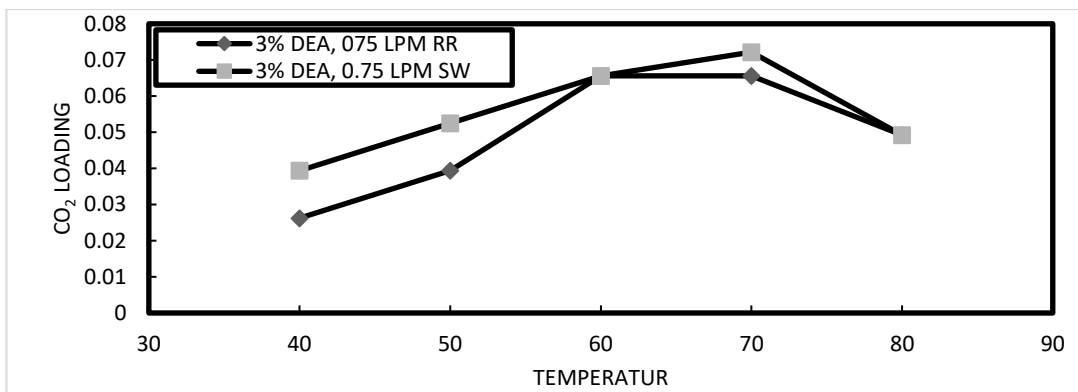
Gambar.4.17 Pengaruh temperature dan tipe *packing* terhadap CO₂ Loading pada konsentrasi DEA 3% dan Laju alir absorben 0.5 LPM

Gambar.4.18 menunjukkan pengaruh penggunaan tipe *packing raschig rings* dan *packing steel wool* terhadap % removal CO₂ pada konsentrasi konsentrasi DEA 3% dengan Laju alir absorben 0.5 LPM. Pada penggunaan *packing raschig rings* yang

disusun secara acak nilai CO₂ Loading 15.5364 % dan *packing steel wool* yang disusun secara terstruktur CO₂ Loading meningkat menjadi 17.0900 %

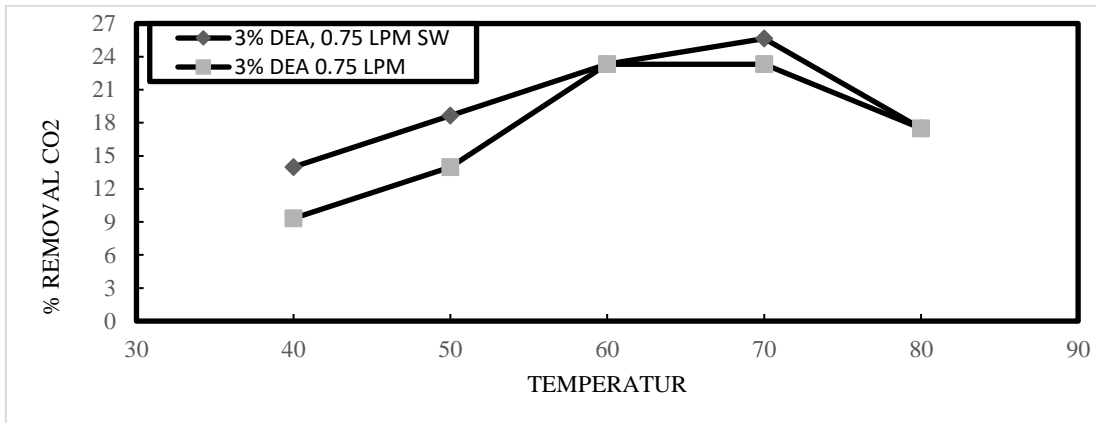


Gambar.4.18 Pengaruh temperature dan tipe *packing* terhadap % removal CO₂ pada konsentrasi DEA 3% dan Laju alir absorben 0.5 LPM



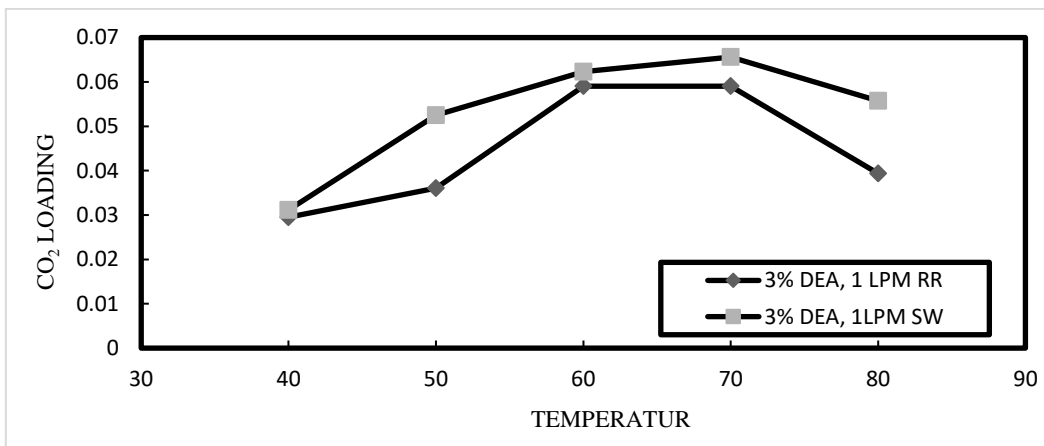
Gambar.4.19 Pengaruh temperature dan tipe *packing* terhadap CO₂ Loading pada konsentrasi DEA 3% dan laju alir absorben 0.75 LPM

Gambar.4.19 menunjukkan pengaruh penggunaan tipe *packing raschig rings* dan *packing steel wool* terhadap CO₂ loading pada konsentrasi konsentrasi DEA 3% dengan Laju alir absorben 0.75 LPM. Pada penggunaan *packing raschig rings* yang disusun secara acak nilai CO₂ Loading $0.0655 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$ dan *packing steel wool* yang disusun secara terstruktur CO₂ Loading meningkat menjadi $0.0721 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$.



