



**SKRIPSI – TK141581**

**STUDI DESORPSI GAS CO<sub>2</sub> DALAM LARUTAN  
MDEA MENGGUNAKAN *PACKED COLUMN***

**Oleh:**

**Indra Kustriwahyuananto  
NRP. 0221154600001**

**Bambang Wisnu Aji  
NRP. 0221154600002**

**Dosen Pembimbing I  
Dr. Ir. Susianto, DEA  
NIP. 1962 08 20 1989 03 1004**

**Dosen Pembimbing II  
Fadlilatul Taufany, ST., Ph.D  
NIP. 1981 07 13 2005 01 1001**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018**



**FINAL PROJECT – TK141581**

**STUDY OF DESORPTION CO<sub>2</sub> IN MDEA SOLUTION  
USING PACKED COLUMN**

**Proposed by :  
Indra Kustriwahyuhanto  
NRP. 0221154600001**

**Bambang Wisnu Aji  
NRP. 0221154600002**

**Advisor I  
Dr. Ir. Susianto, DEA  
NIP. 1962 08 20 1989 03 1004**

**Advisor II  
Fadlilatul Taufany, ST., Ph.D  
NIP. 1981 07 13 2005 01 1001**

**CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018**

# LEMBAR PENGESAHAN

## STUDI DESORPSI GAS CO<sub>2</sub> DALAM LARUTAN MDEA MENGGUNAKAN *PACKED COLUMN*

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

Oleh :

**Indra Kustriwahyuananto**      NRP : 0221154600001  
**Bambang Wisnu Aji**            NRP : 0221154600002

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Susianto, DEA ..... (Pembimbing I)
2. Fadlilatul Taufany, S.T., Ph.D ..... (Pembimbing II)
3. Siti Nurkhamidah, S.T., M.S., Ph.D ..... (Penguji I)
4. Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T ..... (Penguji II)



## STUDI DESORPSI GAS CO<sub>2</sub> DALAM LARUTAN MDEA MENGUNAKAN *PACKED COLUMN*

Nama : 1. Indra Kustriwahyuananto  
: 2. Bambang Wisnu Aji  
NRP : 1. 02211546000001  
: 2. 02211546000002  
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Susianto, DEA  
: 2. Fadlilatul Taufany, ST., PhD

### ABSTRAK

Absorpsi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) merupakan hal penting dalam dunia industri. Dalam industri, khususnya industri gas alam, minyak, dan petrokimia pada prosesnya diperlukan pemisahan gas CO<sub>2</sub> dimana gas ini merupakan gas korosif (*acid gas*). Dalam prosesnya, absorpsi itu tidak dapat berdiri sendiri, perlu ada proses regenerasi pelarut atau biasa disebut proses *stripping* (desorpsi). Proses *stripping* sangatlah penting karena kebutuhan energi dalam proses *stripping* itu sendiri sebesar 70% dari biaya operasi pada sistem absorpsi/*stripping*. Oleh karena itu penting dilakukan studi desorpsi gas CO<sub>2</sub>, salah satu caranya adalah desorpsi gas CO<sub>2</sub> dalam larutan *methyldiethanolamine* (MDEA) menggunakan *packed column*. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh suhu umpan, suhu *reboiler*, dan jenis promotor terhadap efisiensi *stripper*. Metode yang digunakan adalah desorpsi menggunakan peralatan *packed column* skala laboratorium pada tekanan 1 atm. Dari penelitian ini didapatkan hasil yang menunjukkan semakin besar suhu umpan *rich solvent* dan suhu *reboiler* akan semakin meningkatkan efisiensi *stripper*. Untuk jenis promotor sendiri, PZ merupakan jenis promotor terbaik dengan menghasilkan efisiensi *stripper* sebesar 94.36% pada saat suhu umpan 60<sup>0</sup>C, dan suhu *reboiler* 108<sup>0</sup>.

Kata kunci : CO<sub>2</sub>, Desorpsi, Packed Column, MDEA

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

## **STUDY OF DESORPTION CO<sub>2</sub> IN MDEA SOLUTION USING PACKED COLUMN**

Name : 1. Indra Kustriwahyuhanto  
: 2. Bambang Wisnu Aji  
NRP : 1. 02211546000001  
: 2. 02211546000002  
Advisor : 1. Dr. Ir. Susianto, DEA  
: 2. Fadlilatul Taufany, ST., PhD

### **ABSTRACT**

Absorption of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is important in the industries. In industry, especially natural gas, oil, and petrochemical industries, the process requires the separation of CO<sub>2</sub> which is an acid gas. In the process, the absorption cannot stand by itself, there needs to be a process of regenerating the solvent or so-called stripping process (desorption). The stripping process is very important because the energy requirement in the stripping process itself is 70% of the operating cost in the absorption/stripping system. It is therefore important to study the desorption of CO<sub>2</sub>, one of which is the desorption of CO<sub>2</sub> in *methyldiethanolamine* solution (MDEA) using packed column. This research was conducted to study the effect of feed temperature, reboiler temperature, and type of promoter on stripper efficiency. The method used is desorption using packed column equipment at 1 atm pressure. These results indicate that the greater the feed temperature of the rich solvent and the reboiler temperature will increase the efficiency of the stripper. For this type of promoter, PZ is the best promoter type by producing 94.36% stripper efficiency at 60<sup>0</sup>C feed temperature and 108<sup>0</sup>C reboiler temperature.

Keywords: CO<sub>2</sub>, Desorption, Packed Column, MDEA

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT karena dengan rahmat dan berkah-Nya kami dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul :

### **“STUDI DESORPSI GAS CO<sub>2</sub> DALAM LARUTAN MDEA MENGGUNAKAN *PACKED COLUMN*”**

Tugas Skripsi ini merupakan salah satu syarat kelulusan Program Studi S-1 di Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada kesempatan kali ini, kami menyampaikan terimakasih kepada :

1. Orangtua dan keluarga kami atas segala kasih sayang dan perhatian yang telah diberikan.
2. Bapak Juwari, S.T.,M.Eng., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Ali Altway, MSc selaku Kepala Laboratorium Proses Perpindahan Panas dan Massa.
4. Bapak Dr. Ir. Susianto, DEA selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan masukan bagi kami.
5. Bapak Fadlilatul Taufany, ST., Ph.D selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan masukan bagi kami.
6. Bapak dan Ibu selaku dosen pengajar serta seluruh karyawan Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
7. Teman-teman Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa, rekan-rekan Teknik Kimia LJ Genap 2015, serta semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung.



Kami menyadari bahwa penyusunan Skripsi ini masih perlu penyempurnaan, oleh karena itu kami mengharap saran dan kritik yang membangun. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua, khususnya di bidang teknik kimia dan aplikasi industri kimia. Terima kasih.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

# DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	
Abstrak .....	i
Kata Pengantar.....	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar .....	ix
Daftar Tabel.....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Perumusan Masalah .....	3
I.3 Batasan Masalah .....	4
I.4 Tujuan Penelitian .....	4
I.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
II.1 Karbon dioksida (CO <sub>2</sub> ) .....	5
II.2 Metode Pemisahan CO <sub>2</sub> .....	6
II.3 Pemilihan Pelarut.....	9
II.3.1 Potassium Karbonat (K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) .....	9
II.3.2 Alkanol Amine .....	10
II.4 <i>Stripping</i> .....	15
II.4.1 <i>Steam Stripping</i> .....	16
II.4.2 <i>Stripper Dengan Reboiler</i> .....	17
II.4.2.1 <i>Stripper Dengan Dapur Reboiler</i> .....	17
II.4.2.2 <i>Stripper Dengan Thermosiphon Reboiler</i> .....	18
II.4.3 Faktor yang mempengaruhi Proses <i>Stripping</i> .....	19
II.4.3.1 Temperatur .....	19
II.5 Penelitian Terdahulu .....	21
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
III.1 Garis Besar Penelitian.....	23
III.2 Bahan yang Digunakan.....	23
III.3 Rangkain Peralatan Penelitian .....	24

III.4 Variabel Penelitian .....	25
III.4.1 Kondisi yang Ditetapkan .....	25
III.4.2 Variabel Masukan .....	25
III.4.3 Variabel Respon .....	25
III.5 Skema Prosedur Penelitian .....	26
III.6 Prosedur Penelitian .....	26
III.6.1 Tahap Persiapan <i>Rich Solvent</i> .....	27
III.6.2 Tahap Pelaksanaan Penelitian Desorpsi CO <sub>2</sub> .....	27
III.7 Prosedur Analisa Hasil Penelitian .....	27
III.7.1 Perhitungan Efisiensi <i>Stripper</i> .....	28
III.7.2 Perhitungan CO <sub>2</sub> <i>Loading</i> .....	28
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
IV.1 Pengaruh Suhu Umpan terhadap CO <sub>2</sub> <i>Removal</i> .....	32
IV.2 Pengaruh Suhu Umpan terhadap Efisiensi <i>Stripper</i> .....	34
IV.3 Pengaruh Suhu <i>Reboiler</i> terhadap Efisiensi <i>Stripper</i> .....	38
IV.4 Pengaruh Jenis Promotor terhadap Efisiensi <i>Stripper</i> .....	40
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
V.1 Kesimpulan .....	43
V.2 Saran .....	43
DAFTAR PUSTAKA .....	xiii
DAFTAR NOTASI .....	xvii
APPENDIKS	
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rumus Struktur Senyawa Alkanol Amine.....	13
Gambar 2.2	Rumus Struktur <i>Glycine</i> .....	14
Gambar 2.3	Steam <i>Stripper</i> sederhana tanpa <i>recovery</i> pelarut .....	17
Gambar 2.4	<i>Stripper</i> dengan <i>Reboiler</i> .....	18
Gambar 3.1	Rangkaian alat <i>packed</i> kolom untuk desorpsi CO <sub>2</sub> .....	24
Gambar 3.2	Skema prosedur penelitian desorpsi gas CO <sub>2</sub> ..	26
Gambar 3.3	Skema alat titrasi <i>chittick</i> .....	30
Gambar 4.1.1	Pengaruh suhu umpan <i>rich solvent</i> terhadap CO <sub>2</sub> <i>removal</i> pada berbagai jenis larutan MDEA berpromotor (T <i>Reboiler</i> = 80 <sup>0</sup> C) .....	32
Gambar 4.1.2	Pengaruh suhu umpan <i>rich solvent</i> terhadap CO <sub>2</sub> <i>removal</i> pada berbagai jenis larutan MDEA berpromotor (T <i>Reboiler</i> = 100 <sup>0</sup> C) .....	33
Gambar 4.1.3	Pengaruh suhu umpan <i>rich solvent</i> terhadap CO <sub>2</sub> <i>removal</i> pada berbagai jenis larutan MDEA berpromotor (T <i>Reboiler</i> = 108 <sup>0</sup> C) .....	33
Gambar 4.2.1	Pengaruh suhu umpan <i>rich solvent</i> terhadap efisiensi <i>stripper</i> pada berbagai jenis larutan MDEA berpromotor (T <i>Reboiler</i> = 80 <sup>0</sup> C).....	35
Gambar 4.2.2	Pengaruh suhu umpan <i>rich solvent</i> terhadap efisiensi <i>stripper</i> pada berbagai jenis larutan MDEA berpromotor (T <i>Reboiler</i> = 100 <sup>0</sup> C).....	35
Gambar 4.2.3	Pengaruh suhu umpan <i>rich solvent</i> terhadap efisiensi <i>stripper</i> pada berbagai jenis larutan MDEA berpromotor (T <i>Reboiler</i> = 108 <sup>0</sup> C).....	36
Gambar 4.3.1	Pengaruh suhu <i>reboiler</i> terhadap efisiensi <i>stripper</i> pada berbagai jenis larutan MDEA berpromotor (T <i>rich solvent</i> = 30 <sup>0</sup> C) .....	38
Gambar 4.3.2	Pengaruh suhu <i>reboiler</i> terhadap efisiensi <i>stripper</i> pada berbagai jenis larutan MDEA berpromotor (T <i>rich solvent</i> = 45 <sup>0</sup> C) .....	38
Gambar 4.3.3	Pengaruh suhu <i>reboiler</i> terhadap efisiensi <i>stripper</i>	

	pada berbagai jenis larutan MDEA berpromotor ( <i>T rich solvent</i> = 60 <sup>0</sup> C) .....	39
Gambar 4.4.1	Hubungan ln K dengan T pada laju desorpsi CO <sub>2</sub> dalam berbagai suhu umpan <i>rich solvent</i> (303.15-333.15 K) .....	41

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Spesifikasi batas konsentrasi gas CO <sub>2</sub> dalam proses industri.....	5
Tabel II.2	Karakteristik Alkanol Amine.....	11
Tabel II.3	Data Eksperimen Desorpsi CO <sub>2</sub> dari Larutan MDEA .....	19
Tabel II.4	Data Eksperimen Desorpsi CO <sub>2</sub> dari Larutan MDEA berpromotor PZ.....	20
Tabel III.1	Data Karakteristik Tangki Persiapan <i>Rich Solvent</i> .....	25
Tabel III.2	Data Karakteristik <i>Packed Column</i> .....	25
Tabel IV.1	Nilai Konstanta Laju Reaksi Pada Berbagai Macam Promotor .....	40

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Sebagian besar senyawa kimia ditemukan di alam dalam keadaan yang tidak murni. Biasanya, suatu senyawa kimia berada dalam keadaan tercampur dengan senyawa lain. Untuk beberapa keperluan seperti sintesis senyawa kimia yang memerlukan bahan baku senyawa kimia dalam keadaan murni atau proses produksi suatu senyawa kimia dengan kemurnian tinggi, proses pemisahan perlu dilakukan. Proses pemisahan sangat penting dalam bidang teknik kimia. Suatu contoh pentingnya proses pemisahan adalah pada proses pengolahan gas alam dan industri petrokimia. Pada proses pengolahan ini diperlukan pemisahan gas CO<sub>2</sub> dimana gas ini merupakan gas yang korosif (*acid gas*) sehingga bisa merusak sistem perpipaan. Pada industri *Liquified Natural Gas (LNG)*, gas CO<sub>2</sub> harus dihilangkan karena pada suhu sangat rendah CO<sub>2</sub> akan membeku yang mengakibatkan tersumbatnya sistem perpipaan dan merusak *tubing-tubing* pada *main heat exchanger*. Pada industri pupuk, gas CO<sub>2</sub> merupakan produk samping dari proses pembuatan amoniak, dimana gas CO<sub>2</sub> bersifat racun yang dapat menutup *active site* dari katalis sehingga dapat menghambat kinerja katalis dalam proses sintesa amoniak, sehingga harus dipisahkan sebelum masuk kedalam unit pembentukan amoniak (Tan, 2012).

Melihat besarnya kerugian yang ditimbulkan oleh gas CO<sub>2</sub>, maka penting dilakukan proses pemisahan CO<sub>2</sub> dari aliran gas. Rao dan Rubin (2002), mengemukakan ada beberapa teknologi untuk memisahkan dan menangkap karbondioksida seperti : proses absorpsi secara fisik dan kimia, proses adsorpsi, proses *cryogenic* (pendinginan), teknologi membran dan menggunakan sistem alga atau mikroba.



Mengacu pada spesifikasi gas alam pada industri LNG dengan kadar CO<sub>2</sub> maksimal 50 ppm (Alkidnay,2006) maka metode pemisahan CO<sub>2</sub> yang dipilih adalah absorpsi secara kimia karena bisa mengurangi kadar CO<sub>2</sub> hingga level ppm dan tidak sensitif terhadap *partial pressure* CO<sub>2</sub>. Selain itu teknologi ini dipilih juga karena lebih ekonomis dan telah dikembangkan dengan baik serta telah diaplikasikan pada berbagai proses komersial.

Proses absorpsi kimia merupakan proses pemisahan gas menggunakan pelarut dengan reaktan yang dapat bereaksi dengan komponen gas yang terlarut. Penggunaan pelarut kimia dimaksudkan untuk meningkatkan pelarut dalam menyerap gas CO<sub>2</sub>. Beberapa jenis pelarut yang sering digunakan adalah pelarut organik seperti sulfinol; kalium karbonat (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>); dan senyawa *alkanolamine* seperti *Monoethanolamine* (MEA), *Diethanolamine* (DEA), *Diisopropanolamine* (DIPA), *Diglycolamine* (DGA), *Triethanolamine* (TEA), *Methyldiethanolamine* (MDEA), 2-amino-2-methyl-1-propanol (AMP) dan 2-piperidineetanol (2-PE). Ada beberapa penelitian-penelitian terdahulu yang mengkaji kinetika reaksi absorpsi kedalam larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dengan berbagai jenis promotor diantaranya yang telah dilakukan Blauwhoff dan Versteeg (1983) yang melakukan penelitian tentang studi reaksi antara CO<sub>2</sub> dan *alkanolamine* dalam *aqueous solution* yang mendapati bahwa DEA dan DIPA masing-masing sangat cocok sebagai absorben untuk gas CO<sub>2</sub>.

Samanta (2011), melakukan penelitian tentang absorpsi CO<sub>2</sub> dengan larutan MDEA berpromotor *piperazine* menggunakan *wetted well column*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah *piperazine* yang ditambahkan, laju absorpsi semakin meningkat. Dong fu (2015), melakukan penelitian tentang performa absorpsi dan viskositas untuk menangkap CO<sub>2</sub> dari larutan MDEA berkatalis *glycine*. Hasil penelitian menunjukkan penambahan *glycine* kedalam larutan MDEA secara signifikan meningkatkan tingkat penyerapan.

Benamor (2016) melakukan penelitian tentang kinetika reaksi CO<sub>2</sub> dengan larutan MDEA menggunakan katalis *glycine* dengan teknik *stopped flow*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konstanta reaksi meningkat dengan meningkatnya suhu dan jumlah katalis *glycine*.

Piperazine (PZ) menjadi katalis yang paling umum diterapkan di Industri. Meskipun paling banyak digunakan di industri, saat ini ada trend menggunakan promotor lain seperti *glycine* dan DEA dikarenakan harga PZ kurang terjangkau dibandingkan dengan dua jenis promotor tersebut. Selain itu *glycine* juga mempunyai karakteristik yang sangat baik untuk penangkapan CO<sub>2</sub> (Benamor, 2015).

Dalam prosesnya, absorpsi tidak dapat berdiri sendiri, perlu ada proses regenerasi pelarut atau biasa disebut proses stripping (desorpsi). Sehingga absorpsi dan desorpsi merupakan kesatuan sistem yang saling berkaitan, dimana CO<sub>2</sub> di absorp oleh pelarut dengan hasil berupa larutan kaya CO<sub>2</sub> (*rich solvent*) yang dijadikan sebagai larutan umpan masuk ke *stripper*. CO<sub>2</sub> dihilangkan dari *rich solvent* di dalam *stripper* yang dilengkapi *reboiler*. Proses *stripping* berlangsung di 3 bagian, yaitu di *inlet stripper*, *packing column*, serta di *reboiler*. Kondisi operasi yang optimal dalam *stripping* sangatlah penting karena kebutuhan energi dalam proses *stripping* itu sendiri sebesar 70% dari biaya operasi pada sistem absorpsi/*stripping* (Oyenekan dan Rochelle, 2007). Maka dari itu penelitian tentang desorpsi CO<sub>2</sub> dari larutan MDEA berpromotor *glycine* dan DEA ini sangat diperlukan untuk mengetahui kondisi operasi pada sistem, sehingga efisiensi *stripper* menjadi maksimal.

## **I.2 Perumusan Masalah**

Penelitian – penelitian sebelumnya telah membahas mengenai absorpsi CO<sub>2</sub> dengan larutan MDEA berpromotor PZ yang dilakukan Samanta (2011). Selain itu telah dilakukan penelitian tentang kinetika reaksi CO<sub>2</sub> dengan larutan MDEA

menggunakan promotor *glycine* yang dilakukan Benamor (2016), tetapi sampai saat ini masih belum dilakukan penelitian tentang desorpsi CO<sub>2</sub> dalam larutan MDEA berpromotor *glycine* dan DEA. Sehingga memotivasi kami untuk melakukan penelitian desorpsi gas CO<sub>2</sub> dalam larutan MDEA menggunakan *packed column* skala laboratorium pada tekanan 1 atmosfer.

