



SKRIPSI – TK141581

**PENANGKAPAN CO₂ DARI FLUE GAS DENGAN
METODE ABSORPSI REAKTIF KE DALAM
LARUTAN MDEA BERPROMOTOR MONOSODIUM
GLUTAMATE (MSG) MENGGUNAKAN TRAY
COLUMN**

Oleh :

**Ilham Dito Prasetyawan
NRP. 2313 100 028**

**Rika Dwi Nanda
NRP. 2313 100 099**

**Dosen Pembimbing 1:
Prof.Dr.Ir. Ali Altway, M.S
NIP. 19510804 197412 1 001**

**Dosen Pembimbing 2:
Dr. Ir. Susianto, DEA
NIP. 19620820 198903 1 004**

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



FINAL PROJECT– TK141581

**CO₂ CAPTURE FROM FLUE GAS USING REACTIVE
ABSORPTION INTO MDEA SOLUTION PROMOTED
BY MONOSODIUM GLUTAMATE (MSG) IN TRAY
COLUMN**

**Proposed by :
Ilham Dito Prasetyawan
NRP. 2313 100 028**

**Rika Dwi Nanda
NRP. 2313 100 099**

**Advisor 1:
Prof.Dr.Ir. Ali Altway, M.S
NIP. 19510804 197412 1 001**

**Advisor 2:
Dr. Ir. Susianto, DEA
NIP. 19620820 198903 1 004**

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

LEMBAR PENGESAHAN

Penangkapan CO₂ dari Flue Gas dengan Metode Absorpsi Reaktif ke dalam Larutan MDEA Berpromotor Monosodium Glutamate (MSG) menggunakan Tray Column

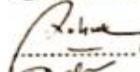
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1, Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Ilham Dito Prasetyawan
Rika Dwi Nanda

2313 100 028
2313 100 099

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.Sc.  (Pembimbing 1)
2. Dr. Ir. Susianto, DEA  (Pembimbing 2)
3. Fadlilatul Taufany, ST, Ph.D  (Penguji I)
4. Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T  (Penguji II)
5. Dr. Kusdianto, ST, MSc.Eng  (Penguji III)



**PENANGKAPAN CO₂ DARI FLUE GAS DENGAN
METODE ABSORPSI REAKTIF KE DALAM LARUTAN
MDEA BERPROMOTOR MONOSODIUM GLUTAMATE
(MSG) MENGGUNAKAN TRAY COLUMN**

Mahasiswa : Ilham Dito Prasetyawan (2313100028)
Rika Dwi Nanda (2313100099)
Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.S.
Pembimbing II : Dr. Ir. Susianto, DEA

ABSTRAK

Flue gas atau gas buangan yang dilepaskan ke atmosfer dari berbagai industri terdiri dari 80% N₂, 15% CO₂, dan 5% O₂, serta sisanya 500 ppm SO₂, 100 ppm CO, dan 50 ppm CH₄. CO₂ merupakan unsur yang memiliki dampak paling buruk bagi lingkungan karena menjadi penyebab utama pemanasan global akibat efek rumah kaca. Untuk itu, proses penangkapan CO₂ pada *flue gas* sebelum dilepaskan ke udara menjadi semakin penting sehingga perlu dikembangkan teknologi yang lebih optimal dalam penyerapan gas CO₂. Salah satu teknologi paling efektif dan ekonomis adalah absorpsi reaktif menggunakan larutan *Methyldiethanolamine* (MDEA) dengan promotor *Monosodium Glutamate* (MSG) di dalam *tray column*. Proses absorpsi gas CO₂ yang dilakukan dalam *tray column* merupakan pilihan yang lebih baik dibandingkan dengan *packed column* karena *tray column* dapat menghindari masalah distribusi liquid yang tidak merata di dalam kolom yang berdiameter besar dan mengurangi ketidakpastian dalam pembesaran skala. MSG digunakan sebagai promotor untuk MDEA karena dapat meningkatkan laju penyerapan CO₂ dalam MDEA tanpa mengurangi kelebihan dari MDEA itu sendiri, serta harganya yang relatif lebih ekonomis dibandingkan garam-asam amino lainnya. Penelitian ini dilakukan dengan kondisi operasi tekanan atmosferik, variasi temperatur 30-

60°C dengan konsentrasi MDEA sebesar 35% berat dan konsentrasi promotor MSG sebesar 1-5% berat. Analisa yang akan dilakukan menggunakan metode titrasi asam-basa untuk memperoleh besar gas CO₂ yang terserap. Diharapkan dari penelitian ini diperoleh data CO₂ loading yang dipengaruhi oleh konsentrasi promotor MSG dan temperatur operasi. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh bahwa penambahan MSG sebagai promotor pada proses absorpsi CO₂ kedalam larutan MDEA menggunakan *tray column* dapat meningkatkan nilai CO₂ loading, dimana hasil terbaik didapatkan pada konsentrasi promotor 5% berat dan temperatur 50°C dengan nilai CO₂ loading sebesar 0.449 mol CO₂/mol MDEA. Dengan penambahan konsentrasi MSG dari rentang 0-5%, CO₂ loading mengalami peningkatan sebesar 81%. Sementara temperatur operasi juga berpengaruh terhadap nilai CO₂ loading dimana nilai CO₂ loading akan meningkat seiring dengan kenaikan temperatur hingga 50°C, dan akan menurun pada temperatur ≥ 60°C. Secara keseluruhan, CO₂ loading mengalami kenaikan sebesar 212% dari nilai terendah pada keadaan konsentrasi 0% MSG dengan temperatur 30°C hingga nilai tertinggi pada keadaan konsentrasi 5% MSG dengan temperatur 50°C.