Gambar.4.20 Pengaruh temperature dan tipe *packing* terhadap % removal CO₂ pada konsentrasi DEA 3% dan Laju alir absorben 0.75 LPM.

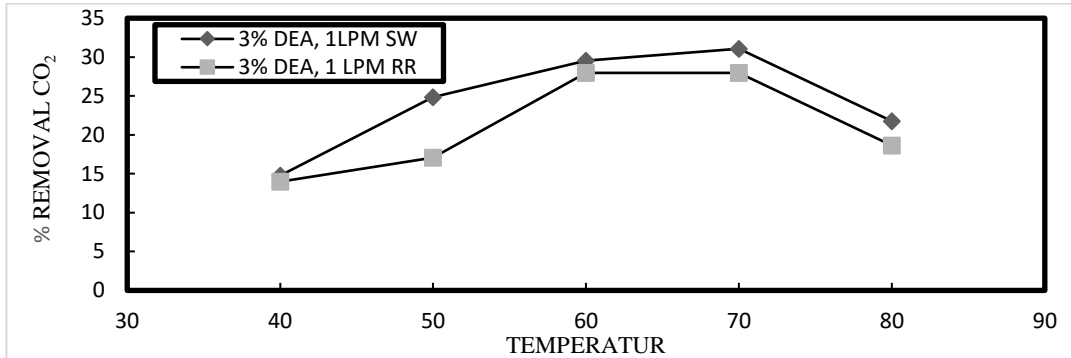
Gambar.4.20 menunjukkan pengaruh penggunaan tipe *packing raschig rings* dan *packing steel wool* terhadap % removal CO₂ pada konsentrasi konsentrasi DEA 3% dengan Laju alir absorben 0.75 LPM. Pada penggunaan *packing raschig rings* yang disusun secara acak nilai CO₂ Loading 23.3046 % dan *packing steel wool* yang disusun secara terstruktur CO₂ Loading meningkat menjadi 25.6351 %



Gambar.4.21 Pengaruh temperature dan tipe *packing* terhadap % removal CO₂ pada konsentrasi DEA 3% dan laju alir absorben 1 LPM

Gambar.4.21 menunjukkan pengaruh penggunaan tipe *packing raschig rings* dan *packing steel wool* terhadap CO₂ loading pada konsentrasi konsentrasi DEA 3% dengan Laju alir absorben 1 LPM. Pada penggunaan *packing raschig rings* yang disusun secara

acak nilai CO₂ Loading $0.0590 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$ dan *packing steel wool* yang disusun secara terstruktur CO₂ Loading meningkat menjadi $0.0656 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$.



Gambar.4.22 Pengaruh temperature dan tipe *packing* terhadap % removal CO₂ pada konsentrasi DEA 3% dan Laju alir absorben 1 LPM.

Gambar.4.22 menunjukkan pengaruh penggunaan tipe *packing raschig rings* dan *packing steel wool* terhadap % removal CO₂ pada konsentrasi konsentrasi DEA 3% dengan Laju alir absorben 1 LPM. Pada penggunaan *packing raschig rings* yang disusun secara acak nilai CO₂ Loading 27.9655 % dan *packing steel wool* yang disusun secara terstruktur CO₂ Loading meningkat menjadi 31.0728 %

Tipe *packing* memberi pengaruh pada luas permukaan geometri dan penyebaran larutan dalam kolom penyerapan sehingga berpengaruh pada transfer massa yang lebih baik. Menurut Aroonwilas dkk (1999) struktur *packing* dapat menyediakan koefisien transfer massa lebih besar dibandingkan dengan *packing* yang disusun secara acak. Dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Aroonwilas dkk (1999) yang membandingkan gempak 4A yang disusun secara terstruktur dengan pall ring yang disusun secara acak menyatakan bahwa struktur *packing* memiliki hampir dua kali lipat transfer massa yang dihasilkan pall ring hal ini dikarenakan struktur *packing* memiliki luas permukaan geometri yang lebih besar dibandingkan pall ring yang disusun acak dan menurut Marcia dkk (2009) struktur *packing* memiliki distribusi penyebaran larutan yang lebih merata dibandingkan dengan pall ring yang disusun secara acak. Sehingga *packing* yang disusun secara terstruktur menghasilkan transfer massa yang lebih baik dibandingkan *packing* yang disusun secara acak.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan:

1. Variasi temperature absorben berpengaruh pada meningkatnya % Removal CO₂ dan CO₂ loading dengan meningkatnya temperatur tetapi pada beberapa titik temperatur mengalami penurunan seperti pada temperatur 60⁰C pada 0.5 LPM dan temperatur 70⁰C pada 0.75 dan 1 LPM dengan konsentrasi 1% DEA dan 80⁰C pada konsentrasi 2%, 3% dan 4% hal ini dipengaruhi oleh sifat eksotermik dari reaksi yang terjadi selama penyerapan.
2. Penambahan promotor DEA kedalam K₂CO₃ dengan variasi konsentrasi promotor 1% - 3% berat meningkatkan % Removal CO₂ dan CO₂ loading dikarenakan Konsentrasi DEA berkontribusi dalam meningkatkan difusivitas dan transfer massa yang lebih tinggi karena jumlah molekul DEA yang bertambah dalam larutan, hal ini menyebabkan penyerapan CO₂ pada lapisan *interface* lebih banyak dan meningkatkan CO₂ untuk kontak dan bereaksi dengan absorben dan penambahan 4% DEA tidak berpengaruh pada peningkatan % Removal CO₂ dan CO₂ loading hal ini dikarenakan 2 hal yaitu pengaruh viskositas dan pengaruh peningkatan *enhancement factor* yang lebih tinggi dalam fase cair, sehingga transfer massa fase gas dianggap sebagai faktor utama yang mengendalikan proses penyerapan.
3. Variasi laju alir absorben 0.5 dan 0.75 LPM meningkatkan CO₂ loading 0.0655 dan $0.0655 \frac{mol\ CO_2}{mol\ K_2CO_3}$ dan laju alir absorben 0.75 – 1 LPM tidak terlalu berpengaruh pada nilai CO₂ loading $0.0590 \frac{mol\ CO_2}{mol\ K_2CO_3}$. Penurunan CO₂ loading menunjukkan masih banyak K₂CO₃ tidak terikat atau K₂CO₃ berlebih. Variasi laju alir absorben berpengaruh pada peningkatan % Removal CO₂ 0.5; 0.75 dan 1 LPM % Removal CO₂ terus meningkat berturut turut menjadi dan 15.536; 23.304; 27.965% hal ini dikarenakan peningkatan laju alir larutan memungkinkan kalium karbonat menyerap lebih banyak mole CO₂ yang terserap per menit.