### **I.3 Batasan Masalah**

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *packed column stripper* dan *feed* berupa *rich solvent* dari hasil absorpsi gas CO<sub>2</sub> dengan larutan MDEA berpromotor PZ, *glycine*, dan DEA.

### **I.4 Tujuan Penelitian**

1. Mempelajari perubahan suhu umpan *stripper* terhadap efisiensi *stripper*
2. Mempelajari perubahan suhu *reboiler* terhadap efisiensi *stripper*
3. Mempelajari perbedaan jenis promotor terhadap efisiensi *stripper*

### **I.5 Manfaat Penelitian**

Dari penelitian ini didapatkan informasi mengenai kondisi operasi proses desorpsi gas CO<sub>2</sub> dalam larutan MDEA berpromotor PZ, *glycine*, DEA didalam *packed column*. Sehingga didapatkan hasil efisiensi *stripper* yang maksimal.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### II.1 Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>)

Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) adalah senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen dengan sebuah atom karbon. Berbentuk gas pada temperatur dan tekanan standar dan berada di atmosfer. Gas CO<sub>2</sub> termasuk oksida asam dan tidak berbentuk cair pada tekanan dibawah 5.1 atm tetapi berbentuk padat pada temperatur di bawah -78<sup>0</sup>C. Dalam bentuk padat, CO<sub>2</sub> disebut *dry ice*. Larutan CO<sub>2</sub> mengubah warna lakmus dari biru menjadi merah muda.

Gas CO<sub>2</sub> di produksi hampir 97% dari hasil pembakaran bahan bakar fosil, seperti dari sumber batu bara, minyak, gas alam, dan biomassa. Keberadaan CO<sub>2</sub> pada industri gas alam dapat menurunkan nilai *heating value* pada gas dan komponen asam dapat menyebabkan korosi pada peralatan. Pada pipa gas alam, kandungan CO<sub>2</sub> yang diizinkan sekitar 1-2% mol (Buckingham, 1964; Ma'mun, 2005).

Adanya CO<sub>2</sub> yang berlebihan dapat melubangi lapisan ozon, menyebabkan efek rumah kaca, dan pemanasan global. Salah satu indikator yang digunakan dalam menganalisa isu pemanasan global adalah bertambahnya gas rumah kaca, terutama gas CO<sub>2</sub>. Gas CO<sub>2</sub> yang keluar meninggalkan kolom harus memenuhi spesifikasi batas gas CO<sub>2</sub> (**Tabel II.1**)

**Tabel II.1** Spesifikasi batas konsentrasi gas CO<sub>2</sub> dalam proses industri

Proses	Batas konsentrasi gas CO <sub>2</sub>
Industri manufaktur	< 0.1% CO <sub>2</sub>
Industri amoniak	< 16 ppm CO <sub>2</sub>
Pemurnian gas alam :	
• Pipa gas	< 1% CO <sub>2</sub>

Proses	Batas konsentrasi gas CO <sub>2</sub>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Bahan baku LNG</li> </ul>	< 50 ppm CO <sub>2</sub>
Sintesa gas untuk produksi kimia (H <sub>2</sub> /CO)	< 500 ppm CO <sub>2</sub>
Gasifikasi batu bara	~500 ppm CO <sub>2</sub>
Industri etilen	~1 ppm CO <sub>2</sub>
Pembangkit tenaga listrik :	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pembangkit tenaga listrik NGCC</li> </ul>	<0.5% CO <sub>2</sub>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pembangkit listrik batubara</li> </ul>	<1.5% CO <sub>2</sub>

(Yildirim dkk, 2012)

Sejauh ini, berbagai upaya telah dilakukan untuk mengurangi dampak pemanasan global, seperti program penanaman kembali (reboisasi), penghematan energi, penggunaan energi baru dan terbarukan, dan pemanfaatan berbagai teknologi *Carbon Capture and Storage* (CCS).

CCS memungkinkan emisi CO<sub>2</sub> untuk dibersihkan dari aliran buangan pembakaran batu bara atau pembentukan gas dan dibuang sedemikian sehingga CO<sub>2</sub> tidak masuk ke atmosfer. Teknologi yang memungkinkan penangkapan CO<sub>2</sub> dari aliran emisi telah digunakan untuk menghasilkan CO<sub>2</sub> murni dalam industri makanan dan kimia. Setelah CO<sub>2</sub> ditangkap, penting bahwa CO<sub>2</sub> dapat disimpan secara aman dan permanen.

Selain memiliki beberapa efek negatif, CO<sub>2</sub> juga memiliki nilai ekonomis, diantaranya CO<sub>2</sub> digunakan dalam industri minuman berkarbonasi, *dry ice*, bahan baku pada industri urea, industri abu soda (Rao dan Rubin, 2002).

## II.2 Metode Pemisahan CO<sub>2</sub>

Rao dan Rubin (2002), mengungkapkan ada beberapa teknologi untuk memisahkan dan menangkap CO<sub>2</sub> seperti: proses

*cryogenic* (pendinginan), teknologi membran, menggunakan sistem alga atau mikroba, adsorpsi, dan absorpsi.

Adsorpsi adalah proses pemisahan fluida (cairan maupun gas) yang terikat pada zat penyerap (adsorben) padatan dan akhirnya membentuk suatu *film* (lapisan tipis) pada permukaan padatan. Adsorben yang sering diaplikasikan pada proses penangkapan CO<sub>2</sub> adalah karbon aktif, alumina, dan zeolit. Proses adsorpsi jarang diaplikasikan pada proses gas buang CO<sub>2</sub>, karena mempertimbangkan tantangan ketersediaan adsorben yang digunakan, selain itu selektivitas yang rendah akan berpengaruh pada pemisahan CO<sub>2</sub> dari aliran gas.

Membran merupakan metode pemisahan yang tidak membutuhkan zat kimia tambahan dan juga kebutuhan energinya sangat minimum. Membran dapat bertindak sebagai *filter* atau perangkat penghubung antara aliran gas dan cairan. Komponen-komponen akan terpisah berdasarkan ukuran dan bentuknya, dengan bantuan tekanan dan selaput *semi-permeable*. Hasil pemisahan berupa *retentate* (bagian dari campuran yang tidak melewati membran) dan *permeate* (bagian dari campuran yang melewati membran). Sehingga hanya molekul-molekul dengan ukuran tertentu saja yang dapat melewati membran sedangkan sisanya akan tertahan di permukaan membran. Efisiensi pemisahan teknologi membran tergantung pada tekanan parsial gas CO<sub>2</sub>. Dengan demikian, teknologi pemisahan menggunakan membran cocok untuk konsentrasi gas CO<sub>2</sub> yang tinggi (di atas 20 vol%) seperti aliran gas buang dari proses *oxyfuel* dan *Integrated Gasification Combined Cycle* (IGCC).

Metode absorpsi adalah metode pemisahan yang paling ekonomis untuk memisahkan CO<sub>2</sub> dari aliran gas, sehingga pada penelitian kali ini yang digunakan ialah dengan metode absorpsi. Absorpsi CO<sub>2</sub> dengan larutan kimia atau fisika adalah teknologi yang dikembangkan dengan baik dan telah diaplikasikan pada berbagai proses komersial, termasuk pemurnian gas dan produksi amoniak (Wang dkk, 2011).

Secara umum, proses absorpsi diawali dengan penyerapan gas ke dalam liquida melalui *interface*. Dikenal dua macam absorpsi, yaitu :

1. Absorpsi fisik

Proses absorpsi atau perpindahan gas (difusi) kedalam absorbent tanpa disertai dengan reaksi kimia.

2. Absorpsi kimia

Pada proses ini, perpindahan gas (difusi) disertai dengan reaksi antara gas dan absorbent. Reaksi kimia dapat terjadi secara *reversible* dan *irreversible* dengan reaksi orde satu, orde dua dan seterusnya tergantung dari jumlah molekul yang bereaksi yang konsentrasinya berubah sebagai hasil dari reaksi kimia.

Absorpsi disertai dengan reaksi kimia telah mendapatkan perhatian yang serius dalam proses industry kimia. Proses absorpsi reaktif (*Reactive Absorption Processes/ RAP*) adalah proses yang menggabungkan mekanisme reaksi kimia dan absorpsi dalam satu unit. Secara umum, absorpsi reaktif dikenal sebagai penyerapan gas dalam medium liquid dengan reaksi kimia. Proses tersebut memiliki beberapa keuntungan, dimana dalam proses tersebut dapat meningkatkan yield reaksi dan *selectivity*, mengatasi hambatan termodinamika seperti reduksi dalam konsumsi energi, air, dan pelarut. Oleh karena adanya interaksi antara reaksi kimia dan perpindahan massa dan panas yang cukup kompleks (Gorak, 2005).

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-liquida.
- b. Difusi reaktan dari interface ke badan fasa liquida.
- c. Reaksi kimia di dalam fasa liquida.

- d. Difusi reaktan yang semula ada di dalam badan fasa liquida dan atau produk reaksi didalam fasa liquida, akibat gradient konsentrasi yang terbentuk oleh reaksi kimia.

Proses perpindahan massa perlu disertai reaksi kimia untuk meningkatkan laju dan *yield* proses. Model-model perpindahan massa yang dijelaskan di muka dapat digunakan untuk mempelajari pengaruh reaksi kimia terhadap proses absorpsi.

Meskipun model-model tersebut bervariasi dalam menyajikan proses yang terjadi, seluruh model ini pada umumnya memberikan hasil perhitungan matematik yang bermanfaat dan umumnya lebih disukai untuk menggunakan model yang paling realistis tapi kompleks.

### **II.3 Pemilihan Pelarut**

*Solvent* atau *absorbent* adalah cairan yang dapat melarutkan bahan yang akan diabsorpsi. Persyaratan *absorbent* adalah sebagai berikut.

1. Memiliki daya melarutkan bahan yang akan diabsorpsi yang sebesar mungkin
2. Selektif
3. Memiliki tekanan uap yang rendah
4. Tidak korosif
5. Mempunyai viskositas yang rendah
6. Stabil secara termis
7. Murah

(Fuqoha, 2012)

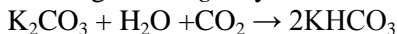
*Solvent* yang digunakan untuk absorpsi gas CO<sub>2</sub> dijelaskan sebagai berikut.

#### **II.3.1 Potassium Karbonat (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)**

Proses dengan menggunakan potassium karbonat ini pada mulanya dikembangkan untuk penghilangan CO<sub>2</sub> dari aliran gas. Proses ini juga dapat digunakan untuk penghilangan H<sub>2</sub>S dari gas.



Prinsip utama dari proses ini adalah dengan reaksi kimia antara potassium karbonat dengan *acid gas*, yaitu :



Keuntungan dari penggunaan *solvent* ini, dijelaskan sebagai berikut.

1. Karena *range* suhu yang digunakan lebar, maka solubilitas potassium karbonat akan meningkat, sehingga dapat meningkatkan kapasitas *loading* gas asam dan dapat mencegah terjadinya kristalisasi garam bikarbonat.
2. Biaya *solvent* lebih murah dan regenerasinya lebih awet.
3. Kebutuhan *steam* untuk proses regenerasi lebih sedikit dibandingkan dengan senyawa *amine*.

Sedangkan, kerugian dari penggunaan *solvent* jenis ini, dijelaskan sebagai berikut.

1. Tidak mampu menghilangkan CO<sub>2</sub> hingga level yang rendah.
2. Dapat menimbulkan korosi pada utilitas proses.
3. Kestabilan kolom terkadang kurang bagus.
4. Terjadi kavitasi pada pompa.

(Fuqoha, 2012).

### II.3.2 Alkanol Amine

Absorpsi amina dalam proses yang paling banyak digunakan di industri. Pelarut yang digunakan adalah *primary amine* yaitu *Monoethanolamine* (MEA) dan *Diglycolamine* (DGA), *secondary amine* yaitu *Diethanolamine* (DEA) dan *Diisopropanolamine* (DIPA), serta *tertiary amine* yaitu *Methyl diethanolamine* (MDEA). Masing-masing jenis *alkanol amine* dijelaskan pada **Tabel II.2**.

**Tabel II.2** Karakteristik Alkanol Amine

<b>Pelarut</b>	<b>Kelebihan</b>	<b>Kekurangan</b>
<b>Amina Primer</b>		
MEA (10-20% wt dalam air)	Lebih reaktif terhadap gas asam dibandingkan amina sekunder dan tersier	Tekanan uap yang besar
	Harga lebih terjangkau	Kapasitas penyerapannya lebih rendah dibandingkan DEA yaitu 0,3-0,4 mol gas asam/mol MEA

**Tabel II.2** Karakteristik Alkanol Amine (Lanjutan)

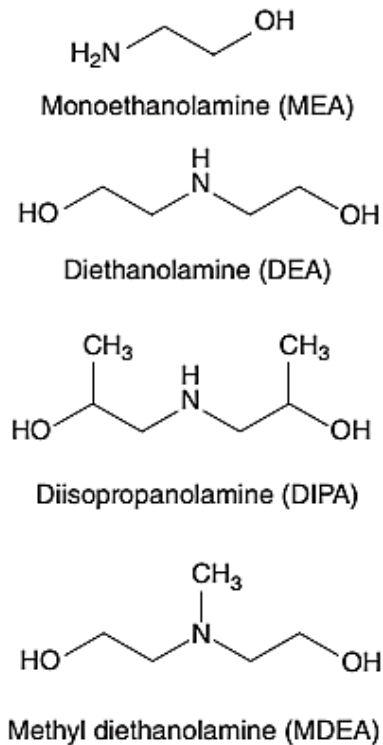
<b>Pelarut</b>	<b>Kelebihan</b>	<b>Kekurangan</b>
<b>Amina Primer</b>		
MEA (10-20% wt dalam air)		Sulit diregenerasi karena bereaksi secara <i>irreversible</i>
DGA (50-70% wt dalam air)	Tekanan uap lebih rendah dibandingkan MEA sehingga lebih mudah diregenerasi	Kapasitas penyerapan rendah yaitu 0,3 mol gas asam/mol DGA
<b>Amina Sekunder</b>		
DEA (25-35% wt dalam air)	Lebih mudah diregenerasi dibanding MEA	Kurang reaktif jika dibandingkan dengan MEA dan DGA
	Kapasitas penyerapan lebih tinggi dibanding MEA yaitu 0,65 mol gas asam/mol MEA	

<b>Amina Tersier</b>		
MDEA (30-50% wt dalam air)	Lebih stabil dari degradasi dan lebih mudah diregenerasi dibanding amina primer dan amina sekunder	Kurang reaktif dibandingkan dengan MEA dan DEA
	Kapasitas penyerapan lebih tinggi dibanding amina primer dan sekunder yaitu 0,7-0,8 mol gas asam/mol MDEA	

**Tabel II.2** Karakteristik Alkanol Amine (Lanjutan)

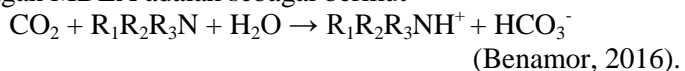
<b>Pelarut</b>	<b>Kelebihan</b>	<b>Kekurangan</b>
<b>Amina Tersier</b>		
MDEA (30-50% wt dalam air)	Konsumsi energi yang digunakan lebih rendah dibandingkan amina primer dan amina sekunder	
	Sesuai digunakan untuk gas dengan tekanan rendah	

Sumber : Fuqoha, 2012



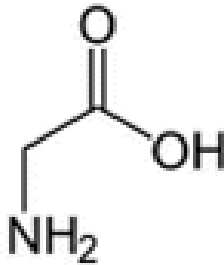
**Gambar 2.1** Rumus Struktur Senyawa Alkanol Amine (Eimer, 2014)

Melihat kelebihan dan kekurangan dari masing-masing jenis *alkanol amine* di atas, maka penggunaan MDEA lebih menguntungkan dibanding jenis yang lain. Reaksi penyerapan gas  $\text{CO}_2$  dengan MDEA adalah sebagai berikut



Kekurangan dari MDEA yang kurang reaktif dapat ditutupi dengan penambahan sedikit promotor. Promotor yang ditambahkan merupakan jenis *alkanol amine* yang bereaksi lebih cepat dengan gas asam. Biasanya merupakan jenis *primary amine* dan *secondary amine* (Valer, 2010).

Promotor yang digunakan adalah, *Diethanol amine* (DEA) (Xu, 2003), dan *Glycine* (Benamor, 2016). *Glycine* merupakan bagian dari asam amino. Keuntungan penggunaan *glycine* sebagai promotor MDEA dalam penyerapan gas karbon dioksida adalah tidak mudah menguap, selama proses regenerasi tidak menyebabkan kehilangan banyak *solvent*, dan karena merupakan bahan alam *glycine* bersifat ramah lingkungan (Benamor, 2016).



**Gambar 2.2** Rumus Struktur *Glycine*  
(en.wikipedia.org/wiki/Glycine)

Reaksi yang terjadi pada proses absorpsi gas CO<sub>2</sub> dengan MDEA yang ditambahkan promotor *glycine* adalah sebagai berikut.

1. Pada langkah awal, CO<sub>2</sub> bereaksi dengan *glycine* membentuk ion *zwitter* (molekul yang memiliki dua muatan sekaligus):  

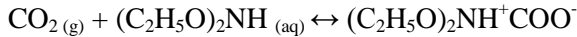
$$\text{CO}_2(\text{g}) + \text{NHR}_1\text{R}_2\text{COO} \leftrightarrow \text{COONH}^+ \text{R}_1\text{R}_2\text{COO}^-$$
2. Selanjutnya proton bereaksi dengan basa pada larutan :  

$$\text{COONH}^+ \text{R}_1\text{R}_2\text{COO}^- + \text{B}_i \leftrightarrow \text{COONR}_1\text{R}_2\text{COO}^- + \text{BH}^+$$

(Benamor, 2016)

Reaksi yang terjadi pada proses absorpsi gas CO<sub>2</sub> dengan MDEA yang ditambahkan promotor DEA adalah sebagai berikut.

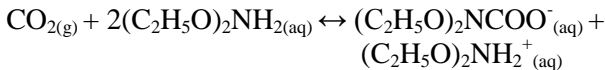
1. Pada langkah awal, CO<sub>2</sub> bereaksi dengan DEA membentuk ion *zwitter* :



2. Kemudian, ion *zwitter* yang terbentuk akan bereaksi kembali dengan DEA membentuk ion karbamat yang mengandung CO<sub>2</sub> :



3. Secara keseluruhan, mekanisme reaksi antara gas CO<sub>2</sub> dengan DEA adalah :



(Servatius, 2012)

## II.4 Stripping

*Stripping* adalah operasi pemisahan *solute* dari fase cair ke fase gas, yaitu dengan mengontakkan cairan yang berisi *solute* dengan pelarut gas (*stripping agent*) yang tidak larut ke dalam cairan. Proses *stripping* dilakukan dalam kolom *stripper*, dimana *stripper* adalah suatu alat yang digunakan untuk mengambil suatu zat atau senyawa dari senyawa lainnya dengan fase yang berbeda. *Stripper* biasanya dipasangkan dengan *absorber* untuk regenerasi dan *recycle* absorben agar dapat digunakan kembali.

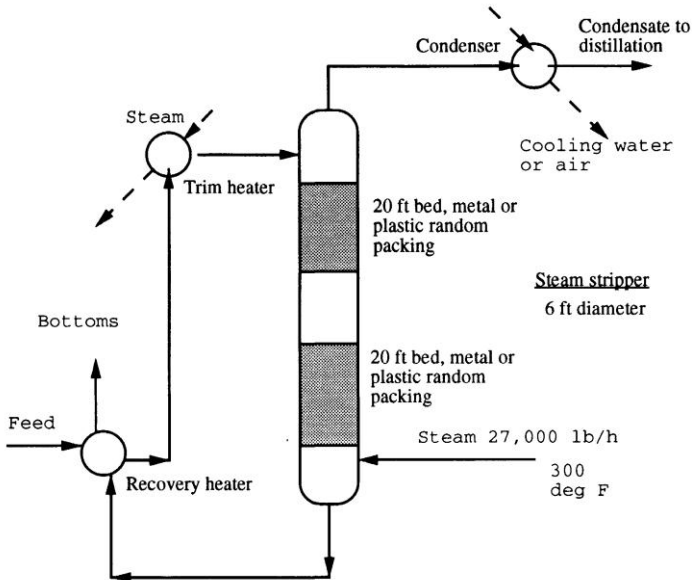
*Stripper* disebut juga sebagai kolom distilasi berfungsi sebagai unit operasi untuk melakukan proses pemisahan sebuah campuran menjadi dua atau lebih produk yang memiliki titik

didih berbeda, dengan mengeluarkan komponen yang lebih mudah menguap dari campuran.

#### **II.4.1 Steam Stripping**

Aliran larutan campuran dipanaskan dan dikontakkan dengan *steam* di dalam *packed* atau *trayed tower*. Kombinasi efek *steam* dan panas atau suhu menyebabkan material organik berpindah dari fase liquid ke fase gas. Material ini kemudian dibawa keluar oleh gas. Sebagai hasilnya, larutan campuran memiliki kandungan material organik lebih sedikit sedangkan gas menjadi kaya akan material organik.

Steam diinjeksikan lewat bagian bawah *tower* untuk menyediakan panas dan aliran vapor. Larutan bersih keluar melewati bagian bawah *tower*. Larutan campuran dimasukkan lewat bagian atas *tower* dan steam yang memiliki kandungan material organik keluar lewat bagian atas *tower*. Hasil yang didapatkan dalam *steam stripper* dan *condenser* adalah larutan campuran dan *steam* diinjeksikan ke dalam tower dan larutan bersih didapatkan. Persyaratan steam untuk proses *stripping* bervariasi bergantung tekanan operasi, tipe organik, dan derajat organik *removal/recovery*. Untuk campuran komponen yang mudah larut dan sulit larut dalam air, sistem *stripping* hampir sama dengan sistem distilasi. *Steam stripping* juga dapat digunakan untuk menghilangkan komponen yang memiliki volatilitas rendah ketika komponen memiliki kelarutan yang rendah dalam air. Semua komponen itu dapat dihilangkan dari air dengan *steam stripping*, meskipun mempunyai volatilitas yang lebih rendah daripada air. Teknik ini telah digunakan selama bertahun-tahun, khususnya dalam industri petroleum. (Jaeger,1997)



**Gambar 2.3** *Steam Stripper* sederhana tanpa recovery pelarut

## II.4.2 Stripper Dengan Reboiler

Pemanasan kembali pada *bottom solar stripper* bertujuan agar terjadi penguapan. Uap dalam *reboiler* mempunyai *Specific Gravity* (SG) yang lebih rendah dari pada SG cairan di dasar *stripper*, cairan di dasar *stripper* akan mendorong uap kembali ke *stripper* dan seterusnya menguap kembali ke kolom fraksinasi. *Stripper* dengan *reboiler* ada dua macam :

### II.4.2.1 *Stripper* Dengan Dapur *Reboiler*

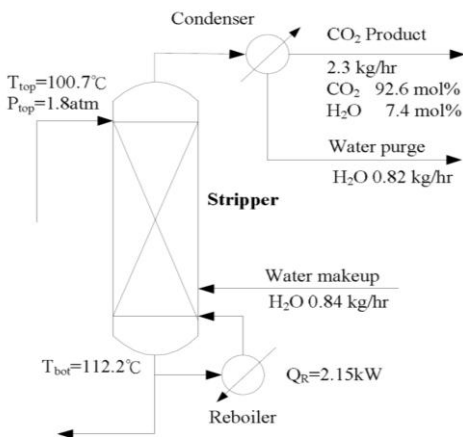
*Reboiler* jenis ini banyak digunakan. Bentuknya seperti dapur yang berfungsi untuk memanaskan fluida cair dari dasar *stripper* yang masih banyak mengandung fraksi – fraksi ringan yang tidak dikehendaki. Dengan bantuan pompa cairan dilewatkan melalui dapur dan dipanaskan sampai suhu tertentu, sehingga fraksi ringan yang tidak dikehendaki didalam produk akan teruapkan melalui puncak *stripper*. Dengan menguapkan fraksi ringan maka produk dari dasar *stripper flash point* akan naik.



#### II.4.2.2 Stripper Dengan *Thermosiphon Reboiler*

*Reboiler* jenis ini berbentuk seperti alat penukar panas yang terdiri dari *shell and tube* dan banyak digunakan pada unit yang mempunyai produk dengan temperatur yang masih tinggi sehingga panasnya dimanfaatkan sebagai *reboiler stripper*.

Prinsip kerja *reboiler* ini bekerja atas dasar perbedaan *specific gravity* yaitu dengan adanya pemanasan dari media pemanas cairan yang ada pada dasar *stripper*. Cairan yang lebih panas mempunyai *specific gravity* lebih kecil, sehingga cairan pada dasar *stripper* mendesak cairan yang berbeda pada alat penukar panas kembali ke *stripper*, sehingga terjadi aliran pada alat penukar panas tersebut. Dengan adanya aliran tersebut, fraksi ringan yang masih terkandung didasar *stripper* akan naik dan menguap melalui puncak *stripper*. Dengan demikian produk yang diambil dari dasar *stripper* diharapkan sudah sesuai dengan spesifikasinya.



**Gambar 2.4.** *Stripper* dengan *Reboiler*

### II.4.3 Faktor yang mempengaruhi Proses *Stripping* (Desorpsi)

#### II.4.3.1 Temperatur

**Tabel II.3** Data eksperimen desorpsi CO<sub>2</sub> dari larutan MDEA

No.	T, K	X <sub>in</sub> , kmol/m <sup>3</sup>	X <sub>out</sub> , kmol/m <sup>3</sup>	Y <sub>in</sub>	Y <sub>out</sub>
1	313	1.674	1.643	0	0.051
2	313	1.391	1.345	0	0.043
3	313	1.130	1.113	0	0.029
4	313	0.707	0.669	0	0.013
5	313	0.549	0.517	0	0.005
6	328	1.507	1.412	0	0.130
7	328	1.253	1.241	0	0.095
8	328	1.147	1.088	0	0.081
9	328	1.027	1.021	0	0.075
10	328	0.737	0.668	0	0.053
11	343	0.762	0.592	0	0.145
12	343	0.662	0.546	0	0.115
13	343	0.585	0.547	0	0.082
14	343	0.495	0.417	0	0.061
15	343	0.446	0.384	0	0.050

(Xu, Zhang 1995)

**Tabel II.3** Data eksperimen desorpsi CO<sub>2</sub> dari larutan MDEA berpromotor PZ

No.	T, K	Xin, kmol/m <sup>3</sup>	Xout, kmol/m <sup>3</sup>	Yin	Yout
1	313	1.904	1.855	0	0.072
2	313	1.849	1.831	0	0.069
3	313	1.699	1.658	0	0.056
4	313	1.208	1.207	0	0.041
5	313	0.918	0.908	0	0.028
6	328	1.602	1.375	0	0.153
7	328	1.477	1.335	0	0.149
8	328	1.337	1.200	0	0.128
9	328	0.839	0.791	0	0.081
10	328	0.619	0.588	0	0.049
11	343	0.963	0.755	0	0.252
12	343	0.783	0.647	0	0.208
13	343	0.713	0.571	0	0.166
14	343	0.458	0.365	0	0.086
15	343	0.354	0.301	0	0.058

(Xu, Zhang 1995)

Percobaan desorpsi CO<sub>2</sub> dilakukan menggunakan larutan MDEA, dan larutan MDEA berpromotor PZ. Eksperimen dilakukan pada suhu 40-70<sup>0</sup>C dan konversi MDEA dari 0.07-0.45. Konsentrasi MDEA 4.28 kmol/m<sup>3</sup>, dan konsentrasi PZ 0.1 kmol/m<sup>3</sup> untuk MDEA berpromotor. Tinggi packing 40 cm. Selama eksperimen laju alir cairan di tetapkan 4.15 kg/(m<sup>2</sup>.s) dan laju alir gas ditetapkan 75 L/h (Suhu Kamar).

## II.5 Penelitian Terdahulu

No	Tahun	Nama Peneliti	Uraian
1	1995	Xu, Zhang	Mempelajari pengaruh suhu pada desorpsi CO <sub>2</sub> dalam larutan MDEA dan Larutan MDEA berpromotor menggunakan <i>packed column</i> . Menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu umpan dan operasi semakin banyak konsentrasi CO <sub>2</sub> yang terlepas
2	1999	Lin dan Shyu	Mempelajari karakteristik performa dan modeling dari absorpsi CO <sub>2</sub> dengan amine pada <i>packed column</i> menunjukkan bahwa dengan meningkatnya konsentrasi amine laju absorpsi CO <sub>2</sub> juga meningkat dan MDEA lebih baik daripada MEA.
3	2000	Bishnoi	Mempelajari absorpsi CO <sub>2</sub> dalam larutan <i>piperazine</i>
4	2013	Li, Wang, dan Chen	Mempelajari kebutuhan energi ( <i>reboiler</i> ) pada desorpsi CO <sub>2</sub> dari <i>rich solvent</i> .
5	2015	Benamor dan Jaber	Mempelajari efek promotor <i>glycine</i> pada kinetika reaksi CO <sub>2</sub> pada MDEA menggunakan <i>stopped flow technique</i> .
6	2016	Xu, Gao dkk	Menunjukkan nilai K berbanding lurus dengan kenaikan suhu operasi. <i>Glycine</i> merupakan promotor yang baik untuk absorpsi CO <sub>2</sub> menggunakan

---

7	2017	Khan, Saha, Halder	larutan MDEA. Mempelajari pengaruh CO <sub>2</sub> <i>loading</i> , dan konsentrasi DEEA terhadap beban <i>reboiler</i> (Qreb). Menunjukkan Qreb menurun saat CO <sub>2</sub> <i>loading</i> tinggi. Mempelajari absorpsi desorpsi CO <sub>2</sub> menggunakan larutan MDEA berpromotor PZ pada <i>packed column</i> .
---	------	-----------------------	--

---

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

### **III.1 Garis Besar Penelitian**

Garis besar pelaksanaan penelitian ini akan dilakukan secara eksperimen. Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa, Teknik Kimia, ITS. Penelitian desorpsi gas CO<sub>2</sub> menggunakan pelarut MDEA berpromotor bertujuan antara lain, pertama mempelajari perubahan suhu umpan *stripper* terhadap efisiensi *stripper*, kedua mempelajari perubahan suhu *reboiler* terhadap efisiensi *stripper*, serta mempelajari perbedaan jenis promotor terhadap efisiensi *stripper*.

Tahap pelaksanaan penelitian meliputi persiapan alat dan bahan baku umpan *stripper*, pengambilan data, dan analisa hasil. Pada penelitian ini menggunakan kontaktor *packed column*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *sampling* dengan menghitung konsentrasi gas CO<sub>2</sub> pada fase cair menggunakan metode alkalimetri.

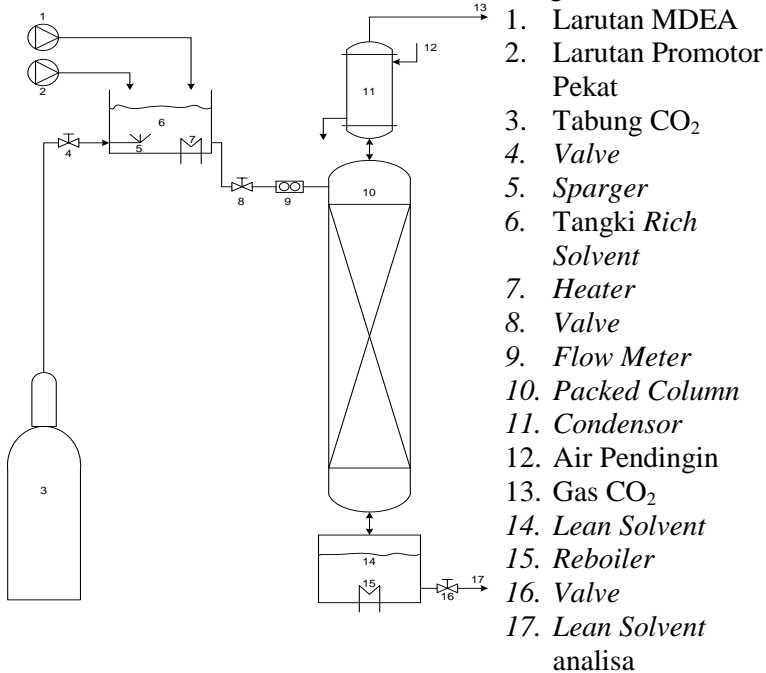
### **III.2 Bahan yang Digunakan**

Dalam penelitian ini, proses persiapan bahan baku *rich solvent* menggunakan gas CO<sub>2</sub> dengan Konsentrasi sebesar 98% yang diperoleh dari PT. Samator Gas. Pelarut yang digunakan untuk proses persiapan dan desorpsi CO<sub>2</sub> adalah aquadest, dengan promotor, PZ, *Glycine*, DEA, sedang *solvent* MDEA dengan kemurnian 99,99% diperoleh dari *Dow Chemical Company* melalui PT. Saka Indonesia Pangkah *Limited*.

### **III.3 Rangkaian Peralatan Penelitian**

Penelitian ini menggunakan sebuah *packed column* yang dilengkapi dengan tangki untuk tahap persiapan umpan *rich solvent* beserta *sparger* gas CO<sub>2</sub>, *band-heater*, *thermocouple*, *packed column*, *condenser* dan *reboiler*. *Band-heater* mempunyai spesifikasi 220 Volt/1000 Watt. Tangki tahap persiapan dan *Packed column* mempunyai spesifikasi karakteristik yang

disajikan pada **Tabel III.1**, dan **Tabel III.2**. Secara rinci foto dan skema rangkaian alat penelitian desorpsi ditunjukkan pada **Appendiks** dan **Gambar 3.1** :



**Gambar 3.1** Skema rangkaian alat *packed column* untuk desorpsi CO<sub>2</sub>

**Tabel III.1** Data Karakteristik Tangki Persiapan *Rich Solvent*

Tangki Persiapan <i>Rich Solvent</i>	
Parameter	Keterangan
Tinggi tangki (cm)	30
Diameter tangki (cm)	22
Tebal bejana (cm)	0.4

**Tabel III.2** Data Karakteristik *Packed Column*

<i>Packed Column</i> Desorpsi	
Parameter	Keterangan
Tinggi kolom (cm)	100
Diameter kolom (cm)	6
Panjang <i>packing</i> (cm)	1
Diameter <i>packing</i> (cm)	0,5
Jenis <i>packing</i> (cm)	<i>Raschig ring</i>

### III.4 Variabel Penelitian

#### III. 4.1 Kondisi yang Ditetapkan

1. Laju alir umpan desorpsi : 160 ml/menit
2. Konsentrasi Promotor : 5% V total
3.  $\Delta$  pH : 1.92

#### III.4.2 Variabel Masukan

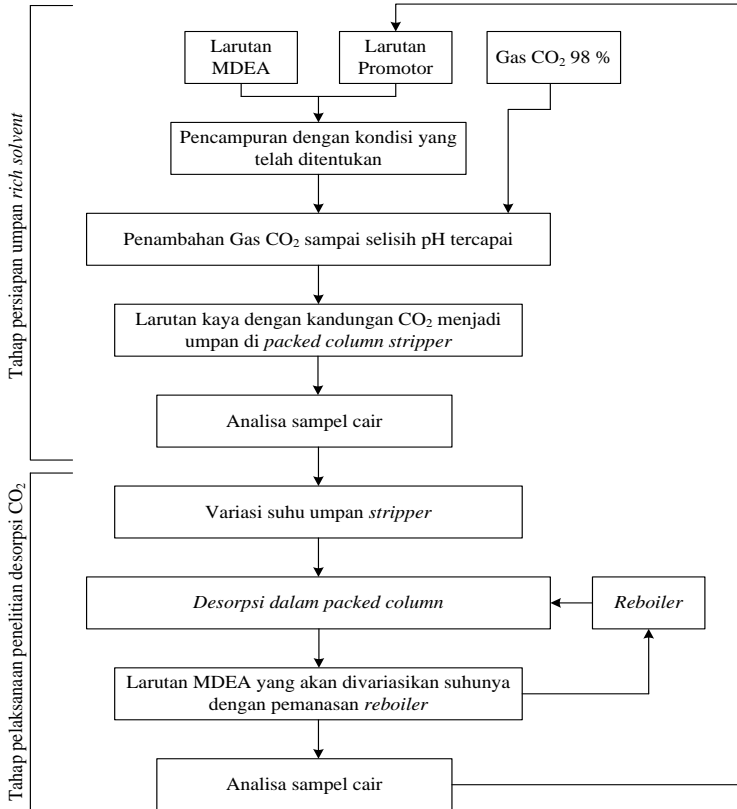
1. Promotor : PZ, *Glycine*, DEA
2. Suhu umpan desorpsi : 30, 45, 60 ( $^{\circ}$ C)
3. Suhu *reboiler* : 80, 100, 108 ( $^{\circ}$ C)

#### III.4.3 Variabel Respon

Effisiensi *stripper*



### III.5 Skema Prosedur Penelitian



Gambar 3.2 Skema prosedur penelitian desorpsi gas CO<sub>2</sub>

### III.6 Prosedur Penelitian

#### III.6.1 Tahap Persiapan *Rich Solvent*

Pada proses persiapan *rich solvent*, membuat *solution* (20% volume MDEA + 80% volume Aquadest) ditambah dengan promotor (PZ, *Glycine*, DEA) sebanyak 5% volume total, setelah itu ditambahkan gas CO<sub>2</sub> dengan

bantuan *sparger* untuk mempermudah kontak antara fase liquid dan fase gas. Lama kontak gas CO<sub>2</sub> dengan *solution* dipengaruhi oleh perubahan pH sebesar 1.92 dari pH awalnya. Hal tersebut bertujuan untuk memperoleh CO<sub>2</sub> *loading* yang sama untuk tiap promotor yang berbeda. Pelarut yang telah tercampur dengan gas CO<sub>2</sub> dianalisa dengan metode alkalimetri. Pelarut dari tangki persiapan *rich solvent* dialirkan ke *packed column* desorpsi secara gravitasi. Skema Tahap persiapan disajikan pada **Gambar 3.2.**

### **III.6.2 Tahap Pelaksanaan Penelitian Desorpsi CO<sub>2</sub>**

Pada proses desorpsi, pelarut yang kaya akan gas CO<sub>2</sub> (*rich solvent*) keluaran dari tangki persiapan masuk ke *packed column* desorpsi yang sebelumnya telah divariasikan suhunya. Pemanasan ini bertujuan untuk menurunkan kelarutan CO<sub>2</sub> di dalam pelarut sehingga CO<sub>2</sub> dalam pelarut mudah lepas. *Rich solvent* masuk ke *packed column* kemudian kontak dengan uap dari larutan MDEA dari *reboiler* yang telah divariasikan suhu operasinya, dan kemudian sebagian besar CO<sub>2</sub> ikut terbawa keatas bersama dengan uap larutan MDEA. Sisa gas CO<sub>2</sub> yang terdapat dalam pelarut dianalisa menggunakan metode alkalimetri. Skema prosedur penelitian desorpsi dapat dilihat pada **Gambar 3.2.**

### **III.7 Prosedur Analisa Hasil Penelitian**

Analisa hasil pada percobaan ini adalah analisa konsentrasi gas CO<sub>2</sub> di dalam pelarut. Gas CO<sub>2</sub> yang menjadi umpan dan keluaran dari *packed column* desorpsi dianalisa menggunakan metode alkalimetri. Metode ini dipilih karena pada penelitian-penelitian sebelumnya di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa untuk mengetahui jumlah kandungan CO<sub>2</sub> pada fase liquid menggunakan analisa titrasi *Chittick* (Dreimanis, 1962) dan analisa titrasi BaCl<sub>2</sub> (Karl Anders Hoff, 2003), dimana analisa

titrasi  $\text{BaCl}_2$  digunakan untuk perbandingan hasil dari analisa titrasi *Chittick*.

### III.7.1 Perhitungan efisiensi *stripper*

Konsentrasi gas  $\text{CO}_2$  di dalam pelarut dari hasil analisa digunakan untuk menghitung % efisiensi *stripper*, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

Persamaan efisiensi *stripper* :

$$\eta = \frac{(\text{CO}_2 \text{ Removal})}{(\text{CO}_2 \text{ Loading})} \times 100\%$$

dimana  $\eta$  adalah efisiensi, ( $\text{CO}_2 \text{ Removal}$ ) adalah  $\text{CO}_2 \text{ rich solvent}$  dikurangi ( $\text{CO}_2 \text{ lean solvent}$ ),  $\text{CO}_2 \text{ Loading}$  adalah  $\text{CO}_2 \text{ rich solvent}$ .