4. Dari hasil eksperimen didapatkan nilai % Removal CO₂ dan CO₂ loading untuk *packing raschig ring* sebesar 28 % pada Konsentrasi 3 % DEA, laju alir 1 LPM, dan temperature 70⁰C dan $0.0656 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$ pada Konsentrasi 3 % DEA, laju alir 0.75 LPM, dan temperature 60⁰C.
5. Dari hasil eksperimen didapatkan nilai % Removal CO₂ dan CO₂ loading untuk *packing steel wool* sebesar 31.0728% pada Konsentrasi 3 % DEA, laju alir 1 LPM, dan temperature 70⁰C dan $0.0721 \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$ pada Konsentrasi 3 % DEA, laju alir 0.75 LPM, dan temperature 70⁰C.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., Salikha, R. N., Kimia, J., & Industri, F. T. (2014). Pemisahan Campuran Etanol – Oktanol – Air dengan Metode Distilasi dalam Structured Packing. *Teknik POMITS*, 3(2), 140–142.
- Ajjam, S. K. A. (1983). CO₂ Capture by Absorption with Potassium Carbonate, 220–228
- Altway, A., & Wijaya, R. P. (2008). Absorpsi Co₂ Dengan Larutan Potasium Karbonat Dalam Packed Column. *Jurnal Teknik Kimia*, 2(2), 5–7.
- Aroonwilas, A., & Tontiwachwuthikul, P. (1998). Mass Transfer Coefficients and Correlation for CO₂ Absorption into 2-Amino-2-methyl-1-propanol (AMP) Using Structured Packing. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 37(2), 569–575. <https://doi.org/10.1021/ie970482w>
- Aroonwilas, A., Veawab, A., & Tontiwachwuthikul, P. (1999). Behavior of the Mass-Transfer Coefficient of Structured Packings in CO₂ Absorbers with Chemical Reactions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 38(5), 2044–2050. <http://doi.org/10.1021/ie980728c>
- Aroonwilas, A., Veawab, A., Chakma, A. & Tontiwachwuthikul. (2001). Solvent formulation for CO₂ separation from flue gas streams, in: First National Conference on Carbon Sequestration, Washington, DC, USA.
- Bohloul, M. R., Peyghambarzadeh, S. M., Lee, A., & Vatani, A. (2014). Experimental and analytical study of solubility of carbon dioxide in aqueous solutions of potassium carbonate. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 29, 169–175. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2014.08.009>
- Borhani, T. N. G., Akbari, V., Afkhamipour, M., Hamid, M. K. A., & Manan, Z. A. (2015). Comparison of equilibrium and non-equilibrium models of a tray column for post-combustion CO₂ capture using DEA-promoted potassium carbonate solution. *Chemical Engineering Science*, 122, 291–298. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2014.09.017>
- Borhani, T. N. G., Akbari, V., Hamid, M. K. A., & Manan, Z. A. (2015). Rate-based simulation and comparison of various promoters for CO₂ capture in industrial DEA-promoted potassium carbonate absorption unit. *Journal of*

Industrial and Engineering Chemistry, 22, 306–316.
<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.07.024>

Bullin, J. A., Polasek, J. C., & Donnelly, S. T. (1990). Use of MDEA and mixtures of amines for bulk CO₂ removal. In *Proceedings, Annual Convention - Gas Processors Association* (pp. 135–139).

Cullinane, J. T., & Rochelle, G. T. (2005). Thermodynamics of aqueous potassium carbonate, piperazine, and carbon dioxide. *Fluid Phase Equilibria*, 227(2), 197–213. <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2004.11.011>

Danckwartz., (1970) *Gas Liquid Reaction*. McGraw Hill Book Company,

D. Deublein, A. Steinhauser(2008). *Biogas From Waste and Renewable Resources—An Introduction*, Wiley–VCH, Weinheim

Girsang, I. R., Eliana, M., Soewarno, N., Nurkhamidah, S., Kimia, J. T., & Industri, F. T. (2014). performa kolom sieve tray dengan penambahan packing serabut pada distilasi etanol-air, 2(1), 2–4.

Harasimowicz, M., Orluk, P., Zakrzewska-Trznadel, G., & Chmielewski, A. G. (2007). Application of polyimide membranes for biogas purification and enrichment. *Journal of Hazardous Materials*, 144(3), 698–702. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.098>

Hussein, M. (2015). Effect of Different Organic Promoters on Carbon Dioxide Absorption by Potassium Carbonate, (4), 6–12.

Jie, Y., Weiyang, F., & Li, H. Z. (2005). Effect of packing on drop swarms extraction of high viscosity solvents. *Hydrometallurgy*, 78(1–2 SPEC. ISS.), 30–40. <http://doi.org/10.1016/j.hydromet.2005.02.007>

Juanga, J. 2007. *Composting of Agricultural Waste*. in *Biotechnology Applications and Research*. p. 68-77

Kohl, A. L., & Nielsen, R. B. (1997). *Gas Purification*. *Gas Purification* (Vol. 10). <https://doi.org/10.1016/B978-088415220-0/50009-4>

Kohl, A.L. and F.C. Riesenfeld,(1985) *Gas Purification*, Gulf Publishing Company, Houston, Texas,