### III.7.2 Perhitungan $\text{CO}_2 \text{ loading}$

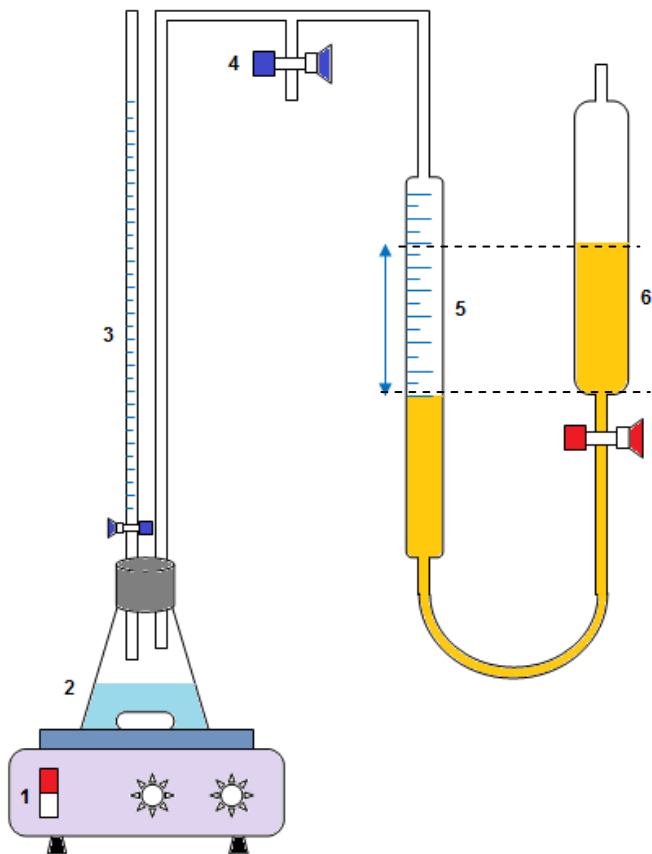
Konsentrasi  $\text{CO}_2$  di dalam pelarut ditentukan dengan analisa titrasi *chittick*, skema alat ditunjukkan oleh **Gambar 3.3**. Labu erlenmeyer (2) berisi sampel pelarut dengan indikator (*methyl orange*) dihubungkan dengan dua saluran dan ditempatkan dalam pengaduk magnetik (1). Sambungan pertama dihubungkan dengan buret (3) untuk titrasi dan sambungan kedua dihubungkan dengan U-tube manometer. Sampel pelarut ditrasi dengan larutan HCl (1 M) dari tabung buret hingga warna sampel pelarut berubah.  $\text{CO}_2$  yang terlepas dari sampel ditangkap oleh larutan garam NaCl jenuh yang ada di *levelling bulb* (6) melalui U-tube. Jumlah  $\text{CO}_2$  yang terlepas tersebut dapat diketahui berapa jumlahnya dari perubahan volume yang ditunjukkan oleh *measuring burette* (5).

Konsentrasi  $CO_2$  di dalam pelarut, biasa disebut dengan  $CO_2$  loading, ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\alpha = \frac{mol(CO_2)}{mol(pelarut)} = \left[ \frac{(V_{gas} - V_{HCl})(P)(273K)}{(101325Pa)(T)(22,4L/mol)} \right] \frac{1}{C_1 V_1}$$

(Rahim, dkk. 2015)

dimana  $V_{gas}$  adalah perubahan volume larutan NaCl jenuh yang ditunjukkan oleh *measuring burette* (mL),  $V_{HCl}$  adalah volume HCl yang diperlukan sampai sampel pelarut berubah warna (mL),  $P$  adalah tekanan atmosfer (Pa),  $T$  adalah suhu ruangan (K),  $C_1$  adalah konsentrasi pelarut (mol/L), dan  $V_1$  adalah volume sampel pelarut (mL).



**Gambar 3.3** Skema alat titrasi *chittic*

Keterangan :

- 1 : Pengaduk magnetik
- 2 : Labu erlenmeyer
- 3 : Buret
- 4 : *Venting valve*
- 5 : *Measuring burette*
- 6 : *Levelling bulb* (garam NaCl jenuh)

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian-penelitian sebelumnya telah membahas mengenai absorpsi CO<sub>2</sub> dengan larutan MDEA-PZ yang dilakukan oleh Samanta (2011). Kemudian absorpsi CO<sub>2</sub> dengan larutan MDEA-*Glycine* yang dilakukan oleh Benamor (2016), tetapi sampai saat ini masih belum dilakukan penelitian tentang desorpsi CO<sub>2</sub> dengan larutan MDEA-*Glycine* dan masih sedikit sekali penelitian tentang desorpsi CO<sub>2</sub> dengan larutan MDEA-PZ. Sehingga memotivasi kami untuk melakukan penelitian tentang desorpsi CO<sub>2</sub> dalam larutan MDEA berpromotor PZ dan *Glycine*.

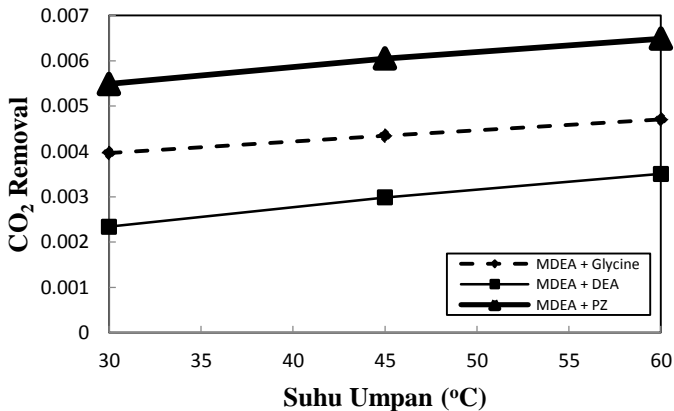
Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh variasi promotor, suhu *umpan* dan suhu *reboiler* pada proses desorpsi gas CO<sub>2</sub> terhadap efisiensi *stripper*. Prinsip dari proses desorpsi dalam penelitian ini adalah adanya perbedaan konsentrasi, sehingga mendorong difusi gas CO<sub>2</sub> dari konsentrasi yang tinggi ke konsentrasi yang rendah. Respon yang diukur untuk tujuan penelitian ini adalah efisiensi *stripper*.

Kolom yang digunakan berupa *packed column*. Pelarut yang digunakan untuk proses absorpsi CO<sub>2</sub> adalah senyawa golongan amina tersier yaitu *Methyldiethanolamine* (MDEA) dengan promotor berupa *glycine*, DEA, dan PZ. Pada proses absorpsi gas CO<sub>2</sub> dialirkan ke dalam larutan MDEA berpromotor sampai pH dari larutan tersebut konstan. Larutan setelah selesai di alirkan sampai dengan pH yang diinginkan dijadikan sebagai umpan (*rich solvent*) untuk proses desorpsi. Pada proses desorpsi *rich solvent* dialirkan secara gravitasi menuju *packed column* yang sebelumnya divariasikan suhu masuknya dengan cara pemanasan antara 30 hingga 60 °C. Gas CO<sub>2</sub> dalam pelarut berdifusi melewati packing dan akan terpisah dari pelarut. Sedangkan pelarut yang mengandung sedikit CO<sub>2</sub> (*lean solvent*) keluar dari bawah kolom. Waktu operasi ditentukan selama 15 menit untuk proses desorpsi dimana suhu gas keluar sudah konstan (*steady state*). Untuk setiap variabel dilakukan

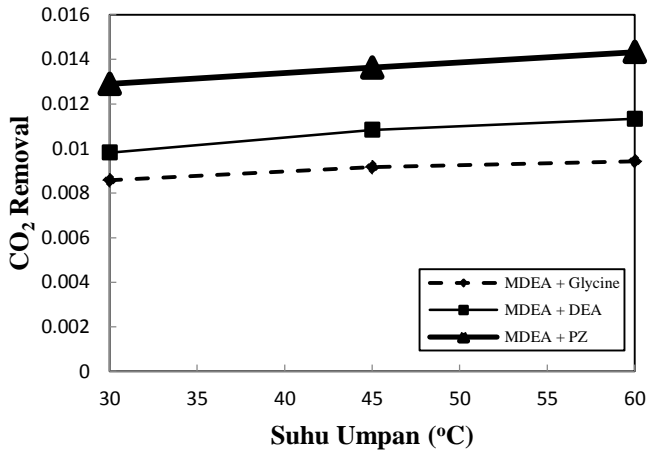
pengambilan sampel *rich solvent*, dan *lean solvent*. Sampel kemudian dianalisa menggunakan titrasi *chittick* (Dreimanis, 1962) dan BaCl<sub>2</sub> (Karl Anders Hoff, 2003).

#### IV.1 Pengaruh Suhu Umpam terhadap CO<sub>2</sub> Removal

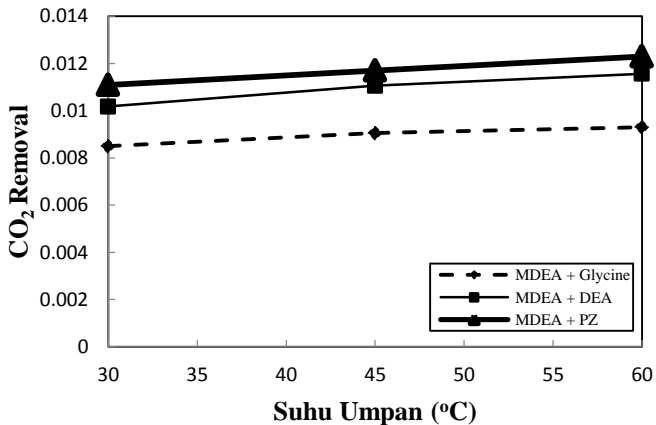
Suhu umpam *rich solvent* akan memberikan pengaruh terhadap CO<sub>2</sub> removal. Menurut Xu, Zhang (1995), pada proses desorpsi semakin tinggi suhu umpam akan menyebabkan semakin banyak CO<sub>2</sub> yang terlepas. Pengaruh suhu umpam terhadap CO<sub>2</sub> removal ditunjukkan oleh grafik di **Gambar 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3**



**Gambar 4.1.1** Pengaruh suhu umpam *rich solvent* terhadap CO<sub>2</sub> removal pada berbagai jenis larutan MDEA berpromotor (T Reboiler 80<sup>0</sup>C)



**Gambar 4.1.2** Pengaruh suhu umpan *rich solvent* terhadap  $\text{CO}_2$  removal pada berbagai jenis larutan MDEA berpromotor (T Reboiler  $100^\circ\text{C}$ )



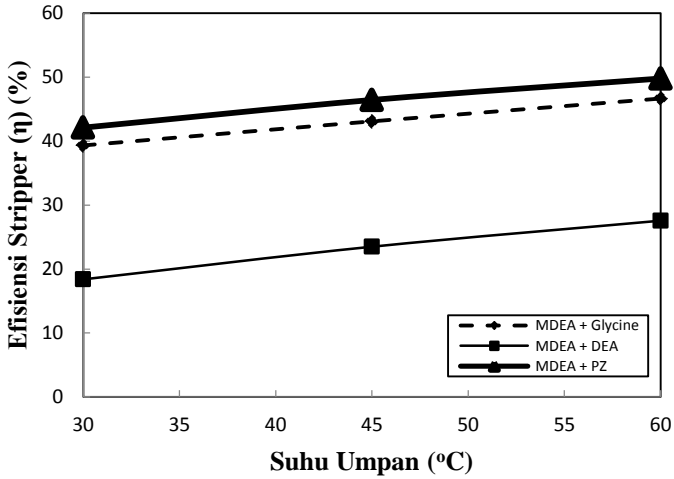
**Gambar 4.1.3** Pengaruh suhu umpan *rich solvent* terhadap  $\text{CO}_2$  removal pada berbagai jenis larutan MDEA berpromotor (T Reboiler  $108^\circ\text{C}$ )



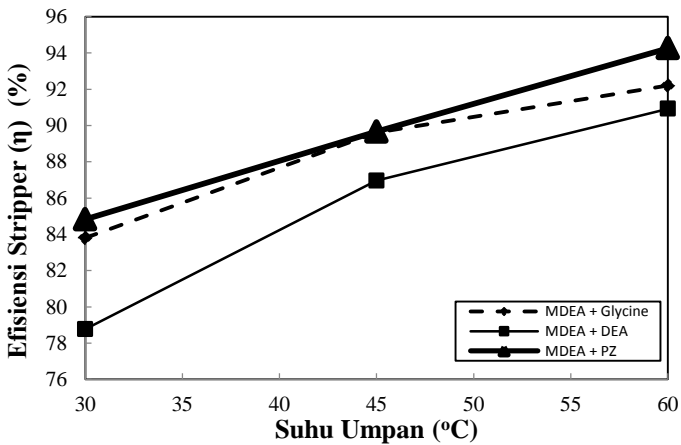
Pada **Gambar 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3** untuk jenis pelarut yang sama, grafik menunjukkan kecenderungan semakin tingginya suhu umpan (*rich solvent*) akan meningkatkan CO<sub>2</sub> removal di dalam pelarut. CO<sub>2</sub> removal untuk suhu umpan 30<sup>0</sup>C larutan MDEA berpromotor PZ pada suhu *reboiler* 80<sup>0</sup>C, 100<sup>0</sup>C, 108<sup>0</sup>C berturut-turut sebesar 0.00549, 0.01108, 0.01109, untuk larutan MDEA berpromotor *Glycine* menghasilkan CO<sub>2</sub> removal 0.00397, 0.00857, 0.00849, untuk larutan MDEA berpromotor DEA menghasilkan CO<sub>2</sub> removal 0.00234, 0.00982, 0.01018. CO<sub>2</sub> removal untuk suhu umpan 45<sup>0</sup>C larutan MDEA berpromotor PZ pada suhu *reboiler* 80<sup>0</sup>C, 100<sup>0</sup>C, 108<sup>0</sup>C berturut-turut sebesar 0.00605, 0.01167, 0.0117, untuk larutan MDEA berpromotor *Glycine* menghasilkan CO<sub>2</sub> removal 0.00435, 0.00917, 0.00905, untuk larutan MDEA berpromotor DEA menghasilkan CO<sub>2</sub> removal 0.00299, 0.01084, 0.01106. CO<sub>2</sub> removal untuk suhu umpan 60<sup>0</sup>C larutan MDEA berpromotor PZ pada suhu *reboiler* 80<sup>0</sup>C, 100<sup>0</sup>C, 108<sup>0</sup>C berturut-turut sebesar 0.00649, 0.01216, 0.01229, untuk larutan MDEA berpromotor *Glycine* menghasilkan CO<sub>2</sub> removal 0.00471, 0.00943, 0.00930, untuk larutan MDEA berpromotor DEA menghasilkan CO<sub>2</sub> removal 0.00350, 0.01133, 0.01156. Hal ini dikarenakan kenaikan suhu umpan berbanding terbalik dengan kelarutan gas, artinya saat suhu naik, maka kelarutan gas semakin kecil. Ketika kelarutan gas kecil, hal ini berakibat CO<sub>2</sub> di liquid akan berubah menjadi gas sehingga konsentrasi CO<sub>2</sub> di liquid berkurang.

#### **IV.2 Pengaruh Suhu Umpan terhadap Efisiensi *Stripper***

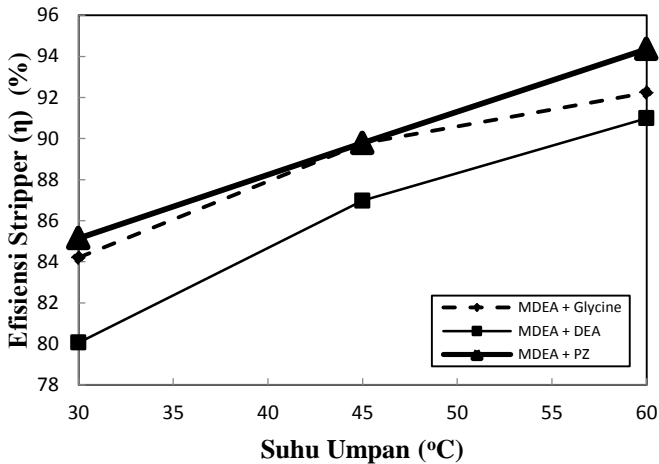
Pada proses desorpsi ini, menggunakan variabel suhu umpan berupa 30<sup>0</sup>C, 45<sup>0</sup>C, 60<sup>0</sup>C di berbagai larutan MDEA berpromotor, dimana pada penelitian ini dilakukan 3 kondisi yang berbeda pada setiap variabel suhu umpan yaitu kondisi pada suhu *reboiler* 80, 100, dan 108<sup>0</sup>C. Hasil yang didapatkan sebagai berikut :



**Gambar 4.2.1** Pengaruh suhu umpan *rich solvent* terhadap efisiensi *stripper* pada berbagai jenis larutan MDEA berpromotor ( $T_{Reboiler} = 80^{\circ}\text{C}$ )



**Gambar 4.2.2** Pengaruh suhu umpan *rich solvent* terhadap efisiensi *stripper* pada berbagai jenis larutan MDEA berpromotor ( $T_{Reboiler} = 100^{\circ}\text{C}$ )



**Gambar 4.2.3** Pengaruh suhu umpan *rich solvent* terhadap efisiensi *stripper* pada berbagai jenis larutan MDEA berpromotor (  $T_{Reboiler} = 108^{\circ}\text{C}$  )

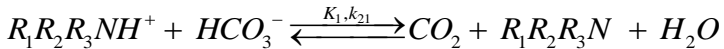
Pada **Gambar 4.2.1**, **4.2.2**, **4.2.3** menunjukkan grafik pengaruh suhu umpan (*rich solvent*) terhadap efisiensi *stripper*, dimana grafik tersebut menunjukkan kecenderungan dengan semakin tinggi suhu umpan *rich solvent*, semakin tinggi pula efisiensi *stripper* yang didapat. Efisiensi *stripper* untuk suhu umpan  $30^{\circ}\text{C}$  larutan MDEA berpromotor PZ pada suhu *reboiler*  $80^{\circ}\text{C}$ ,  $100^{\circ}\text{C}$ ,  $108^{\circ}\text{C}$  berturut-turut sebesar 42.12%, 85.01%, 85.14%, untuk larutan MDEA berpromotor *Glycine* mempunyai efisiensi sebesar 39.34%, 83.80%, 84.20%, untuk larutan MDEA berpromotor DEA mempunyai efisiensi sebesar 18.39%, 78.77%, 80.07%. Efisiensi *stripper* untuk suhu umpan  $45^{\circ}\text{C}$  larutan MDEA berpromotor PZ pada suhu *reboiler*  $80^{\circ}\text{C}$ ,  $100^{\circ}\text{C}$ ,  $108^{\circ}\text{C}$  berturut-turut sebesar 46.45%, 89.54%, 89.78%, untuk larutan MDEA berpromotor *Glycine* mempunyai efisiensi sebesar 43.10%, 89.61%, 89.76%, untuk larutan MDEA berpromotor DEA mempunyai efisiensi sebesar 27.57%, 86.96%, 86.98%.

Efisiensi *stripper* untuk suhu umpan 60<sup>0</sup>C larutan MDEA berpromotor PZ pada suhu *reboiler* 80<sup>0</sup>C, 100<sup>0</sup>C, 108<sup>0</sup>C berturut-turut sebesar 49.80%, 93.30%, 94.36%, untuk larutan MDEA berpromotor *Glycine* mempunyai efisiensi sebesar 46.67%, 92.20%, 92.24%, untuk larutan MDEA berpromotor DEA mempunyai efisiensi sebesar 27.57%, 90.92%, 90.99%. Hal ini diakibatkan karena dengan meningkatnya temperatur maka terjadi peningkatan laju reaksi sehingga dapat meningkatkan jumlah gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi dari *solvent*. Hasil ini berkorelasi positif dengan hasil kajian literatur yang dilakukan oleh Wen Xu, dkk (1992) yang menyatakan konstanta laju reaksi dari reaksi MDEA dengan gas CO<sub>2</sub> sebagai fungsi temperatur dalam persamaan sebagai berikut.

$$k_{MDEA} = 5.86 \times 10^6 \exp(-3984/T)$$

Dari persamaan diatas bisa kita simpulkan bahwa trend dari kenaikan temperatur dapat meningkatkan nilai konstanta laju reaksi, sehingga laju reaksi meningkat.