- Kriebel, M. 1989 *Ulmann's Encyclopedia of Industry Chemical*, Gas Production, Weinheim, Germany
- Levenspiel, O., Wiley, J., & Hepburn, K. (1999). *Chemical Reaction Engineering - third edition. 3th edition* (Vol. 19). [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(64\)85017-X](https://doi.org/10.1016/0009-2509(64)85017-X)
- Maddox, R. dan Morgan, D.J. 1998 *Gas Conditioning and Sulfur Recovery*, Amine based Processess and Amine Process Calculations, 4th edition.
- Marcia, S., deMontigny, D., & Tontiwachwuthikul, P. (2009). Liquid distribution of MEA in random and structured packing in a square column. *Energy Procedia*, 1(1), 1155–1161. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2009.01.152>
- Musa,A.Pemilihan-Tipe-Kolom-Pemisah-Packed-Tower
<http://asepmusa.blog.undip.ac.id>
- N.H. Darman, A.R. Harun (2006) The Petroleum Policy and Management Project, 4th Workshop on the China-Shichuan Basin Case Study, Beijing.
- Perry, R.H, and C.H.Chilton 1973 *Chemical Engineers' Handbook*, 5th ed., McGraw-Hill,
- Price,E.C & Cheremisinoff, P. N; 1981: *Biogas Production and Utilization*; Ann Arbor Science Publishers Inc, UnitedStates of America.
- Rahimpour, M. R., & Kashkooli, A. Z. (2004). Enhanced carbon dioxide removal by promoted hot potassium carbonate in a split-flow absorber. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 43(7), 857–865. [http://doi.org/10.1016/S0255-2701\(03\)00106-5](http://doi.org/10.1016/S0255-2701(03)00106-5)
- Ramazani, R., Mazinani, S., Jahanmiri, A., Darvishmanesh, S., & Van der Bruggen, B. (2016). Investigation of different additives to monoethanolamine (MEA) as a solvent for CO2 capture. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 65, 341–349. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.05.037>
- R.H. Weiland, T. Chakravarty, A.E. Mather. (1993). Solubility of carbon dioxide and hydrogen sulfide in aqueous alkanolamines, *Industrial & Engineering Chemistry Research* 32 (1993) 1419–1430.
- Rodriguez-Flores, H. A., Mello, L. C., Salvagnini, W. M., & De Paiva, J. L. (2013).

- Absorption of CO₂ into aqueous solutions of MEA and AMP in a wetted wall column with film promoter. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 73, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2013.06.011>
- Ryckebosch, E., Drouillon, M., & Vervaeren, H. (2011). Techniques for transformation of biogas to biomethane. *Biomass and Bioenergy*, 35(5), 1633–1645. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.033>
- Setameteekul, A., Aroonwilas, A., & Veawab, A. (2008)., Statistical factorial design analysis for parametric interaction and empirical correlations of CO₂ absorption performance in MEA and blended MEA/MDEA processes, *Sep. Purif. Technol.* 64, 16–25.
- Shrier, A. L., & Danckwerts, P. V. (1969). Carbon dioxide absorption into amine-promoted potash solutions. *Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals*, 8(3), 415–423. <https://doi.org/10.1021/i160031a009>
- Tan, L. S., Shariff, A. M., Lau, K. K., & Bustam, M. A. (2012). Factors affecting CO₂ absorption efficiency in packed column: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 18(6), 1874–1883. <http://doi.org/10.1016/j.jiec.2012.05.013>
- Tanasie, C., Todinca, T., Cata, A., Gabor, L., & Moldovan, R. (2007). Enhancement of carbon dioxide absorption in potassium carbonate solutions using chemical reaction promoters in liquid phase II. Absorbtion with chemical reaction: Promoter effect. *Revista De Chimie*, 58(12), 1274–1277.
- Tohid, Q. (2015). Journal of Industrial and Engineering Chemistry Modeling study on CO₂ and H₂S simultaneous removal using MDEA solution, 1–12.
- Treybal, R.E., (1981) *Mass Transfer Operation*. McGraw Hill Book Company
- Weiland, R. H., Rawal, M., & Rice, R. G. (1982). Stripping of carbon dioxide from monoethanolamine solutions in a packed column. *AIChE Journal*, 28(6), 963–973. <http://doi.org/10.1002/aic.690280611>
- Yan, He, Zhao, Wang, & Ai, 2014) Yan, S., He, Q., Zhao, S., Wang, Y., & Ai, P. (2014). Biogas upgrading by CO₂ removal with a highly selective natural amino acid salt in gas-liquid membrane contactor. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 85, 125–135. <http://doi.org/10.1016/j.cep.2014.08.009>

- Yi, F., Zou, H. K., Chu, G. W., Shao, L., & Chen, J. F. (2009). Modeling and experimental studies on absorption of CO₂ by Benfield solution in rotating packed bed. *Chemical Engineering Journal*, 145(3), 377–384. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.08.004>
- Yih, S. M., & Sun, C. C. (1987). Simultaneous absorption of hydrogen sulphide and carbon dioxide into potassium carbonate solution with or without amine promoters. *The Chemical Engineering Journal*, 34(2), 65–72. [http://doi.org/10.1016/0300-9467\(87\)87002-8](http://doi.org/10.1016/0300-9467(87)87002-8)
- Zhao, X., Smith, K. H., Simioni, M. A., Tao, W., Kentish, S. E., Fei, W., & Stevens, G. W. (2011). Comparison of several packings for CO₂ chemical absorption in a packed column. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 5(5), 1163–1169. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2011.07.006>

LAMPIRAN A

Berikut ini perhitungan % CO₂ removal dan CO₂ loading dari data hasil pengujian dengan titrasi:

Kondisi operasi:

T : 40 – 80 °C

K₂CO₃ : 30 %

DEA : 1 – 4 %

Komposisi Gas Umpan : CO₂ 40 %; N₂ 60 %

Laju Alir Absorbent : 0,5;0,75;1 LPM

Laju Alir Gas : 40 LPM

Menghitung kebutuhan pelarut yang diperlukan dalam eksperimen. Contoh perhitungan untuk konsentrasi DEA 1% dengan kapasitas 10.000 L.