Kenaikan suhu berbanding terbalik dengan kelarutan gas, artinya saat suhu naik, maka kelarutan gas semakin kecil. Ketika kelarutan gas kecil, hal ini berakibat CO<sub>2</sub> di liquid akan berubah menjadi gas sehingga konsentrasi CO<sub>2</sub> di liquid berkurang.

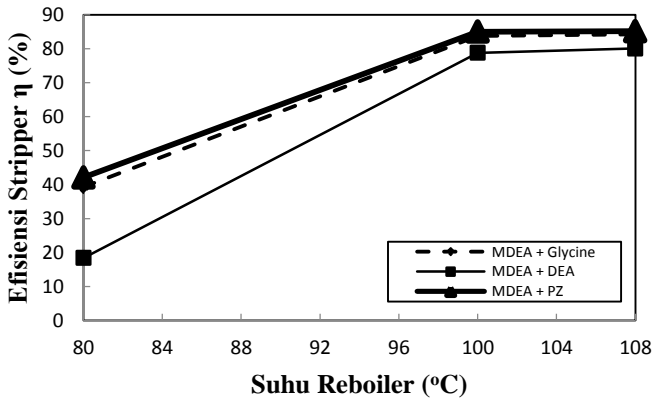


Dari reaksi diatas, pengurangan konsentrasi CO<sub>2</sub> di liquid menandakan reaksi kesetimbangan bergeser ke kanan, atau dengan kata lain *solvent* semakin banyak yang bereaksi, sehingga % efisiensi *stripper* akan semakin tinggi.

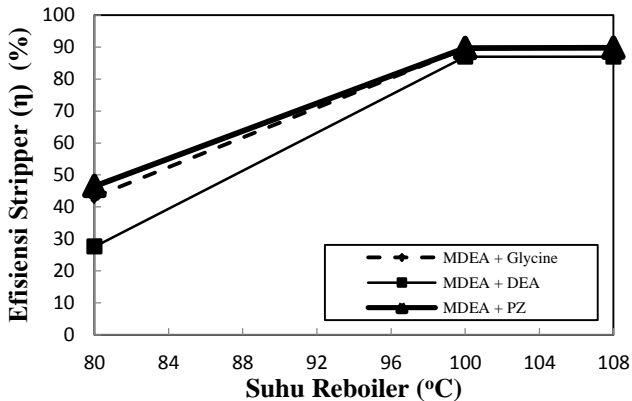
Selain itu peningkatan suhu larutan juga mempengaruhi difusivitas gas. Berdasarkan persamaan empiris yang dikembangkan Taylor dan Krishna (1993) juga Seader (1998) membuktikan bahwa pengaruh peningkatan temperatur dapat meningkatkan nilai dari konstanta difusivitas gas. Akibat dari peningkatan nilai difusivitas gas maka laju perpindahan massa dari fasa *liquid* menuju gas lebih mudah terjadi sehingga secara tidak langsung dapat meningkatkan laju *stripping*.

### IV.3 Pengaruh Suhu *Reboiler* terhadap Efisiensi *Stripper*

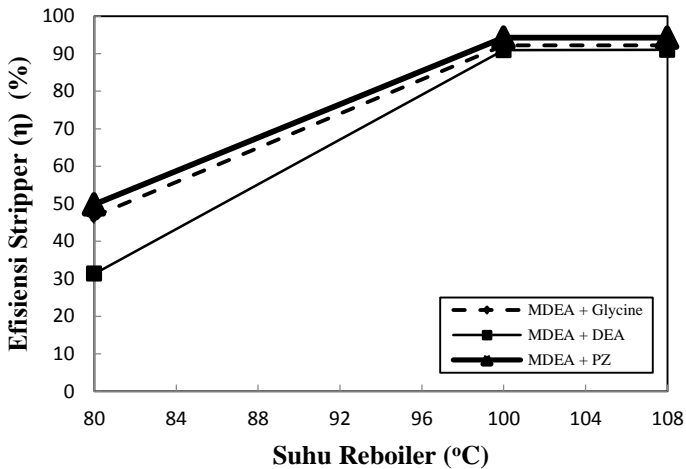
Pengaruh suhu *reboiler* terhadap efisiensi *stripper* ditunjukkan oleh grafik di **Gambar 4.3**



**Gambar 4.3.1** Pengaruh suhu *reboiler* terhadap efisiensi *stripper* pada berbagai jenis larutan MDEA berpromotor ( $T_{rich\ solvent} 30^{\circ}C$ )



**Gambar IV.3.2** Pengaruh suhu *reboiler* terhadap efisiensi *stripper* pada berbagai jenis larutan MDEA berpromotor ( $T_{rich\ solvent} 45^{\circ}C$ )



**Gambar 4.3.3** Pengaruh suhu *reboiler* terhadap efisiensi *stripper* pada berbagai jenis larutan MDEA berpromotor (*T rich solvent* 60<sup>0</sup>C)

Pada **Gambar 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3** untuk jenis pelarut yang sama, grafik tersebut menunjukkan semakin tinggi suhu *reboiler*, berbanding lurus dengan efisiensi *stripper* yang didapat. Efisiensi *stripper* untuk suhu *reboiler* 80<sup>0</sup>C larutan MDEA berpromotor PZ sebesar 42.12-49.80 %, larutan MDEA berpromotor *Glycine* sebesar 39.34-46.67%, larutan MDEA berpromotor DEA sebesar 18.39-27.57%. Efisiensi *stripper* untuk suhu *reboiler* 100<sup>0</sup>C larutan MDEA berpromotor PZ sebesar 85.01-93.30%, larutan MDEA berpromotor *Glycine* sebesar 83.80-92.20%, larutan MDEA berpromotor DEA sebesar 78.77-90.92%. Efisiensi *stripper* untuk suhu *reboiler* 108<sup>0</sup>C larutan MDEA berpromotor PZ sebesar 85.14-93.30%, larutan MDEA berpromotor *Glycine* sebesar 84.20-92.24%, larutan MDEA berpromotor DEA sebesar 80.07-90.99%. Pengaruh peningkatan suhu *reboiler*, tidak jauh berbeda dengan pengaruh suhu umpan *rich solvent* masuk. Peningkatan suhu *reboiler* ini juga akan mempengaruhi

peningkatan laju reaksi dan difusivitas serta menurunkan kelarutan gas CO<sub>2</sub> sehingga dapat meningkatkan % efisiensi *stripper*.

#### IV.4 Pengaruh Jenis Promotor terhadap Efisiensi *Stripper*

Pada penelitian ini menggunakan 3 jenis promotor yaitu, PZ, *glycine*, dan DEA. Menurut Akmal, Donsius (2016) konstanta laju reaksi absorpsi CO<sub>2</sub> dalam pelarut berpromotor *piperazine* lebih tinggi dibandingkan dengan pelarut MDEA berpromotor *glycine*. Hal ini dikarenakan kereaktifan sistem larutan MDEA berpromotor PZ lebih tinggi jika dibandingkan dengan kereaktifan sistem larutan MDEA berpromotor *glycine*.

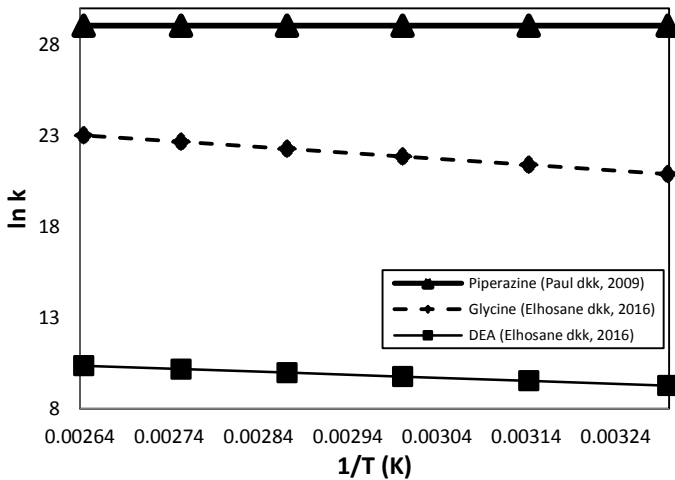
Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan promotor *piperazine* (PZ) merupakan promotor yang paling baik untuk digunakan, diikuti promotor *glycine*, kemudian DEA. Hal ini terjadi karena konstanta laju reaksi PZ lebih besar dari *glycine* maupun DEA. Berikut tabel perbandingan nilai konstanta laju reaksi desorpsi CO<sub>2</sub> pada berbagai macam promotor.

**Tabel IV.1** Nilai konstanta laju reaksi pada berbagai macam promotor

Promotor	Nilai k (m <sup>3</sup> /kmol.det)	Referensi
<i>Piperazine</i>	$4.16 \times 10^{12} \exp\left(\frac{-46943}{RT}\right)$	Paul dkk, 2009
<i>Glycine</i>	$5.3409 \times 10^{13} \exp\left(\frac{-3251.9}{T}\right)$	Elhosane dkk, 2016
DEA	$2.5715 \times 10^6 \exp\left(\frac{-1665.8}{T}\right)$	Elhosane dkk, 2016

Selanjutnya dilakukan perbandingan persamaan konstanta laju reaksi desorpsi CO<sub>2</sub> pada berbagai macam promotor. Pada temperatur 303.15 K didapat masing-masing konstanta laju reaksi

absorpsi  $\text{CO}_2$  dari berbagai promotor yaitu  $4.083 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{kmol}\cdot\text{det}$  untuk PZ (Paul dkk, 2009),  $1.172 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{kmol}\cdot\text{det}$  untuk *glycine* (Elhosane dkk, 2016), dan  $10,562.132 \text{ m}^3/\text{kmol}\cdot\text{det}$  untuk DEA (Elhosane dkk, 2016). Berikut adalah plot grafik dari berbagai nilai  $\ln k$  pada temperatur 303.15 K hingga 378.15 K berdasarkan **Tabel IV.1**:



**Gambar 4.4.1** Hubungan  $\ln k$  dengan  $1/T$  pada laju desorpsi  $\text{CO}_2$  dalam berbagai suhu (303.15 – 378.15 K)

Pada **Gambar 4.4.1** menunjukkan hubungan antara konstanta laju reaksi versus suhu. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu semakin tinggi pula nilai  $k$  pada masing-masing pelarut. Nilai  $k$  yang semakin tinggi akan mempercepat lepasnya  $\text{CO}_2$  dari pelarut sehingga dapat meningkatkan efisiensi *stripper*.



(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian studi desorpsi gas CO<sub>2</sub> dalam Larutan MDEA menggunakan *Packed Column* dengan konsentrasi MDEA sebesar 20% volume pada temperatur *rich solvent* 30-60<sup>0</sup>C dan temperatur *reboiler* 80-108<sup>0</sup>C, dapat disimpulkan bahwa :

1. Semakin tinggi suhu umpan *rich solvent*, semakin tinggi pula efisiensi *stripper* yang didapat.
2. Semakin tinggi suhu *reboiler*, berbanding lurus dengan efisiensi *stripper* yang didapat.
3. *Piperazine* (PZ) merupakan jenis promotor terbaik yang menghasilkan efisiensi *stripper* terbesar, diikuti promotor *Glycine*, kemudian DEA.
4. Efisiensi *stripper* tertinggi sebesar 94.36% pada saat kondisi suhu umpan *rich solvent* 60<sup>0</sup>C dan suhu *reboiler* 108<sup>0</sup>C

#### **V.2 Saran**

1. Diperlukan studi lanjut untuk menentukan kinetika desorpsi CO<sub>2</sub> dalam larutan MDEA berpromotor PZ, *Glycine*, dan DEA.
2. Diperlukan studi lanjut pengaruh variabel Q (kWh) pada proses desorpsi CO<sub>2</sub>.

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

## DAFTAR PUSTAKA

- Benamor, A., Al-Marri, M. J., Khraisheh M., Nasser, M. S., Tontiwachwuthikul, P. (2016). "Reaction Kinetics of Carbon Dioxide in Aquous Blends of N-Methyldiethanolamine and Glycine Using The Stopped Flow Technique". *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 33 (2016) 186-195.
- Buckingham, P., (1964). Fluor solvent process plants: how they are working. *Hydrocarbon Process*, 43, 113.
- Donsius and Akmal. (2017). Study of CO<sub>2</sub> Absorption in MDEA-TEASolution with PZ Catalyst. Chemical Engineering Department, Faculty of Industrial Technology. ITS. Surabaya.
- Dreimanis. (1962). *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol.32. University of Oklahoma.
- Elhosane, Ahmed. (2016). Kinetic Study of Carbon Dioxide Absorption Into Glycine Promoted Methyldiethanolamine (MDEA). Chemical Engineering Department, Faculty of Industrial Technology. ITS. Surabaya.
- Fuqoha, Iqlima. (2012). *Perancangan dan Estimasi Biaya Unit Pemisahan Gas Asam dengan Kandungan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S Tinggi*. Laporan Skripsi Jurusan Teknik Kimia. Universitas Indonesia. Depok.
- Gorak, Andrzej. (2005). European roadmap for process intensification: reactive absorption. Ohio: Velocys Inc
- Hoff, Karl. (2003). Modeling and Experimental Study of Carbon Dioxide Absorption in a Membrane contactor. Norwegian University of Science and Technology Department of Chemical Engineering.
- Jaeger.(1996).Typical Steam Stripping Applications. 1611 Peachleaf, Houston, Texas
- Khan, Halder, and Saha. (2017). Experimental investigation on efficient carbon dioxide capture using piperazine (PZ)

- activated aqueous methyldiethanolamine (MDEA) solution in packed column. Department of Chemical Engineering, National Institute of Technology, Durgapur India.
- Li, Xiaofei., and Wang, S. (2013). Experimental study of energy requirement of CO<sub>2</sub> desorption from rich solvent. China : Department of Thermal Engineering, Tsinghua University.
- Ma'mun, S. (2005). Selection and characterization of new absorbents for carbon dioxide capture (Doctoral Thesis).  
Norway: Norwegian University of Science and Technology.
- Rao, A.B., and Rubin, E.S. (2002). A technical, economic, and environmental assessment of amine-based CO<sub>2</sub> capture technology for power plant greenhouse gas control (Technical Progress Report). West Virginia: National Energy Technology Laboratory.
- Rochelle, Gary T and Oyenekan, Babatunde A. (2007). *“Alternative Stripper Configurations for CO<sub>2</sub> Capture by Aqueous Amines”*. The University of Texas at Austin
- Samanta, A., S. S. Bandyopadhyay.(2011). “Absorption of Carbon Dioxide into Piperazine Activated Aqueous N-Methyldiethanolamine”. Cryogenic Engineering Centre. India.
- Servatius. (2012). *Absorpsi CO<sub>2</sub> Melalui Kontaktor Membran Serat Berongga Menggunakan Larutan Penyerap Tunggal dan Campuran Senyawa Amina : Pengaruh Laju Alir CO<sub>2</sub>*. Laporan Skripsi Jurusan Teknik Kimia. Universitas Indonesia. Depok.
- Tan, Chung-Sung. (2012). A review of CO<sub>2</sub> capture by absorption and adsorption. Taiwan: National Tsing Hua University.
- Taylor, Ross dan R. Krishna.(1993).*“Multicomponent Mass Transfer”*. John Wiley & Sons, Inc. :USA.

- Valer, M. Mercedes. (2010). *Development and Innovation in Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) Capture and Storage Technology Volume 1*. Woodhead Publishing. UK.
- Wang, M., Lawal, A., Stephenson, P., (2011). Post-combustion CO<sub>2</sub> capture with chemical absorption: a state-of-the-art review. *Chemical Engineering Research and Design*, 89, 1609-1624.
- Xiang, Moullec, Fang. (2014). Novel Solvent Regeneration Process through Direct Steam Stripping. State Key Laboratory of Clean Energy Utilization, Zhejiang University, Hangzhou, 310027, China
- Xu, Gao., Chen., Liang. (2016). Experimental Study of Regeneration Performance of Aqueous N, N-Diethanolamine Solution in a Column Packed with Dixon Ring Random Packing. College of Chemistry and Chemical Engineering, Hunan University, Changsha 410082, PR China
- Xu, Guo-Wen, Zhang, Cheng-Fang, Qin, Shu-Jun, Wang, Yi-Wei. (1992). "Kinetic Study on Absorption of Carbon Dioxide into Solution of Activated Methyl-diethanolamine". *Ind. Eng. Chem. Res.* 31, 921-927.
- Xu, Zhang., Qin, Zhu. (1995). "Desorption of CO<sub>2</sub> from MDEA and Activated MDEA Solutions". Research Institute of Inorganic Chemical Technology, East China University of Science and Technology.
- Xu, Zhang., Yanhua, Yang., Chengfang, Zhang., Jun, Wang. (2003). "Absorption Rate of CO<sub>2</sub> into MDEA Aqueous Solution Blended with Piperazine and Diethanolamine". *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 11 (4) 408-413.
- Yildirim, O., Kiss A.A., Huser, N., Lessman, K., Kenig, E.Y. (2012). Reactive absorption in chemical process industry: a review on current activities. *Chemical Engineering Journal*, 1(213), 371-391.

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

## DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
$BM$	Berat Molekul	gram/mol
$V_{\text{gas}}$	Volume larutan NaCl	mL
$V_{\text{HCl}}$	Volume larutan HCl	mL
$P$	Tekanan Atmosferik	Pa
$T$	Suhu ruangan	K
$C_1$	Konsentrasi Pelarut	mol/L
$V_1$	Volume sampel pelarut	mL
$a$	CO <sub>2</sub> loading	mol CO <sub>2</sub> /mol pelarut
$\eta$	Efisiensi <i>stripper</i>	%
$k$	Konstanta laju reaksi	m <sup>3</sup> /kmol.det



(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

## APPENDIKS A DATA HASIL PENELITIAN

### I. Data Hasil Analisa Titrasi *Chittick* untuk Suhu Umpan (30, 45, 60) °C dengan Suhu Reboiler 80 °C pada Promotor *Glycine*, DEA dan PZ.