$$\begin{aligned} \text{Volume H}_2\text{O} &= 100\% - (\% \text{DEA} + \% \text{K}_2\text{CO}_3) \\ &= 100\% - (1\% + 30\%) = 69\% \\ &= \frac{m}{\rho} \times 10.000 = \frac{0,69}{1} \times 10.000 = 6900 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volum DEA} &= \frac{m}{\rho} \times 10.000 \\ &= \frac{0,01}{1,09} \times 10.000 = 91,7431 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa K}_2\text{CO}_3 &= \% \text{ massa K}_2\text{CO}_3 \times \text{larutan awal} \\ &= 30\% \times 10.000 = 3000 \text{ Gram} \end{aligned}$$

Tabel A.1 Hasil perhitungan kebutuhan pelarut ditampilkan dalam tabel berikut:

DEA	K ₂ CO ₃	H ₂ O	DEA (mL)	K ₂ CO ₃ (g)	H ₂ O (mL)
1%	30%	69.00%	91.74312	3000	6900
2%	30%	68.00%	183.4862	3000	6800
3%	30%	67.00%	275.2294	3000	6700
4%	30%	66.00%	366.9725	3000	6600
5%	30%	65.00%	458.7156	3000	6500

Sebelum dilakukan eksperimen terlebih dahulu ditentukan keadaan steady state dengan melakukan pengujian titrasi dan PH meter dengan variable waktu dari 1-5 menit. kondisi *steady state* adalah kondisi dimana tidak ada lagi perubahan penyerapan CO₂ terhadap waktu sehingga pada menit ke-2 dan ke-3 tidak ada lagi perubahan PH dan volume HCL terhadap sampel.

A.2 Pengujian PH meter

A.2.1 pengujian cepat lambat

Waktu	PH
1 menit	12.4
2 menit	12.3
3 menit	12.3
4 menit	12.3
5 menit	12.3

A.2.2 pengujian

waktu	PH
1 menit	11.6
2 menit	11.5
3 menit	11.5
4 menit	11.5
5 menit	11.5

Steady state pada saat menit ke-2

A.2.3 Pengujian PH meter

Waktu	PH
1 menit	11.65
2 menit	11.61
3 menit	11.57
4 menit	11.57
5 menit	11.57

Steady state pada saat menit ke-3

A.3 Pengujian dengan titrasi

Waktu	V.HCL
1 menit	1.9
2 menit	1.6
3 menit	1.4
4 menit	1.4
5 menit	1.4

Steady state pada saat menit ke-3

A.1 Perhitungan % removal CO₂

Reaksi yang terjadi : $K_2CO_3 + H_2O + CO_{2(g)} \leftrightarrow 2KHCO_3$

1) menghitung konsentrasi CO_3^{2-} dengan menggunakan data:

Normalitas HCl = 0,2 N

Volume HCl yang diperlukan untuk menitrasi larutan blanko = 1,6 mL

Volume awal sampel sebelum diencerkan = 1 ml

Volume akhir sampel setelah diencerkan = 100 ml

Volume sampel yang dititrasi = 50 ml

$(NHCl \times V HCl \text{ untuk titrasi}) / V \text{ sampel yang dititrasi}$

$$(0.2N \times 1,6 \text{ mL}) / 50 \text{ mL}$$

$$NCO_3^{2-} = 0.0064 \text{ M}$$

$(NCO_3^{2-} \times V \text{ sampel awal}) = V \text{ hasil pengenceran} \times M \text{ hasil pengenceran}$

$$(100 \text{ ml} \times 0.0068 \text{ M}) / 1 \text{ mL}$$

$$NCO_3^{2-} = 0.64 \text{ M}$$

$(NHCl \times V HCl \text{ untuk titrasi}) / V \text{ sampel yang dititrasi}$

$$(0.2N \times 1,4 \text{ mL}) / 50 \text{ mL}$$

$$NHCO_3^- = 0.0056 \text{ M}$$

$(NHCO_3^- \times V \text{ sampel awal}) = V \text{ hasil pengenceran} \times M \text{ hasil pengenceran}$

$$(100 \text{ ml} \times 0.0056 \text{ M}) / 1 \text{ mL}$$

$$NHCO_3^- = 0.56 \text{ M}$$

Menghitung mol carbonat masuk = *konsentrasi blanko* CO_3^{2-} X laju alir absorben

$$= 0.68 \text{ M} \times 0.5 \frac{\text{liter}}{\text{menit}}$$

$$= 0.32 \frac{\text{mol}}{\text{menit}}$$

Menghitung mol carbonat = *konsentrasi* CO_3^{2-} X laju alir absorben

$$= 0.56 \text{ M} \times 0.5 \frac{\text{liter}}{\text{menit}}$$

$$= 0.28 \frac{\text{mol}}{\text{menit}}$$

Mol carbonat yang bereaksi = *mol blanko* CO_3^{2-} - *mol* CO_3^{2-}

$$= 0.32 \frac{\text{mol}}{\text{menit}} - 0.28 \frac{\text{mol}}{\text{menit}}$$

$$= 0.04 \frac{\text{mol}}{\text{menit}}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol CO}_2 \text{ masuk (MPM=40%*(PV/RT))} &= 0.4 \left(\frac{1 \text{ atm} \times 40 \frac{\text{liter}}{\text{menit}}}{0.08205 \frac{\text{L.atm}}{\text{mol K}} \times 303.15 \text{ K}} \right) \\ &= 0.643256 \frac{\text{mol}}{\text{menit}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol CO}_2 \text{ keluar} &= (\text{mol CO}_2 \text{ masuk} + \text{mol CO}_3^{2-} \text{ yang bereaksi}) \\ &= 0.643256 \text{ MPM} + 0.04 \text{ MPM} \\ &= 0.623256 \text{ MPM} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Menghitung \%CO}_2 \text{ removal} &= \left(\frac{\text{mol CO}_2 \text{ keluar} - \text{mol CO}_2 \text{ masuk}}{\text{mol CO}_2 \text{ masuk}} \right) \times 100 \\ &= \left(\frac{0.703648 \text{ MPM} - 0.643648 \text{ MPM}}{0.643648 \text{ MPM}} \right) \times 100 \\ &= 6.218 \end{aligned}$$

A.2 Perhitung CO₂ loading

$$\text{CO}_2 \text{ Loading} = \frac{\text{mol CO}_2 \text{ terabsorpsi}}{\text{mol K}_2\text{CO}_3}$$

$$\text{Mol CO}_2 \text{ terabsorb} = \text{mol carbonat yang bereaksi} = 0.04 \frac{\text{mol}}{\text{menit}}$$

Menghitung mol K₂CO₃ :

$$\text{Massa K}_2\text{CO}_3 = 0.5 \text{ LPM} \times 1.4209 \text{ Kg/Liter} = 0.7104 \text{ Kg/menit} = 710.4 \text{ Gram/menit}$$

$$\text{Menghitung massa K}_2\text{CO}_3 = 710.4 \frac{\text{Gram}}{\text{menit}} \times \frac{300 \text{ Gram K}_2\text{CO}_3}{100 \text{ Gram feed}} = 213.135 \frac{\text{Gram K}_2\text{CO}_3}{\text{menit}}$$

$$\text{Menghitung mol K}_2\text{CO}_3 = 213.135 \frac{\text{Gram K}_2\text{CO}_3}{\text{menit}} \times \frac{1 \text{ mol K}_2\text{CO}_3}{138.205 \text{ Gram}} = 1.5421 \frac{\text{mol}}{\text{menit}}$$

$$\text{Menghitung CO}_2 \text{ loading} = \frac{0.04 \frac{\text{mol}}{\text{menit}}}{1.54216 \frac{\text{mol}}{\text{menit}}} = 0.0259$$

A.3 Perhitungan Bulk Density Dari Packing Serabut

Berat rata-rata dari packing steel wool : 23.51 gram

Volume packing : $\pi r^2 t$

Dimana : $t = 5 \text{ cm}$

$$\pi = 3.14 \quad r = 2.35$$

Volume packing

$$= 3.14 \times 2.35^2 \times 5$$

$$= 86.7032 \text{ cm}^3$$

Bulk density

$$= \frac{\text{Berat rata-rata daripacking steel wool}}{\text{Volume packing}}$$

$$= \frac{23.51 \text{ gram}}{86.7032 \text{ cm}^3}$$

$$= 0.2713 \frac{\text{gram}}{\text{cm}^3}$$

LAMPIRAN B

Hasil Perhitungan Dengan Metode Analisa Tittrasi

Table B.1 Data perhitungan konsentrasi CO_3^{2-} pada konsentrasi DEA 1% dengan menggunakan konsentrasi HCl 0,2 N dan 0.1N

T (C)	Laju Alir (LPM)	Larutan Blangko		Larutan Sampel	
		V HCL (PP)	CO_3^{2-} awal	V HCL (PP)	CO_3^{2-} akhir
40	0.5	1.6	0.64	1.4	0.56
50		2.9	0.58	2.4	0.48
60		1	0.4	0.775	0.31
70		0.9	0.36	0.7	0.28
80		0.9	0.36	0.7	0.28
40	0.75	2.9	0.58	2.6	0.52
50		2.9	0.58	2.4	0.48
60		3.1	0.62	2.5	0.5
70		3	0.6	2.6	0.52
80		3.3	0.66	2.95	0.59
40	1	2.9	0.58	2.6	0.52
50		2.6	0.52	2.2	0.44
60		3.1	0.62	2.65	0.53
70		3	0.6	2.7	0.54
80		3.1	0.62	2.8	0.56

Table B.2 Data perhitungan mol CO_3^{2-} dan mol CO_2 pada konsentrasi DEA 1% dengan menggunakan konsentrasi HCl 0,2 N dan 0.1N

T	Laju Alir	Mol Karbonat			Mol CO_2	
		Masuk	Keluar	Bereaksi	Masuk	Keluar
40	0.5 LPM	0.32	0.28	0.04	0.643256	0.623256
50		0.29	0.21	0.08	0.643256	0.563256
60		0.2	0.184	0.0016	0.643256	0.598256
70		0.18	0.18	0.04	0.643256	0.643256
80		0.18	0.17	0.01	0.643256	0.633256
40	0.75 LPM	0.435	0.39	0.045	0.643648	0.598648
50		0.435	0.36	0.075	0.643648	0.568648
60		0.465	0.375	0.09	0.643648	0.553648
70		0.45	0.39	0.06	0.643648	0.583648
80		0.495	0.435	0.0525	0.643648	0.591148
40	1 LPM	0.58	0.52	0.06	0.643648	0.583648
50		0.52	0.44	0.08	0.643648	0.563648
60		0.62	0.53	0.09	0.643648	0.553648
70		0.6	0.54	0.06	0.583648	0.583648
80		0.62	0.56	0.06	0.583648	0.583648

Table B.3 Data perhitungan konsentrasi CO_3^{2-} pada konsentrasi DEA 2% dengan menggunakan konsentrasi HCl 0,2 N

T (C)	Laju Alir (LPM)	Larutan Blangko		Larutan Sampel	
		V HCL (PP)	CO_3^{2-} awal	V HCL (PP)	CO_3^{2-} akhir
40	0.5	1.7	0.68	1.45	0.58
50		1.8	0.72	1.5	0.6
60		2	0.8	1.625	0.66
70		1.5	0.6	1.1	0.44
80		1	0.4	0.7	0.28
40	0.75	1.3	0.52	1.1	0.44
50		1.45	0.58	1.2	0.48
60		1.5	0.6	1.2	0.48
70		1.8	0.72	1.4	0.56
80		1.6	0.64	1.3	0.52
40	1	1.55	0.62	1.4	0.56
50		1.6	0.64	1.4	0.56
60		1.35	0.54	1.1	0.44
70		1.65	0.66	1.3	0.52
80		1.4	0.56	1.15	0.46

Table B.4 Data perhitungan mol CO_3^{2-} dan mol CO_2 pada konsentrasi DEA 2% dengan menggunakan konsentrasi HCl 0,2 N dan 0.1N