#### a. *Glycine*

MDEA + Glycine I						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl</sub> rata - rata	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas</sub> rata - rata
30	1	MO	3.1	3.100	7.4	7.400
	2	MO	3		7.3	
	3	MO	3.2		7.5	
45	1	MO	3	3.067	7.3	7.333
	2	MO	3		7.3	
	3	MO	3.2		7.4	
60	1	MO	3	3.033	7.2	7.233
	2	MO	3.1		7.3	
	3	MO	3		7.2	
MDEA + Glycine II						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl</sub> rata - rata	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas</sub> rata - rata
30	1	MO	3.1	3.100	7.4	7.367
	2	MO	3.2		7.4	
	3	MO	3		7.3	
45	1	MO	3.2	3.167	7.4	7.333
	2	MO	3.2		7.3	
	3	MO	3.1		7.3	

60	1	MO	3.1	3.133	7.2	7.200
	2	MO	3.1		7.2	
	3	MO	3.2		7.2	
MDEA + Glycine III						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl</sub> rata - rata	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas</sub> rata - rata
30	1	MO	3.2	3.167	7.4	7.400
	2	MO	3.1		7.4	
	3	MO	3.2		7.4	
45	1	MO	3.1	3.167	7.3	7.333
	2	MO	3.2		7.3	
	3	MO	3.2		7.4	
60	1	MO	3.2	3.133	7.3	7.233
	2	MO	3.1		7.2	
	3	MO	3.1		7.2	

b. DEA

MDEA + DEA I						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl</sub> rata - rata	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas</sub> rata - rata
30	1	MO	4.2	4.167	10.2	10.467
	2	MO	4.2		11	
	3	MO	4.1		10.2	
45	1	MO	4.1	4.100	10.2	10.133
	2	MO	4.1		10.2	
	3	MO	4.1		10	
60	1	MO	4.1	4.100	10	10.000

	2	MO	4.2		9.7	
	3	MO	4		10.3	
<b>MDEA + DEA II</b>						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl</sub> rata - rata	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas</sub> rata - rata
30	1	MO	4.2	4.233	11.4	11.433
	2	MO	4.3		11.5	
	3	MO	4.2		11.4	
45	1	MO	4.1	4.133	11.2	11.200
	2	MO	4.2		11	
	3	MO	4.1		11.4	
60	1	MO	4.1	4.067	11.2	11.133
	2	MO	4		11	
	3	MO	4.1		11.2	
<b>MDEA + DEA III</b>						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl</sub> rata - rata	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas</sub> rata - rata
30	1	MO	4.3	4.267	11.4	11.433
	2	MO	4.2		11.4	
	3	MO	4.3		11.5	
45	1	MO	4.2	4.133	11.3	11.250
	2	MO	4.1		11.2	
	3	MO	4.1		11.3	
60	1	MO	4	4.033	11.1	11.133
	2	MO	4		11.1	
	3	MO	4.1		11.2	

c. PZ

MDEA + PZ I						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl rata - rata</sub>	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas rata - rata</sub>
30	1	MO	3.2	3.133	8.2	8.100
	2	MO	3.1		8	
	3	MO	3.1		8.1	
45	1	MO	3.1	3.100	7.9	8.000
	2	MO	3.1		8	
	3	MO	3.1		8.1	
60	1	MO	3.2	3.167	7.9	7.867
	2	MO	3.2		7.9	
	3	MO	3.1		7.8	
MDEA + PZ II						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl rata - rata</sub>	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas rata - rata</sub>
30	1	MO	3.2	3.167	8.2	8.167
	2	MO	3.2		8.2	
	3	MO	3.1		8.1	
45	1	MO	3.1	3.133	7.9	7.933
	2	MO	3.2		7.9	
	3	MO	3.1		8	
60	1	MO	3.2	3.133	8	7.933
	2	MO	3.1		7.9	
	3	MO	3.1		7.9	
MDEA + PZ III						

Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl rata - rata</sub>	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas rata - rata</sub>
30	1	MO	3.2	3.133	8.2	8.100
	2	MO	3.1		8.1	
	3	MO	3.1		8	
45	1	MO	3.2	3.167	7.9	7.967
	2	MO	3.2		8	
	3	MO	3.1		8	
60	1	MO	3.3	3.200	7.9	7.933
	2	MO	3.1		8	
	3	MO	3.2		7.9	

**II. Data Hasil Analisa Titrasi *Chittick* untuk Suhu Umpan (30, 45, 60) °C dengan Suhu Reboiler 100 °C pada Promotor *Glycine*, DEA dan PZ.**

*a. Glycine*

MDEA + Glycine I						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl rata - rata</sub>	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas rata - rata</sub>
30	1	MO	2.9	2.967	4	4.033
	2	MO	3		4	
	3	MO	3		4.1	
45	1	MO	3	3.033	3.4	3.467
	2	MO	3		3.5	
	3	MO	3.1		3.5	
60	1	MO	3.1	3.033	3.4	3.367
	2	MO	3		3.4	

	3	MO	3		3.3	
MDEA + Glycine II						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl rata - rata</sub>	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas rata - rata</sub>
30	1	MO	3.1	3.200	4.3	4.400
	2	MO	3.3		4.6	
	3	MO	3.2		4.3	
45	1	MO	3.1	3.167	4	4.100
	2	MO	3.2		4.1	
	3	MO	3.2		4.2	
60	1	MO	3.1	3.167	3.8	3.900
	2	MO	3.1		3.8	
	3	MO	3.3		4.1	
MDEA + Glycine III						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl rata - rata</sub>	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas rata - rata</sub>
30	1	MO	3	3.100	4.2	4.300
	2	MO	3.1		4.2	
	3	MO	3.2		4.5	
45	1	MO	3.1	3.200	4	4.167
	2	MO	3.2		4.2	
	3	MO	3.3		4.3	
60	1	MO	3.2	3.200	4	3.967
	2	MO	3.1		3.9	
	3	MO	3.3		4	

b. DEA

MDEA + DEA I						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl</sub> rata - rata	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas</sub> rata - rata
30	1	MO	3.8	3.867	5.6	5.600
	2	MO	3.9		5.4	
	3	MO	3.9		5.8	
45	1	MO	4	4.000	5	5.100
	2	MO	4		5.3	
	3	MO	4		5	
60	1	MO	4	3.933	4.8	4.733
	2	MO	3.9		4.8	
	3	MO	3.9		4.6	
MDEA + DEA II						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl</sub> rata - rata	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas</sub> rata - rata
30	1	MO	3.7	3.767	5.7	5.700
	2	MO	3.8		5.6	
	3	MO	3.8		5.8	
45	1	MO	3.8	3.900	5	5.067
	2	MO	4		5.2	
	3	MO	3.9		5	
60	1	MO	3.9	3.867	4.6	4.700
	2	MO	3.8		4.7	
	3	MO	3.9		4.8	
MDEA + DEA III						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl</sub> rata - rata	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas</sub> rata - rata



30	1	MO	3.8	3.833	5.6	5.700
	2	MO	3.9		5.8	
	3	MO	3.8		5.7	
45	1	MO	3.9	3.933	5.2	5.233
	2	MO	4		5.3	
	3	MO	3.9		5.2	
60	1	MO	4	3.933	5	4.900
	2	MO	3.8		4.7	
	3	MO	4		5	

c. PZ

MDEA + PZ I						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl</sub> rata - rata	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas</sub> rata - rata
30	1	MO	3.2	3.133	4.5	4.400
	2	MO	3.1		4.4	
	3	MO	3.1		4.3	
45	1	MO	3	3.067	4	4.067
	2	MO	3.1		4.1	
	3	MO	3.1		4.1	
60	1	MO	3.2	3.133	3.9	3.833
	2	MO	3.1		3.8	
	3	MO	3.1		3.8	
MDEA + PZ II						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl</sub> rata - rata	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas</sub> rata - rata

30	1	MO	3	3.067	4.4	4.367
	2	MO	3.1		4.4	
	3	MO	3.1		4.3	
45	1	MO	3.2	3.167	4	4.067
	2	MO	3.1		4.1	
	3	MO	3.2		4.1	
60	1	MO	3.1	3.167	3.7	3.767
	2	MO	3.2		3.8	
	3	MO	3.2		3.8	
MDEA + PZ III						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl</sub> rata - rata	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas</sub> rata - rata
30	1	MO	3.1	3.100	4.4	4.367
	2	MO	3.1		4.3	
	3	MO	3.1		4.4	
45	1	MO	3.1	3.133	4.1	4.067
	2	MO	3.2		4	
	3	MO	3.1		4.1	
60	1	MO	3.3	3.167	3.8	3.767
	2	MO	3.1		3.7	
	3	MO	3.1		3.8	

**III. Data Hasil Analisa Titrasi *Chittick* untuk Suhu Umpan (30, 45, 60) °C dengan Suhu Reboiler 108 °C pada Promotor *Glycine*, DEA dan PZ.**

*a. Glycine*

MDEA + Glycine I						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl rata - rata</sub>	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas rata - rata</sub>
30	1	MO	3.1	3.133	4.2	4.233
	2	MO	3.1		4.3	
	3	MO	3.2		4.2	
45	1	MO	3.1	3.100	3.9	3.867
	2	MO	3.1		3.8	
	3	MO	3.1		3.9	
60	1	MO	3.1	3.067	3.7	3.700
	2	MO	3		3.7	
	3	MO	3.1		3.7	
MDEA + Glycine II						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl rata - rata</sub>	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas rata - rata</sub>
30	1	MO	3.2	3.167	4.2	4.267
	2	MO	3.1		4.3	
	3	MO	3.2		4.3	
45	1	MO	3.2	3.167	4	3.933
	2	MO	3.2		3.9	
	3	MO	3.1		3.9	
60	1	MO	3.1	3.067	3.7	3.667
	2	MO	3		3.7	
	3	MO	3.1		3.6	

MDEA + Glycine III						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl rata - rata</sub>	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas rata - rata</sub>
30	1	MO	3	3.100	4.2	4.233
	2	MO	3.1		4.3	
	3	MO	3.2		4.2	
45	1	MO	3.1	3.200	3.9	3.933
	2	MO	3.2		4	
	3	MO	3.3		3.9	
60	1	MO	3.2	3.133	3.8	3.700
	2	MO	3.1		3.7	
	3	MO	3.1		3.6	

ˆb. DEA

MDEA + DEA I						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl rata - rata</sub>	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas rata - rata</sub>
30	1	MO	4	3.933	5.6	5.667
	2	MO	3.9		5.7	
	3	MO	3.9		5.7	
45	1	MO	3.8	3.900	5.2	5.133
	2	MO	3.9		5.1	
	3	MO	4		5.1	
60	1	MO	4	3.967	4.7	4.767
	2	MO	3.9		4.8	
	3	MO	4		4.8	

MDEA + DEA II						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl rata - rata</sub>	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas rata - rata</sub>
30	1	MO	3.7	3.767	5.7	5.600
	2	MO	3.8		5.5	
	3	MO	3.8		5.6	
45	1	MO	3.8	3.900	5.1	5.067
	2	MO	4		5.1	
	3	MO	3.9		5	
60	1	MO	3.9	3.867	4.9	4.800
	2	MO	3.8		4.7	
	3	MO	3.9		4.8	
MDEA + DEA III						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl rata - rata</sub>	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas rata - rata</sub>
30	1	MO	3.8	3.833	5.6	5.567
	2	MO	3.9		5.5	
	3	MO	3.8		5.6	
45	1	MO	3.9	3.933	5.2	5.167
	2	MO	4		5.1	
	3	MO	3.9		5.2	
60	1	MO	4	3.933	4.9	4.833
	2	MO	3.8		4.7	
	3	MO	4		4.9	

c. PZ

MDEA + PZ I						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl rata - rata</sub>	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas rata - rata</sub>
30	1	MO	3.2	3.167	4.4	4.367
	2	MO	3.1		4.4	
	3	MO	3.2		4.3	
45	1	MO	3.2	3.167	4	4.033
	2	MO	3.1		4.1	
	3	MO	3.2		4	
60	1	MO	3.1	3.100	3.9	3.800
	2	MO	3.1		3.8	
	3	MO	3.1		3.7	
MDEA + PZ II						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl rata - rata</sub>	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas rata - rata</sub>
30	1	MO	3.1	3.067	4.4	4.433
	2	MO	3		4.5	
	3	MO	3.1		4.4	
45	1	MO	3	3.067	4.1	4.067
	2	MO	3.1		4	
	3	MO	3.1		4.1	
60	1	MO	3.2	3.167	3.7	3.733
	2	MO	3.1		3.8	
	3	MO	3.2		3.7	

MDEA + PZ III						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>HCl</sub>	V <sub>HCl rata - rata</sub>	V <sub>Gas</sub>	V <sub>Gas rata - rata</sub>
30	1	MO	3.1	3.133	4.4	4.400
	2	MO	3.1		4.4	
	3	MO	3.2		4.4	
45	1	MO	3.2	3.167	4.1	4.067
	2	MO	3.1		4	
	3	MO	3.2		4.1	
60	1	MO	3.2	3.133	3.8	3.733
	2	MO	3.1		3.7	
	3	MO	3.1		3.7	

**IV. Data Hasil Analisa Titrasi BaCl<sub>2</sub> untuk Suhu Umpan (30, 45, 60) °C dengan Suhu Reboiler 80 °C pada Promotor *Glycine*, DEA dan PZ.**

*a. Glycine*

MDEA + Glycine I				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>
30	1	MO	31	31.033
	2	MO	31.1	
	3	MO	31	
45	1	MO	31.2	31.200
	2	MO	31.2	
	3	MO	31.2	
60	1	MO	31.5	31.467

	2	MO	31.4	
	3	MO	31.5	
<b>MDEA + Glycine II</b>				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH</sub> rata - rata
30	1	MO	31.1	31.100
	2	MO	31.1	
	3	MO	31.1	
45	1	MO	31.3	31.367
	2	MO	31.4	
	3	MO	31.4	
60	1	MO	31.5	31.500
	2	MO	31.4	
	3	MO	31.6	
<b>MDEA + Glycine III</b>				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH</sub> rata - rata
30	1	MO	31.2	31.167
	2	MO	31.2	
	3	MO	31.1	
45	1	MO	31.4	31.400
	2	MO	31.4	
	3	MO	31.4	
60	1	MO	31.5	31.533
	2	MO	31.5	
	3	MO	31.6	



b. DEA

MDEA + DEA I				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH</sub> rata - rata
30	1	MO	29.3	29.300
	2	MO	29.4	
	3	MO	29.2	
45	1	MO	29.8	29.767
	2	MO	29.7	
	3	MO	29.8	
60	1	MO	30.2	30.133
	2	MO	30.2	
	3	MO	30	
MDEA + DEA II				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH</sub> rata - rata
30	1	MO	28.6	28.567
	2	MO	28.6	
	3	MO	28.5	
45	1	MO	28.9	28.967
	2	MO	29	
	3	MO	29	
60	1	MO	29.2	29.167
	2	MO	29.2	
	3	MO	29.1	

MDEA + DEA III				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>
30	1	MO	28.6	28.600
	2	MO	28.7	
	3	MO	28.5	
45	1	MO	28.8	28.833
	2	MO	28.8	
	3	MO	28.9	
60	1	MO	29.2	29.200
	2	MO	29.1	
	3	MO	29.3	

c. PZ

MDEA + PZ I				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>
30	1	MO	30.4	30.367
	2	MO	30.4	
	3	MO	30.3	
45	1	MO	30.6	30.633
	2	MO	30.6	
	3	MO	30.7	
60	1	MO	30.9	30.933
	2	MO	31	
	3	MO	30.9	

MDEA + PZ II				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>
30	1	MO	30.4	30.300
	2	MO	30.3	
	3	MO	30.2	
45	1	MO	30.7	30.667
	2	MO	30.7	
	3	MO	30.6	
60	1	MO	30.9	30.867
	2	MO	30.9	
	3	MO	30.8	
MDEA + PZ III				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>
30	1	MO	30.4	30.333
	2	MO	30.3	
	3	MO	30.3	
45	1	MO	30.6	30.567
	2	MO	30.5	
	3	MO	30.6	
60	1	MO	30.8	30.800
	2	MO	30.8	
	3	MO	30.8	

**V. Data Hasil Analisa Titrasi BaCl<sub>2</sub> untuk Suhu Umpan (30, 45, 60) °C dengan Suhu Reboiler 100 °C pada Promotor Glycine, DEA dan PZ.**

**a. Glycine**

MDEA + Glycine I				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>
30	1	MO	33.8	33.733
	2	MO	33.7	
	3	MO	33.7	
45	1	MO	34.3	34.333
	2	MO	34.4	
	3	MO	34.3	
60	1	MO	34.5	34.467
	2	MO	34.5	
	3	MO	34.4	
MDEA + Glycine II				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>
30	1	MO	33.7	33.667
	2	MO	33.7	
	3	MO	33.6	
45	1	MO	33.9	33.833
	2	MO	33.8	
	3	MO	33.8	

60	1	MO	34.2	34.167
	2	MO	34.2	
	3	MO	34.1	
MDEA + Glycine III				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>
30	1	MO	33.6	33.667
	2	MO	33.7	
	3	MO	33.7	
45	1	MO	33.9	33.867
	2	MO	33.8	
	3	MO	33.9	
60	1	MO	34.2	34.133
	2	MO	34.1	
	3	MO	34.1	

b. DEA

MDEA + DEA I				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>
30	1	MO	33.2	33.067
	2	MO	33	
	3	MO	33	
45	1	MO	33.7	33.733
	2	MO	33.8	
	3	MO	33.7	
60	1	MO	34	34.067
	2	MO	34.1	
	3	MO	34.1	
MDEA + DEA II				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>
30	1	MO	32.9	32.867
	2	MO	32.9	
	3	MO	32.8	
45	1	MO	33.7	33.667
	2	MO	33.7	
	3	MO	33.6	
60	1	MO	34.1	34.033
	2	MO	34	
	3	MO	34	

MDEA + DEA III				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>
30	1	MO	33	32.933
	2	MO	32.9	
	3	MO	32.9	
45	1	MO	33.5	33.600
	2	MO	33.6	
	3	MO	33.7	
60	1	MO	33.9	33.967
	2	MO	34	
	3	MO	34	

c. PZ

MDEA + PZ I				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>
30	1	MO	33.3	33.350
	2	MO	33,3	
	3	MO	33.4	
45	1	MO	33.8	33.733
	2	MO	33.7	
	3	MO	33.7	
60	1	MO	34.2	34.233
	2	MO	34.2	
	3	MO	34.3	

MDEA + PZ II				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH</sub> rata - rata
30	1	MO	33.4	33.433
	2	MO	33.4	
	3	MO	33.5	
45	1	MO	33.9	33.800
	2	MO	33.8	
	3	MO	33.7	
60	1	MO	34.4	34.267
	2	MO	34.2	
	3	MO	34.2	
MDEA + PZ III				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH</sub> rata - rata
30	1	MO	33.4	33.433
	2	MO	33.5	
	3	MO	33.4	
45	1	MO	33.9	33.833
	2	MO	33.7	
	3	MO	33.9	
60	1	MO	34.2	34.233
	2	MO	34.3	
	3	MO	34.2	



**VI. Data Hasil Analisa Titrasi BaCl<sub>2</sub> untuk Suhu Umpan (30, 45, 60) °C dengan Suhu Reboiler 108 °C pada Promotor Glycine, DEA dan PZ.**

*a. Glycine*

MDEA + Glycine I				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>
30	1	MO	33.9	33.867
	2	MO	33.9	
	3	MO	33.8	
45	1	MO	34.2	34.133
	2	MO	34.1	
	3	MO	34.1	
60	1	MO	34.2	34.267
	2	MO	34.3	
	3	MO	34.3	
MDEA + Glycine II				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>
30	1	MO	33.8	33.833
	2	MO	33.8	
	3	MO	33.9	
45	1	MO	34.1	34.133
	2	MO	34.1	
	3	MO	34.2	
60	1	MO	34.3	34.233
	2	MO	34.2	
	3	MO	34.2	

MDEA + Glycine III				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>
30	1	MO	33.8	33.733
	2	MO	33.7	
	3	MO	33.7	
45	1	MO	34.1	34.100
	2	MO	34.1	
	3	MO	34.1	
60	1	MO	34.4	34.300
	2	MO	34.3	
	3	MO	34.2	

b. DEA

MDEA + DEA I				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>
30	1	MO	33	33.033
	2	MO	33	
	3	MO	33.1	
45	1	MO	33.5	33.500
	2	MO	33.6	
	3	MO	33.4	
60	1	MO	34	33.967
	2	MO	33.8	
	3	MO	34.1	

MDEA + DEA II				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>
30	1	MO	32.9	32.967
	2	MO	33	
	3	MO	33	
45	1	MO	33.8	33.667
	2	MO	33.6	
	3	MO	33.6	
60	1	MO	34	33.967
	2	MO	34	
	3	MO	33.9	
MDEA + DEA III				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>
30	1	MO	33	33.000
	2	MO	33	
	3	MO	33	
45	1	MO	33.6	33.567
	2	MO	33.7	
	3	MO	33.4	
60	1	MO	33.9	33.933
	2	MO	34	
	3	MO	33.9	

c. PZ

MDEA + PZ I				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH</sub> rata - rata
30	1	MO	33.7	33.733
	2	MO	33.7	
	3	MO	33.8	
45	1	MO	34	34.000
	2	MO	33.9	
	3	MO	34.1	
60	1	MO	34.2	34.267
	2	MO	34.3	
	3	MO	34.3	
MDEA + PZ II				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH</sub> rata - rata
30	1	MO	33.6	33.567
	2	MO	33.5	
	3	MO	33.6	
45	1	MO	33.9	33.933
	2	MO	33.9	
	3	MO	34	
60	1	MO	34.2	34.233
	2	MO	34.2	
	3	MO	34.3	

MDEA + PZ III				
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>
30	1	MO	33.7	33.600
	2	MO	33.5	
	3	MO	33.6	
45	1	MO	34	33.967
	2	MO	34	
	3	MO	33.9	
60	1	MO	34.2	34.200
	2	MO	34.2	
	3	MO	34.2	

## APPENDIKS B PERHITUNGAN

### I. Perhitungan Analisa Titrasi *Chittick*, menghitung CO<sub>2</sub> loading dan efisiensi *Stripper* untuk *Glycine* pada suhu umpan 30 °C dan Suhu *reboiler* 80 °C.