T	Laju Alir	Mol Karbonat			Mol CO_2	
		Masuk	Keluar	Bereaksi	Masuk	Keluar
40	0.5 LPM	0.34	0.29	0.05	0.643648	0.593648
50		0.36	0.21	0.05	0.643648	0.583648
60		0.4	0.325	0.075	0.643648	0.573648
70		0.3	0.22	0.08	0.643256	0.563648
80		0.2	0.14	0.06	0.643256	0.583648
40	0.75 LPM	0.39	0.33	0.06	0.643648	0.583648
50		0.435	0.36	0.075	0.643648	0.568648
60		0.45	0.36	0.09	0.643648	0.553648
70		0.54	0.42	0.12	0.643648	0.523648
80		0.48	0.39	0.09	0.643648	0.553648
40	1 LPM	0.62	0.56	0.06	0.643648	0.583648
50		0.64	0.56	0.08	0.643648	0.563648
60		0.54	0.44	0.1	0.643648	0.543648
70		0.66	0.52	0.14	0.643648	0.503648
80		0.56	0.46	0.1	0.643648	0.543648

Table B.5 Data perhitungan konsentrasi CO_3^{2-} pada konsentrasi DEA 3% dengan menggunakan konsentrasi HCl 0,2 N

T	Laju Alir (LPM)	Larutan Blangko		Larutan Sampel	
		V HCL (PP)	CO_3^{2-} awal	V HCL (PP)	CO_3^{2-} akhir
40	0.5	1.05	0.42	0.8	0.32
50		1.3	0.52	1	0.4
60		1.5	0.6	1.05	0.42
70		1.4	0.56	0.9	0.36
80		2.9	0.58	2	0.28
40	0.75	2.9	0.58	2.5	0.5
50		1.3	0.52	1	0.4
60		1.5	0.6	1	0.4
70		1.4	0.56	0.9	0.36
80		2.6	0.52	1.85	0.37
40	1	3.9	0.78	3.45	0.69
50		3.4	0.68	2.85	0.57
60		4	0.8	3.1	0.62
70		3.6	0.72	2.7	0.54
80		3.8	0.76	3.2	0.64

Table B.6 Data perhitungan mol CO_3^{2-} dan mol CO_2 pada konsentrasi DEA 3% dengan menggunakan konsentrasi HCl 0,2 N dan 0.1N

T	Laju Alir	Mol Karbonat			Mol CO_2	
		Masuk	Keluar	Bereaksi	Masuk	Keluar
40	0.5 LPM	0.21	0.16	0.05	0.643648	0.593648
50		0.26	0.2	0.06	0.643648	0.583648
60		0.3	0.21	0.09	0.643648	0.553648
70		0.28	0.18	0.1	0.643648	0.543648
80		0.29	0.2	0.09	0.643648	0.553648
40	0.75 LPM	0.375	0.375	0.06	0.643648	0.583648
50		0.3	0.3	0.09	0.643648	0.553648
60		0.3	0.3	0.15	0.643648	0.493648
70		0.27	0.27	0.15	0.643648	0.493648
80		0.2775	0.2775	0.1125	0.643648	0.531148
40	1 LPM	0.78	0.69	0.09	0.643648	0.553648
50		0.68	0.57	0.11	0.643648	0.533648
60		0.8	0.62	0.18	0.643648	0.463648
70		0.72	0.54	0.18	0.643648	0.463648
80		0.76	0.64	0.12	0.643648	0.523648

Table B.7 Data perhitungan konsentrasi CO_3^{2-} pada konsentrasi DEA 4% dengan menggunakan konsentrasi HCl 0,1 N

T	Laju Alir (LPM)	Larutan Blangko		Larutan Sampel	
		V HCL (PP)	CO_3^{2-} awal	V HCL (PP)	CO_3^{2-} akhir
40	0.5	3.4	0.68	3.1	0.62
50		3.2	0.64	2.8	0.56
60		3.1	0.62	2.5	0.5
70		4.1	0.82	3.25	0.65
80		3.4	0.68	2.9	0.58
40	0.75	3	1.2	2.9	1.16
50		3.3	0.66	3	0.6
60		3.2	0.64	2.45	0.49
70		5	1	4	0.8
80		3.2	0.64	2.4	0.48
40	1	2.9	0.58	2.5	0.5
50		3.1	0.62	2.4	0.48
60		3.45	0.69	2.75	0.55
70		4.175	0.835	3.4	0.68
80		3.6	0.72	3	0.6

Table B.8 Data perhitungan mol CO_3^{2-} dan mol CO_2 pada konsentrasi DEA 4% dengan menggunakan konsentrasi HCl 0.1N

T	Laju Alir	Mol Karbonat			Mol CO_2	
		Masuk	Keluar	Bereaksi	Masuk	Keluar
40	0.5 LPM	0.34	0.31	0.03	0.643648	0.613648
50		0.32	0.28	0.04	0.643648	0.603648
60		0.31	0.25	0.06	0.643648	0.583648
70		0.41	0.325	0.085	0.643648	0.558648
80		0.34	0.29	0.05	0.643648	0.593648
40	0.75 LPM	0.9	0.54	0.03	0.643648	0.613648
50		0.495	0.45	0.045	0.643648	0.598648
60		0.48	0.3675	0.1125	0.643648	0.531148
70		0.75	0.6	0.15	0.643648	0.493648
80		0.48	0.36	0.12	0.643648	0.523648
40	1 LPM	0.58	0.5	0.08	0.643648	0.563648
50		0.62	0.48	0.14	0.643648	0.503648
60		0.69	0.55	0.14	0.643648	0.503648
70		0.835	0.68	0.155	0.643648	0.488648
80		0.72	0.6	0.12	0.643648	0.523648

Table B.9 Data perhitungan mol CO_3^{2-} dan mol CO_2 pada konsentrasi DEA 3% dengan menggunakan konsentrasi HCl 0.1N *packing steel wool*