#### a. Perhitungan CO<sub>2</sub> sisa pada *lean solvent*

Diketahui	$P$ : 101325 Pa
	$T$ : 303 K
	$C_1$ : 1.87 mol/L
	$V_1$ : 15 mL
	$V_{\text{gas}}$ : 7.4 mL
	$V_{\text{HCl}}$ : 3.1 mL

$$\alpha = \frac{\text{mol}(\text{CO}_2)}{\text{mol}(\text{pelarut})} = \left[ \frac{(V_{\text{gas}} - V_{\text{HCl}})(P)(273K)}{(101325Pa)(T)(22,4L/mol)} \right]$$

$$\alpha = \frac{\text{mol}(CO_2)}{\text{mol}(\text{pelarut})} = \left[ \frac{(7.4 - 3.1)(101325)(273)}{(101325)(303)(22,4)} \right]$$

$$\alpha = \frac{\text{mol}(CO_2)}{\text{mol}(\text{pelarut})} = 0.00617$$

b. Perhitungan efisiensi *stripper* ( $\eta$ )

Diketahui  $CO_2$  loading (rich solvent) : 0.0101

$$\eta = \frac{(\text{CO}_2 \text{ Removal})}{(\text{CO}_2 \text{ loading})} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{(\text{CO}_2 \text{ loading} - \text{CO}_2 \text{ sisa})}{(\text{CO}_2 \text{ loading})} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{(0.0101 - 0.00617)}{(0.0101)} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{(0.0101 - 0.00617)}{(0.0101)} \times 100\% \longrightarrow \eta = 38.86\%$$

**II. Analog Hasil Perhitungan CO<sub>2</sub> loading dan efisiensi *Stripper* dari Analisa Titrasi *Chittick* untuk Suhu Umpan (30, 45, 60) °C dengan Suhu Reboiler 80 °C pada Promotor *Glycine*, DEA dan PZ.**

a. *Glycine*

Variabel		Pengolahan Data						
Pelarut	Suhu (oC)	CO2 dalam Rich		CO2 dalam Lean		CO <sub>2</sub> loading Rich	CO <sub>2</sub> loading Lean	η (%)
		m (gram)	V (mL)	m (gram)	V (mL)			
MDEA + <i>Glycine</i> I	30	0.01244761	6.28667033	0.00761015	3.84350935	0.0101	0.00617	38.86
	45			0.00719497	3.6338225		0.00583	42.20
	60			0.00676351	3.41591592		0.00548	45.66
MDEA + <i>Glycine</i> II	30	0.01244761	6.28667033	0.00755116	3.8137147	0.0101	0.00612	39.34
	45			0.00702634	3.54865479		0.00569	43.55
	60			0.0065488	3.30747414		0.00531	47.39
MDEA + <i>Glycine</i> III	30	0.01244761	6.28667033	0.00749216	3.78392006	0.0101	0.00607	39.81
	45			0.00702634	3.54865479		0.00569	43.55
	60			0.00660248	3.33458458		0.00535	46.96



Rata - rata dari setiap pengambilan sampel :

Variabel		Pengolahan Data						
Pelarut	Suhu (oC)	CO2 dalam Rich		CO2 dalam Lean		CO <sub>2</sub> loading Rich	CO <sub>2</sub> loading Lean	η (%)
		m (gram)	V (mL)	m (gram)	V (mL)			
MDEA + Glycine	30	0.01244761	6.28667033	0.00755116	3.8137147	0.0101	0.00612	39.34
	45			0.00708255	3.57704403		0.00574	43.10
	60			0.00663826	3.35265821		0.00538	46.67

b. DEA

Variabel		Pengolahan Data						
Pelarut	Suhu (oC)	CO2 dalam Rich		CO2 dalam Lean		CO <sub>2</sub> loading Rich	CO <sub>2</sub> loading Lean	η (%)
		m (gram)	V (mL)	m (gram)	V (mL)			
MDEA + DEA I	30	0.01799299	9.08736707	0.01297855	6.55482215	0.0127	0.01052	17.26
	45			0.0120853	6.10368623		0.00979	22.96
	60			0.01127252	5.69319319		0.00913	28.14
MDEA + DEA II	30	0.01799299	9.08736707	0.01274257	6.43564356	0.0127	0.01032	18.77
	45			0.01191667	6.01851852		0.00966	24.03
	60			0.01137988	5.74741408		0.00922	27.45

MDEA + DEA III	30	0.01799299	9.08736707	0.01268358	6.40584892	0.0127	0.01028	19.14
	45			0.01200098	6.06110238		0.00972	23.49
	60			0.01143356	5.77452452		0.00926	27.11

Rata - rata dari setiap pengambilan sampel :

Variabel		Pengolahan Data						
Pelarut	Suhu (oC)	CO2 dalam Rich		CO2 dalam Lean		CO <sub>2</sub> loading Rich	CO <sub>2</sub> loading Lean	$\eta$ (%)
		m (gram)	V (mL)	m (gram)	V (mL)			
MDEA + DEA	30	0.01799299	9.08736707	0.01280157	6.46543821	0.0127	0.01037	18.39
	45			0.01200098	6.06110238		0.00972	23.49
	60			0.01136199	5.73837727		0.00921	27.57

c. PZ

Variabel		Pengolahan Data						
Pelarut	Suhu (oC)	CO2 dalam Rich		CO2 dalam Lean		CO <sub>2</sub> loading Rich	CO <sub>2</sub> loading Lean	$\eta$ (%)
		m (gram)	V (mL)	m (gram)	V (mL)			
MDEA + PZ I	30	0.0160802	8.12131354	0.00928663	4.69021596	0.0130	0.00752	42.25
	45			0.00872981	4.40899306		0.00707	45.71

	60			0.0079963	4.03853712		0.00648	50.27
MDEA + PZ II	30	0.0160802	8.12131354	0.00934895	4.72169392	0.0130	0.00757	41.86
	45			0.00855165	4.31901361		0.00693	46.82
	60			0.00816644	4.12446345		0.00662	49.21
MDEA + PZ III	30	0.0160802	8.12131354	0.00928663	4.69021596	0.0130	0.00752	42.25
	45			0.00855165	4.31901361		0.00693	46.82
	60			0.00805301	4.06717923		0.00652	49.92

Rata - rata dari setiap pengambilan sampel :

Variabel		Pengolahan Data						
Pelarut	Suhu (oC)	CO2 dalam Rich		CO2 dalam Lean		CO <sub>2</sub> loading Rich	CO <sub>2</sub> loading Lean	$\eta$ (%)
		m (gram)	V (mL)	m (gram)	V (mL)			
MDEA + PZ	30	0.0160802	8.12131354	0.0093074	4.70070861	0.0130	0.00754	42.12
	45			0.00861103	4.34900676		0.00698	46.45
	60			0.00807192	4.0767266		0.00654	49.80

**III. Analog Hasil Perhitungan CO<sub>2</sub> loading dan efisiensi *Stripper* dari Analisa Titrasi *Chittick* untuk Suhu Umpan (30, 45, 60) °C dengan Suhu Reboiler 100 °C pada Promotor *Glycine*, *DEA* dan *PZ*.**

a. *Glycine*

Variabel		Pengolahan Data						
Pelarut	Suhu (oC)	CO2 dalam Rich		CO2 dalam Lean		CO <sub>2</sub> loading Rich	CO <sub>2</sub> loading Lean	η (%)
		m (gram)	V (mL)	m (gram)	V (mL)			
MDEA + <i>Glycine</i> I	30	0.01262459	6.37605427	0.00188779	0.95342868	0.0102	0.00153	85.05
	45			0.00073074	0.3690601		0.00059	94.21
	60			0.00053679	0.27110444		0.00043	95.75

Variabel		Pengolahan Data						
Pelarut	Suhu (oC)	CO2 dalam Rich		CO2 dalam Lean		CO <sub>2</sub> loading Rich	CO <sub>2</sub> loading Lean	η (%)
		m (gram)	V (mL)	m (gram)	V (mL)			
MDEA + <i>Glycine</i> II	30	0.01262459	6.37605427	0.00212376	1.07260726	0.0102	0.00172	83.18
	45			0.0015739	0.79489867		0.00128	87.53
	60			0.00118093	0.59642976		0.00096	90.65
MDEA	30	0.01262459	6.37605427	0.00212376	1.07260726	0.0102	0.00172	83.18

+ <i>Glycine</i> III	45			0.00163011	0.82328791		0.00132	87.09
	60			0.00123461	0.62354021		0.00100	90.22

Rata - rata dari setiap pengambilan sampel :

Variabel		Pengolahan Data						
Pelarut	Suhu (oC)	CO2 dalam Rich		CO2 dalam Lean		CO <sub>2</sub> loading Rich	CO <sub>2</sub> loading Lean	$\eta$ (%)
		m (gram)	V (mL)	m (gram)	V (mL)			
MDEA + <i>Glycin</i> <i>e</i>	30	0.01262	6.37605	0.00205	1.03288	0.0102	0.00166	83.80
	45			0.00131	0.66242		0.00106	89.61
	60			0.00098	0.49702		0.00080	92.20

b. DEA

Variabel		Pengolahan Data						
Pelarut	Suhu (oC)	CO2 dalam Rich		CO2 dalam Lean		CO <sub>2</sub> loading Rich	CO <sub>2</sub> loading Lean	$\eta$ (%)
		m (gram)	V (mL)	m (gram)	V (mL)			
MDEA + DEA I	30	0.01763903	8.90859919	0.00351878	1.77716301	0.0125	0.00249	80.05
	45			0.00212774	1.07461617		0.00150	87.94
	60			0.00147774	0.74633457		0.00104	91.62

MDEA + DEA II	30	0.01763903	8.90859919	0.0039248	1.98222028	0.0125	0.00277	77.75
	45			0.00225669	1.13974442		0.00159	87.21
	60			0.00153932	0.77743184		0.00109	91.27
MDEA + DEA III	30	0.01763903	8.90859919	0.00378946	1.91386786	0.0125	0.00268	78.52
	45			0.0025146	1.27000092		0.00178	85.74
	60			0.00178561	0.90182094		0.00126	89.88

Rata - rata dari setiap pengambilan sampel :

Variabel		Pengolahan Data						
Pelarut	Suhu (oC)	CO2 dalam Rich		CO2 dalam Lean		CO <sub>2</sub> loading Rich	CO <sub>2</sub> loading Lean	$\eta$ (%)
		m (gram)	V (mL)	m (gram)	V (mL)			
MDEA + DEA	30	0.01763903	8.90859919	0.00374435	1.89108372	0.0125	0.00264	78.77
	45			0.00229968	1.16145384		0.00162	86.96
	60			0.00160089	0.80852912		0.00113	90.92

c. PZ

Variabel		Pengolahan Data						
Pelarut	Suhu (oC)	CO2 dalam Rich		CO2 dalam Lean		CO <sub>2</sub> loading Rich	CO <sub>2</sub> loading Lean	$\eta$ (%)
		m (gram)	V (mL)	m (gram)	V (mL)			
MDEA + PZ I	30	0.015220	7.687018	0.0023684	1.1961624	0.0130	0.00192	85.27
	45			0.0017815	0.8997945		0.00144	88.92
	60			0.0011909	0.6014842		0.00096	92.59
MDEA + PZ II	30	0.015220	7.687018	0.0024307	1.2276404	0.0130	0.00197	84.88
	45			0.0016034	0.8098150		0.00130	90.03
	60			0.0010208	0.5155579		0.00083	93.65
MDEA + PZ III	30	0.015223	7.687018	0.0023684	1.1961624	0.0130	0.00192	85.27
	45			0.0016628	0.8398082		0.00135	89.66
	60			0.0010208	0.5155579		0.00083	93.65

Rata - rata dari setiap pengambilan sampel :

Variabel		Pengolahan Data						
Pelarut	Suhu (oC)	CO2 dalam Rich		CO2 dalam Lean		CO <sub>2</sub> loading Rich	CO <sub>2</sub> loading Lean	$\eta$ (%)
		m (gram)	V (mL)	m (gram)	V (mL)			
MDEA + PZ	30	0.0152203	7.6870187	0.00238918	1.20665511	0.0130	0.00194	85.14
	45			0.00168262	0.84980592		0.00136	89.54
	60			0.00107752	0.54420004		0.00087	93.30

**IV. Analog Hasil Perhitungan CO<sub>2</sub> loading dan efisiensi *Stripper* dari Analisa Titrasi *Chittick* untuk Suhu Umpan (30, 45, 60) °C dengan Suhu Reboiler 108 °C pada Promotor *Glycine*, *DEA* dan *PZ*.**

**a. *Glycine***

Variabel		Pengolahan Data						
Pelarut	Suhu (oC)	CO2 dalam Rich		CO2 dalam Lean		CO <sub>2</sub> loading Rich	CO <sub>2</sub> loading Lean	$\eta$ (%)
		m (gram)	V (mL)	m (gram)	V (mL)			
MDEA + <i>Glycine</i> e I	30	0.01244761	6.28667033	0.00194678	0.98322332	0.0101	0.00158	84.36
	45			0.00129285	0.65295248		0.00105	89.61
	60			0.00101989	0.51509843		0.00083	91.81
MDEA	30	0.01244761	6.28667033	0.00194678	0.98322332	0.0101	0.00158	84.36



+ <i>Glycine</i> II	45			0.00129285	0.65295248		0.00105	89.61
	60			0.00096622	0.48798799		0.00078	92.24
MDEA + <i>Glycine</i> III	30	0.01244761	6.28667033	0.00200578	1.01301797	0.0101	0.00163	83.89
	45			0.00123664	0.62456324		0.00100	90.07
	60			0.00091254	0.46087754		0.00074	92.67

Rata - rata dari setiap pengambilan sampel :

Variabel		Pengolahan Data						
Pelarut	Suhu (oC)	CO2 dalam Rich		CO2 dalam Lean		CO <sub>2</sub> loading Rich	CO <sub>2</sub> loading Lean	η (%)
		m (gram)	V (mL)	m (gram)	V (mL)			
MDEA + Glycine	30	0.01244761	6.28667033	0.00196645	0.99315487	0.0101	0.00159	84.20
	45			0.00127411	0.6434894		0.00103	89.76
	60			0.00096622	0.48798799		0.00078	92.24

b. DEA

Variabel		Pengolahan Data						
Pelarut	Suhu (oC)	CO2 dalam Rich		CO2 dalam Lean		CO <sub>2</sub> loading Rich	CO <sub>2</sub> loading Lean	$\eta$ (%)
		m (gram)	V (mL)	m (gram)	V (mL)			
MDEA + DEA I	30	0.01799299	9.08736707	0.00306766	1.5493216	0.0127	0.00249	80.44
	45			0.0020798	1.05040182		0.00169	86.74
	60			0.00128829	0.65065065		0.00104	91.79
MDEA + DEA II	30	0.01799299	9.08736707	0.00324464	1.63870554	0.0127	0.00263	79.32
	45			0.00196737	0.99362334		0.00159	87.46
	60			0.001503	0.75909243		0.00122	90.42
MDEA + DEA III	30	0.01799299	9.08736707	0.00306766	1.5493216	0.0127	0.00249	80.44
	45			0.0020798	1.05040182		0.00169	86.74
	60			0.00144932	0.73198198		0.00117	90.76

Rata - rata dari setiap pengambilan sampel :

Variabel		Pengolahan Data						
Pelarut	Suhu (oC)	CO2 dalam Rich		CO2 dalam Lean		CO <sub>2</sub> loading Rich	CO <sub>2</sub> loading Lean	$\eta$ (%)
		m (gram)	V (mL)	m (gram)	V (mL)			
MDEA + DEA	30	0.01799299	9.08736707	0.00312665	1.57911624	0.0127	0.00253	80.07
	45			0.00204232	1.03147566		0.00165	86.98
	60			0.00141354	0.71390835		0.00115	90.99

c. PZ

Variabel		Pengolahan Data						
Pelarut	Suhu (oC)	CO2 dalam Rich		CO2 dalam Lean		CO <sub>2</sub> loading Rich	CO <sub>2</sub> loading Lean	$\eta$ (%)
		m (gram)	V (mL)	m (gram)	V (mL)			
MDEA + PZ I	30	0.0160802	8.12131354	0.00224375	1.13320654	0.0130	0.00182	86.05
	45			0.00154405	0.7798219		0.00125	90.40
	60			0.00119094	0.60148425		0.00096	92.59
MDEA + PZ II	30	0.0160802	8.12131354	0.00255538	1.29059634	0.0130	0.00207	84.11
	45			0.00178159	0.8997945		0.00144	88.92
	60			0.00096409	0.48691582		0.00078	94.00

Variabel		Pengolahan Data						
Pelarut	Suhu (oC)	CO2 dalam Rich		CO2 dalam Lean		CO <sub>2</sub> loading Rich	CO <sub>2</sub> loading Lean	η (%)
		m (gram)	V (mL)	m (gram)	V (mL)			
MDEA + PZ III	30	0.0160802	8.12131354	0.0023684	1.19616246	0.0130	0.00192	85.27
	45			0.00160343	0.80981505		0.00130	90.03
	60			0.0010208	0.51555793		0.00083	94.00

Rata - rata dari setiap pengambilan sampel :

Variabel		Pengolahan Data						
Pelarut	Suhu (oC)	CO2 dalam Rich		CO2 dalam Lean		CO <sub>2</sub> loading Rich	CO <sub>2</sub> loading Lean	η (%)
		m (gram)	V (mL)	m (gram)	V (mL)			
MDEA + Glycine I	30	0.0160802	8.12131354	0.00238918	1.20665511	0.0130	0.00194	85.14
	45			0.00164302	0.82981049		0.00133	89.78
	60			0.00105861	0.53465267		0.00086	93.42

**V. Perhitungan Analisa Titrasi BaCl<sub>2</sub>, menghitung konsentrasi CO<sub>2</sub> dan mol CO<sub>2</sub> untuk Glycine pada suhu umpan 30 °C dan Suhu reboiler 80 °C.**

a. Perhitungan konsentrasi CO<sub>2</sub> pada *lean solvent*

Diketahui

$V_{HCl}$	: 40 mL
$V_t$	: 31.033 mL
$\Delta V_b$	: $(V_{HCl} - V_b)$ mL
$V_b$	: 34.7 mL
$V_s$	: 5 mL
$C_{NaOH}$	: 0.094 mol/L

$$C_{CO_2} = \frac{(V_{HCl} - V_t - \Delta V_b)}{2V_s} \times C_{CO_2}$$

$$C_{CO_2} = \frac{(40 - 31.033 - (40 - 34.7))}{2(5)} \times 0.094$$

$$C_{CO_2} = 0.009087 \text{ mol/L}$$

b. Perhitungan mol CO<sub>2</sub> pada konsentrasi diatas

$$\text{mol } CO_2 = C_{CO_2} \times V_s$$

$$\text{mol } CO_2 = 0.034466667 \times 0.005$$

$$\text{mol } CO_2 = 0.000172 \text{ mol}$$

**VI. Analog Hasil Perhitungan konsentrasi CO<sub>2</sub> dan mol CO<sub>2</sub> dari Analisa Titrasi BaCl<sub>2</sub> untuk Suhu Umpan (30, 45, 60) °C dengan Suhu Reboiler 80 °C pada Promotor *Glycine*, DEA dan PZ.**

a. *Glycine*

MDEA + <i>Glycine</i> I						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	31	31.033	0.034466667	0.000172
	2	MO	31.1			
	3	MO	31			
45	1	MO	31.2	31.200	0.0329	0.000165
	2	MO	31.2			
	3	MO	31.2			
60	1	MO	31.5	31.467	0.030393333	0.000152
	2	MO	31.4			
	3	MO	31.5			

MDEA + <i>Glycine</i> II						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	31.1	31.100	0.03384	0.000169
	2	MO	31.1			
	3	MO	31.1			
45	1	MO	31.3	31.367	0.031333333	0.000157
	2	MO	31.4			
	3	MO	31.4			
60	1	MO	31.5	31.500	0.03008	0.000150
	2	MO	31.4			
	3	MO	31.6			
MDEA + <i>Glycine</i> III						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	31.2	31.167	0.033213333	0.000166
	2	MO	31.2			
	3	MO	31.1			

45	1	MO	31.4	31.400	0.03102	0.000155
	2	MO	31.4			
	3	MO	31.4			
60	1	MO	31.5	31.533	0.029766667	0.000149
	2	MO	31.5			
	3	MO	31.6			

b. DEA

MDEA + DEA I						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	29.3	29.300	0.05076	0.000254
	2	MO	29.4			
	3	MO	29.2			
45	1	MO	29.8	29.767	0.046373333	0.000232
	2	MO	29.7			
	3	MO	29.8			



60	1	MO	30.2	30.133	0.042926667	0.000215
	2	MO	30.2			
	3	MO	30			
MDEA + DEA II						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	28.6	28.567	0.057653333	0.000288
	2	MO	28.6			
	3	MO	28.5			
45	1	MO	28.9	28.967	0.053893333	0.000269
	2	MO	29			
	3	MO	29			
60	1	MO	29.2	29.167	0.052013333	0.000260
	2	MO	29.2			
	3	MO	29.1			

MDEA + DEA III						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	28.6	28.600	0.05734	0.000287
	2	MO	28.7			
	3	MO	28.5			
45	1	MO	28.8	28.833	0.055146667	0.000276
	2	MO	28.8			
	3	MO	28.9			
60	1	MO	29.2	29.200	0.0517	0.000259
	2	MO	29.1			
	3	MO	29.3			

c. PZ

MDEA + PZ I						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	30.4	30.367	0.040733333	0.000204

	2	MO	30.4			
	3	MO	30.3			
45	1	MO	30.6	30.633	0.038226667	0.000191
	2	MO	30.6			
	3	MO	30.7			
60	1	MO	30.9	30.933	0.035406667	0.000177
	2	MO	31			
	3	MO	30.9			
MDEA + PZ II						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH</sub> rata - rata	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	30.4	30.300	0.04136	0.000207
	2	MO	30.3			
	3	MO	30.2			
45	1	MO	30.7	30.667	0.037913333	0.000190
	2	MO	30.7			
	3	MO	30.6			
60	1	MO	30.9	30.867	0.036033333	0.000180

	2	MO	30.9			
	3	MO	30.8			
MDEA + PZ III						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	30.4	30.333	0.041046667	0.000205
	2	MO	30.3			
	3	MO	30.3			
45	1	MO	30.6	30.567	0.038853333	0.000194
	2	MO	30.5			
	3	MO	30.6			
60	1	MO	30.8	30.800	0.03666	0.000183
	2	MO	30.8			
	3	MO	30.8			

**VII. Analog Hasil Perhitungan konsentrasi CO<sub>2</sub> dan mol CO<sub>2</sub> dari Analisa Titrasi BaCl<sub>2</sub> untuk Suhu Umpan (30, 45, 60) °C dengan Suhu Reboiler 100 °C pada Promotor *Glycine*, DEA dan PZ.**

a. *Glycine*

MDEA + <i>Glycine</i> I						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH</sub> rata - rata	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	33.8	33.733	0.009086667	0.000045
	2	MO	33.7			
	3	MO	33.7			
45	1	MO	34.3	34.333	0.003446667	0.000017
	2	MO	34.4			
	3	MO	34.3			
60	1	MO	34.5	34.467	0.002193333	0.000011
	2	MO	34.5			
	3	MO	34.4			

MDEA + <i>Glycine</i> II						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	33.7	33.667	0.009713333	0.000049
	2	MO	33.7			
	3	MO	33.6			
45	1	MO	33.9	33.833	0.008146667	0.000041
	2	MO	33.8			
	3	MO	33.8			
60	1	MO	34.2	34.167	0.005013333	0.000025
	2	MO	34.2			
	3	MO	34.1			
MDEA + <i>Glycine</i> III						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	33.6	33.667	0.009713333	0.000049
	2	MO	33.7			

	3	MO	33.7			
45	1	MO	33.9	33.867	0.007833333	0.000039
	2	MO	33.8			
	3	MO	33.9			
60	1	MO	34.2	34.133	0.005326667	0.000027
	2	MO	34.1			
	3	MO	34.1			

b. DEA

MDEA + DEA I						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH</sub> rata - rata	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	33.2	33.067	0.015353333	0.000077
	2	MO	33			
	3	MO	33			
45	1	MO	33.7	33.733	0.009086667	0.000045
	2	MO	33.8			
	3	MO	33.7			

60	1	MO	34	34.067	0.005953333	0.000030
	2	MO	34.1			
	3	MO	34.1			
MDEA + DEA II						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	32.9	32.867	0.017233333	0.000086
	2	MO	32.9			
	3	MO	32.8			
45	1	MO	33.7	33.667	0.009713333	0.000049
	2	MO	33.7			
	3	MO	33.6			
60	1	MO	34.1	34.033	0.006266667	0.000031
	2	MO	34			
	3	MO	34			



MDEA + DEA III						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	33	32.933	0.016606667	0.000083
	2	MO	32.9			
	3	MO	32.9			
45	1	MO	33.5	33.600	0.01034	0.000052
	2	MO	33.6			
	3	MO	33.7			
60	1	MO	33.9	33.967	0.006893333	0.000034
	2	MO	34			
	3	MO	34			

c. PZ

MDEA + PZ I						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	33.3	33.350	0.01269	0.000063

	2	MO	33,3			
	3	MO	33.4			
45	1	MO	33.8	33.733	0.009086667	0.000045
	2	MO	33.7			
	3	MO	33.7			
60	1	MO	34.2	34.233	0.004386667	0.000022
	2	MO	34.2			
	3	MO	34.3			
MDEA + PZ II						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	33.4	33.433	0.011906667	0.000060
	2	MO	33.4			
	3	MO	33.5			
45	1	MO	33.9	33.800	0.00846	0.000042
	2	MO	33.8			

	3	MO	33.7			
60	1	MO	34.4	34.267	0.004073333	0.000020
	2	MO	34.2			
	3	MO	34.2			
MDEA + PZ III						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	33.4	33.433	0.011906667	0.000060
	2	MO	33.5			
	3	MO	33.4			
45	1	MO	33.9	33.833	0.008146667	0.000041
	2	MO	33.7			
	3	MO	33.9			
60	1	MO	34.2	34.233	0.004386667	0.000022
	2	MO	34.3			
	3	MO	34.2			

**VIII. Analog Hasil Perhitungan konsentrasi CO<sub>2</sub> dan mol CO<sub>2</sub> dari Analisa Titrasi BaCl<sub>2</sub> untuk Suhu Umpan (30, 45, 60) °C dengan Suhu Reboiler 108 °C pada Promotor *Glycine*, DEA dan PZ.**

a. *Glycine*

MDEA + <i>Glycine</i> I						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	33.9	33.867	0.007833333	0.000039
	2	MO	33.9			
	3	MO	33.8			
45	1	MO	34.2	34.133	0.005326667	0.000027
	2	MO	34.1			
	3	MO	34.1			
60	1	MO	34.2	34.267	0.004073333	0.000020
	2	MO	34.3			
	3	MO	34.3			

MDEA + <i>Glycine</i> II						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	33.8	33.833	0.008146667	0.000041
	2	MO	33.8			
	3	MO	33.9			
45	1	MO	34.1	34.133	0.005326667	0.000027
	2	MO	34.1			
	3	MO	34.2			
60	1	MO	34.3	34.233	0.004386667	0.000022
	2	MO	34.2			
	3	MO	34.2			
MDEA + <i>Glycine</i> III						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	33.8	33.733	0.009086667	0.000045
	2	MO	33.7			
	3	MO	33.7			

45	1	MO	34.1	34.100	0.00564	0.000028
	2	MO	34.1			
	3	MO	34.1			
60	1	MO	34.4	34.300	0.00376	0.000019
	2	MO	34.3			
	3	MO	34.2			

b. DEA

MDEA + DEA I						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	33	33.033	0.015666667	0.000078
	2	MO	33			
	3	MO	33.1			
45	1	MO	33.5	33.500	0.01128	0.000056
	2	MO	33.6			
	3	MO	33.4			

60	1	MO	34	33.967	0.006893333	0.000034
	2	MO	33.8			
	3	MO	34.1			
MDEA + DEA II						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH</sub> rata - rata	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	32.9	32.967	0.016293333	0.000081
	2	MO	33			
	3	MO	33			
45	1	MO	33.8	33.667	0.009713333	0.000049
	2	MO	33.6			
	3	MO	33.6			
60	1	MO	34	33.967	0.006893333	0.000034
	2	MO	34			
	3	MO	33.9			

MDEA + DEA III						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	33	33.000	0.01598	0.000080
	2	MO	33			
	3	MO	33			
45	1	MO	33.6	33.567	0.010653333	0.000053
	2	MO	33.7			
	3	MO	33.4			
60	1	MO	33.9	33.933	0.007206667	0.000036
	2	MO	34			
	3	MO	33.9			

c. PZ

MDEA + PZ I						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>



30	1	MO	33.7	33.733	0.009086667	0.000045
	2	MO	33.7			
	3	MO	33.8			
45	1	MO	34	34.000	0.00658	0.000033
	2	MO	33.9			
	3	MO	34.1			
60	1	MO	34.2	34.267	0.004073333	0.000020
	2	MO	34.3			
	3	MO	34.3			
MDEA + PZ II						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	33.6	33.567	0.010653333	0.000053
	2	MO	33.5			
	3	MO	33.6			
45	1	MO	33.9	33.933	0.007206667	0.000036
	2	MO	33.9			
	3	MO	34			

60	1	MO	34.2	34.233	0.004386667	0.000022
	2	MO	34.2			
	3	MO	34.3			
MDEA + PZ III						
Variabel Temperatur (°C)	Sampel ke -	Indikator	V <sub>NaOH</sub>	V <sub>NaOH rata - rata</sub>	[CO <sub>2</sub> ]	mol CO <sub>2</sub>
30	1	MO	33.7	33.600	0.01034	0.000052
	2	MO	33.5			
	3	MO	33.6			
45	1	MO	34	33.967	0.006893333	0.000034
	2	MO	34			
	3	MO	33.9			
60	1	MO	34.2	34.200	0.0047	0.000024
	2	MO	34.2			
	3	MO	34.2			

**IX. Perhitungan Analisa Titrasi *Chittick*, menghitung mol CO<sub>2</sub> untuk *Glycine* pada suhu umpan 30 °C dan Suhu *reboiler* 80 °C.**

Diketahui  $C_1$  : 1.87 mol/L  
 $V_1$  : 0.015 L  
 $\alpha_{rata-rata}$  : 0.00612

$$\alpha = \frac{mol(CO_2)}{mol(pelarut)}$$

$$mol(CO_2) = mol(pelarut) \times \alpha_{rata-rata}$$

$$mol(CO_2) = C_1 \cdot V_1 \times \alpha_{rata-rata}$$

$$mol(CO_2) = (1.87 \times 0.015) \times 0.00612$$

$$mol(CO_2) = 0.00172 \text{ mol}$$

**X. Analog Perbandingan dan Hasil Perhitungan mol CO<sub>2</sub> dari Analisa Titrasi *Chittick* dan mol CO<sub>2</sub> dari Analisa BaCl<sub>2</sub>, untuk Suhu Umpan (30, 45, 60) °C dengan Suhu Reboiler 80 °C pada Promotor *Glycine*, DEA dan PZ.**

a. *Glycine*

Variabel		Metode Titrasi <i>Chittick</i>		Metode Titrasi BaCl <sub>2</sub>	
Pelarut	Suhu (°C)	massa CO <sub>2</sub> (gram)	mol CO <sub>2</sub>	konsentrasi CO <sub>2</sub> (mol/L)	mol CO <sub>2</sub>
MDEA	30	0.007551	0.000172	0.033840	0.000169

+ <i>Glycine</i>	45	0.007083	0.000161	0.031751	0.000159
	60	0.006638	0.000151	0.030080	0.000150

b. DEA

Variabel		Metode Titrasi <i>Chittick</i>		Metode Titrasi BaCl <sub>2</sub>	
Pelarut	Suhu (°C)	massa CO <sub>2</sub> (gram)	mol CO <sub>2</sub>	konsentrasi CO <sub>2</sub> (mol/L)	mol CO <sub>2</sub>
MDEA + DEA	30	0.012802	0.000291	0.055251	0.000276
	45	0.012001	0.000273	0.051804	0.000259
	60	0.011362	0.000258	0.048880	0.000244

c. PZ

Variabel		Metode Titrasi <i>Chittick</i>		Metode Titrasi BaCl <sub>2</sub>	
Pelarut	Suhu (°C)	massa CO <sub>2</sub> (gram)	mol CO <sub>2</sub>	konsentrasi CO <sub>2</sub> (mol/L)	mol CO <sub>2</sub>
MDEA + PZ	30	0.009307	0.000212	0.041047	0.000205
	45	0.008611	0.000196	0.038331	0.000192
	60	0.008072	0.000183	0.036033	0.000180

**XI. Analog Perbandingan dan Hasil Perhitungan mol CO<sub>2</sub> dari Analisa Titration *Chittick* dan mol CO<sub>2</sub> dari Analisa BaCl<sub>2</sub>, untuk Suhu Umpan (30, 45, 60) °C dengan Suhu Reboiler 100 °C pada Promotor *Glycine*, DEA dan PZ.**

a. *Glycine*

Variabel		Metode Titration <i>Chittick</i>		Metode Titration BaCl <sub>2</sub>	
Pelarut	Suhu (°C)	massa CO <sub>2</sub> (gram)	mol CO <sub>2</sub>	konsentrasi CO <sub>2</sub> (mol/L)	mol CO <sub>2</sub>
MDEA + <i>Glycine</i>	30	0.002045	0.000046	0.009504	0.000048
	45	0.001312	0.000030	0.006476	0.000032
	60	0.000984	0.000022	0.004178	0.000021

b. DEA

Variabel		Metode Titration <i>Chittick</i>		Metode Titration BaCl <sub>2</sub>	
Pelarut	Suhu (°C)	massa CO <sub>2</sub> (gram)	mol CO <sub>2</sub>	konsentrasi CO <sub>2</sub> (mol/L)	mol CO <sub>2</sub>
MDEA + DEA	30	0.003744	0.000085	0.016398	0.000082
	45	0.002300	0.000052	0.009713	0.000049
	60	0.001601	0.000036	0.006371	0.000032

c. PZ

Variabel		Metode Titrasi <i>Chittick</i>		Metode Titrasi BaCl <sub>2</sub>	
Pelarut	Suhu (°C)	massa CO <sub>2</sub> (gram)	mol CO <sub>2</sub>	konsentrasi CO <sub>2</sub> (mol/L)	mol CO <sub>2</sub>
MDEA + PZ	30	0.002389	0.000054	0.012168	0.000061
	45	0.001683	0.000038	0.008564	0.000043
	60	0.001078	0.000024	0.004282	0.000021

**XII. Analog Perbandingan dan Hasil Perhitungan mol CO<sub>2</sub> dari Analisa Titrasi *Chittick* dan mol CO<sub>2</sub> dari Analisa BaCl<sub>2</sub>, untuk Suhu Umpan (30, 45, 60) °C dengan Suhu Reboiler 108 °C pada Promotor *Glycine*, DEA dan PZ.**

a. *Glycine*

Variabel		Metode Titrasi <i>Chittick</i>		Metode Titrasi BaCl <sub>2</sub>	
Pelarut	Suhu (°C)	massa CO <sub>2</sub> (gram)	mol CO <sub>2</sub>	konsentrasi CO <sub>2</sub> (mol/L)	mol CO <sub>2</sub>
MDEA + <i>Glycine</i>	30	0.001966	0.000045	0.008356	0.000042
	45	0.001274	0.000029	0.005431	0.000027
	60	0.000966	0.000022	0.004073	0.000020

b. DEA

Variabel		Metode Titrasi <i>Chittick</i>		Metode Titrasi BaCl <sub>2</sub>	
Pelarut	Suhu (°C)	massa CO <sub>2</sub> (gram)	mol CO <sub>2</sub>	konsentrasi CO <sub>2</sub> (mol/L)	mol CO <sub>2</sub>
MDEA + DEA	30	0.003127	0.000071	0.015980	0.000080
	45	0.002042	0.000046	0.010549	0.000053
	60	0.001414	0.000032	0.006998	0.000035

c. PZ

Variabel		Metode Titrasi <i>Chittick</i>		Metode Titrasi BaCl <sub>2</sub>	
Pelarut	Suhu (°C)	massa CO <sub>2</sub> (gram)	mol CO <sub>2</sub>	konsentrasi CO <sub>2</sub> (mol/L)	mol CO <sub>2</sub>
MDEA + PZ	30	0.002389	0.000054	0.010027	0.000050
	45	0.001643	0.000037	0.006893	0.000034
	60	0.001059	0.000024	0.004387	0.000022

## APPENDIKS C GAMBAR ALAT PENELITIAN

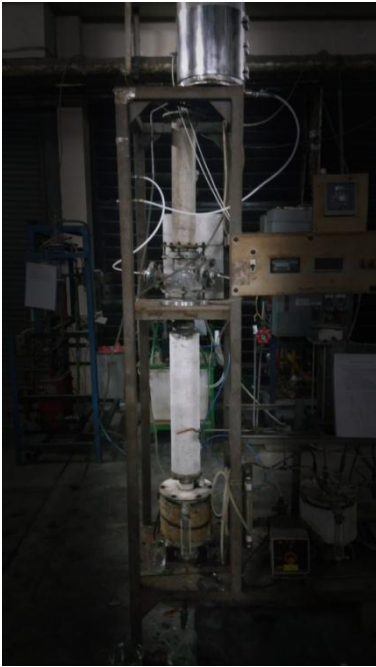


Gambar Rangkaian alat *Packed Column* (tampak samping)



Gambar *thermo-control*





Gambar Rangkaian alat *Packed Column* (tampak depan)



Gambar Rangkaian alat Titrasi *Chittick*

## RIWAYAT HIDUP PENULIS



**Indra Kustriwahyuhanto.** Lahir di Blora, 10 Agustus 1994. Penulis menjalani dunia pendidikan formal di SD Negeri 14 Cepu tahun 2000-2006, SMP Negeri 3 Cepu tahun 2006-2009, SMA Negeri 1 Cepu tahun 2009-2012, Jenjang Diploma III (D-III) Jurusan Teknik Kimia Universitas Sebelas Maret Surakarta tahun 2012-2015, dan melanjutkan ke jenjang Strata I (S-1) Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya tahun 2016-2018. Untuk riset tugas akhir, penulis memilih laboratorium Perpindahan Panas dan Massa bersama partnernya Bambang Wisnu Aji, yang dibimbing oleh Dr. Ir. Susianto, DEA dan Fadlilatul Taufany, S.T., Ph.D dengan judul “**Studi Desorpsi Gas CO<sub>2</sub> Dalam Larutan MDEA Menggunakan Packed Column**”. Penulis juga melakukan kerja praktek di PPSDM Migas pada tahun 2017 dengan tugas khusus Evaluasi *Heat Exchanger - III* di Unit Kilang. Penulis dapat dihubungi melalui email [indrakustriwahyuhanto@gmail.com](mailto:indrakustriwahyuhanto@gmail.com)

(HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN)

## RIWAYAT HIDUP PENULIS



**Bambang Wisnu Aji.** Lahir di Cilacap, 3 April 1994. Penulis menjalani dunia pendidikan formal di SD Negeri 1 Penggalang tahun 2000-2006, SMP Negeri 1 Cilacap tahun 2006-2009, SMA Negeri 1 Cilacap tahun 2009-2012, Jenjang Diploma III (D-III) Jurusan Teknik Kimia Universitas Sebelas Maret Surakarta tahun 2012-2015, dan melanjutkan ke jenjang Strata I (S-1) Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya tahun 2016-2018. Untuk riset tugas akhir, penulis memilih laboratorium Perpindahan Panas dan Massa bersama partnernya Indra Kustriwahyuananto, yang dibimbing oleh Dr. Ir. Susianto, DEA dan Fadlilatul Taufany, S.T., Ph.D dengan judul **“Studi Desorpsi Gas CO<sub>2</sub> Dalam Larutan MDEA Menggunakan *Packed Column*”**. Penulis juga melakukan kerja praktek di PPSDM Migas pada tahun 2017 dengan tugas khusus Evaluasi *Furnace Vertical Cylindrical-6* di Unit Kilang. Penulis dapat dihubungi melalui email [ajiwisnubambang@gmail.com](mailto:ajiwisnubambang@gmail.com)

(HALAMAN SENGAJA DIKOSONGKAN)