T	Laju Alir	Mol Karbonat			Mol CO_2	
		Masuk	Keluar	Bereaksi	Masuk	Keluar
40	0.5 LPM	0.32	0.26	0.06	0.643648	0.583648
50		0.33	0.255	0.075	0.643648	0.568648
60		0.33	0.24	0.09	0.643648	0.553648
70		0.39	0.28	0.11	0.643648	0.533648
80		0.34	0.245	0.095	0.643648	0.548648
40	0.75 LPM	0.48	0.39	0.09	0.643648	0.553648
50		0.495	0.375	0.12	0.643648	0.523648
60		0.495	0.345	0.15	0.643648	0.493648
70		0.585	0.42	0.165	0.643648	0.478648
80		0.51	0.3975	0.135	0.643648	0.531148
40	1 LPM	0.64	0.545	0.095	0.643648	0.548648
50		0.66	0.5	0.16	0.643648	0.483648
60		0.66	0.47	0.19	0.643648	0.453648
70		0.78	0.58	0.2	0.643648	0.443648
80		0.68	0.51	0.17	0.643648	0.473648

Table B.10 Data perhitungan mol CO_3^{2-} dan mol CO_2 pada konsentrasi DEA 4% dengan menggunakan konsentrasi HCl 0.1N *packing steel wool*

T (C)	Laju Alir (LPM)	Larutan Blangko		Larutan Sampel	
		V HCL (PP)	CO3 2- awal	V HCL (PP)	CO3 2- akhir
40	0.5	3.2	0.64	2.6	0.52
50		3.3	0.66	2.55	0.51
60		3.3	0.66	2.4	0.48
70		3.9	0.78	2.8	0.56
80		3.4	0.68	2.45	0.49
40	0.75	3.2	0.64	0.52	0.52
50		3.3	0.66	0.5	0.5
60		3.3	0.66	0.46	0.46
70		3.9	0.78	0.56	0.56
80		3.4	0.68	0.53	0.53
40	1	3.2	0.64	1.35	0.545
50		3.3	0.66	2.5	0.5
60		3.3	0.66	2.35	0.47
70		3.9	0.78	2.9	0.58
80		3.4	0.68	2.55	0.51

Table B.9 Hasil perhitungan CO₂ Loading ditampilkan dalam tabel berikut:

T	1% DEA			2% DEA			3% DEA			4% DEA		
	0.5 LPM	0.75 LPM	1 LPM	0.5 LPM	0.75 LPM	1 LPM	0.5 LPM	0.75 LPM	1 LPM	0.5 LPM	0.75 LPM	1 LPM
40	0.026236	0.019703	0.019678	0.032817	0.026254	0.01969	0.032798	0.026238	0.029517	0.01967	0.01311	0.02622
50	0.032795	0.032839	0.026237	0.03938	0.032817	0.026254	0.039357	0.039356	0.036076	0.02622	0.019665	0.04589
60	0.039406	0.039406	0.029517	0.049226	0.03938	0.032817	0.065595	0.065594	0.059034	0.03933	0.049163	0.04589
70	0.026236	0.026271	0.019678	0.052507	0.052507	0.045944	0.065595	0.065594	0.059034	0.05572	0.065551	0.0508
80	0.026236	0.026271	0.019678	0.03938	0.03938	0.032817	0.059036	0.049195	0.039356	0.03278	0.052441	0.03933

Table B.10 Hasil perhitungan % Removal CO₂ ditampilkan dalam tabel berikut:

T (C)	1% DEA			2% DEA			3% DEA			4% DEA		
	0.5 LPM	0.75 LPM	1 LPM	0.5 LPM	0.75 LPM	1 LPM	0.5 LPM	0.75 LPM	1 LPM	0.5 LPM	0.75 LPM	1 LPM
40	6.218	6.991	9.322	7.768	9.321	9.322	7.768	9.322	13.983	4.661	4.661	12.429
50	7.773	11.652	12.429	9.322	11.652	12.429	9.322	13.983	17.090	6.215	6.991	21.751
60	6.995	13.983	13.983	11.652	13.983	15.536	13.983	23.304	27.965	9.322	17.478	21.751
70	6.218	9.322	9.322	12.429	18.644	21.751	15.536	23.304	27.965	13.206	23.305	24.081
80	6.218	8.156	9.322	9.322	13.983	15.536	13.983	17.478	18.644	4.661	18.644	18.644

Table B.11 Hasil perhitungan % Removal CO₂ ditampilkan dalam tabel berikut:

T	0.5 LPM	0.75 LPM	1 LPM
40	0.039357	0.039356	0.031157
50	0.049196	0.052475	0.052475
60	0.059036	0.065594	0.062313
70	0.072155	0.072153	0.065593
80	0.059036	0.049195	0.055754

71

Table B.12 Hasil perhitungan % Removal CO₂ ditampilkan dalam tabel berikut:

T	0.5 LPM	0.75 LPM	1 LPM
40	9.321863	13.98279	14.75962
50	11.65233	18.64373	24.8583
60	13.98279	23.30466	29.51923
70	17.09008	25.63512	31.07288
80	14.75962	17.47849	21.75101

BIODATA PENULIS



Penulis adalah anak kedua dari pasangan Bapak Monde dan Ibu Martina Alik Panannangan yang dilahirkan pada tanggal 29 Juni 1990 di Makale, Toraja (Sulawesi Selatan). Penulis merupakan alumni dari SD Negeri 121 Tongko, SMP Negeri 1 sangalla, SMA Negeri 1 sangalla dan menyelesaikan studi S1 Teknik Kimia pada tahun 2012 di Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar. Penulis melanjutkan studi S2 Teknik Kimia di Institut Teknologi Sepuluh Nopember sejak Februari 2016. Selama menempuh studi S2, penulis pernah mengikuti seminar internasional sebagai pembicara di *Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE)* UNDIP Indonesia, November 2017. Penulis menyelesaikan Tesis yang berfokus pada bidang absorpsi reaktif, khususnya *Pemisahan Gas CO₂* yang dapat diaplikasikan dalam pemisahan gas alam atau biogas. Penulis memiliki hobi membaca dan menonton film.

Email : Junety15@mhs.chem-eng.its.ac.id