Kata kunci : absorpsi, CO₂ loading, *Methyldiethanolamine*, *Monosodium Glutamate*, *tray column*

CO₂ CAPTURE FROM FLUE GAS USING REACTIVE ABSORPTION INTO MDEA SOLUTION PROMOTED BY MONOSODIUM GLUTAMATE (MSG) IN TRAY COLUMN

Students : Ilham Dito Prasetyawan (2313100028)
Rika Dwi Nanda (2313100099)
Advisor I : Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.S.
Advisor II : Dr. Ir. Susianto, DEA

ABSTRACT

Flue gas released into atmosphere from various industries consist of 80% N₂, 15% CO₂, and 5% O₂ and the rest is 500 ppm SO₂, 100 ppm CO, and 50 ppm CH₄. CO₂ is an element that has the worst impact for environment because it becomes the main issue for global warming due to the greenhouse effect. Therefore, CO₂ capture process from *flue gas* before released into air is important so developing more advanced technology to absorb CO₂ is needed. One of the most effective and economical technologies is reactive absorption into Methyl diethanolamine (MDEA) solution promoted by Monosodium Glutamate (MSG) in tray column. CO₂ gas absorption in tray column is better than packed column because tray column can avoid uneven liquid distribution inside large diameter column and reducing uncertainty in enlargement scale. Application of MSG as a promoter for MDEA because it can accelerate CO₂ absorption without neglecting MDEA performance and has a lower cost than other amino acid salts. The experiment operation condition is done in atmospheric pressure and temperature at 30°C-60°C with 40% MDEA concentration and 1-5 % MSG concentration. Carbonate and bicarbonate content analysis is done to obtain how much is CO₂ absorbed. This experiment intends to achieve operation condition parameters, absorption rate, and CO₂ loading where the result obtained can be

used to do performance characterization from tray column. From the experiment, it's obtained that the addition of MSG as promotor in CO₂ absorption process into MDEA solution using tray column can increase CO₂ loading value in the amount of 0.449 mol CO₂/mol MDEA. With the addition of 0-5% MSG concentration, CO₂ loading increase to 81%. Meanwhile operation temperature effect where CO₂ loading value increase along temperature raise up to 50°C, and will decrease at $\geq 60^\circ\text{C}$. Overall, CO₂ loading value increase to 212% from minimum value at 0% MSG concentration at 30°C to maximum value at 5% MSG concentration at 50°C.

keywords : absorption, CO₂ loading, Methyldiethanolamine, Monosodium Glutamate, tray column

KATA PENGANTAR

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

“PENANGKAPAN CO₂ DARI FLUE GAS DENGAN METODE ABSORPSI REAKTIF KE DALAM LARUTAN MDEA BERPROMOTOR MONOSODIUM GLUTAMATE MENGGUNAKAN TRAY 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 terima kasih sebanyak-banyaknya kepada:

1. Orangtua dan keluarga kami atas segala kasih sayang dan pengertian 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, M.S selaku Kepala Laboratorium Proses Perpindahan Panas dan Massa sekaligus dosen pembimbing kami yang senantiasa sabar dalam membimbing, mengajari dan memberikan masukan bagi kami.
4. Bapak Dr. Ir. Susianto, DEA selaku dosen pembimbing yang selalu membimbing, mengajari dan memberikan masukan bagi kami.
5. Bapak dan Ibu selaku dosen pengajar serta seluruh karyawan Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
6. Bapak Elhad, Bapak Djoko, Bapak Herlambang serta pegawai lainnya dari Ajinomoto-Mojokerto Factory yang telah membantu pengadaan MSG sebagai bahan penelitian kami.

7. Teman-teman Laboratorium Proses Perpindahan Panas dan Massa, rekan-rekan Teknik Kimia angkatan 2013 atas kebersamaannya dan semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak, sehingga kami dapat menyelesaikan tugas Skripsi ini.

Kami menyadari bahwa materi dari penelitian kami ini jauh dari kata sempurna. Walau begitu kami berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua, khususnya di bidang teknik kimia dan aplikasi industri kimia. Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih dan *Wassalamualaikum wr.wb*

Surabaya, 24 Juli 2017

Penyusun

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Karbondioksida (CO ₂)	5
2.2 Teori Adsorpsi	7
2.3 Pemilihan Pelarut dan Promotor	9
2.4 Adsorpsi CO ₂ dalam <i>tray column</i>	16
2.5 Penelitian Terdahulu	18
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Deskripsi Penelitian	23
3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian	23
3.2.1 Bahan Penelitian	23
3.2.2 Peralatan Penelitian	26
3.3 Kondisi Operasi dan Variabel Penelitian	27
3.4 Prosedur Penelitian	28
3.4.1 Tahap persiapan bahan dan peralatan penelitian ..	28
3.4.2 Tahap pelaksanaan penelitian	28
3.4.3 Tahap analisa sampel	31
3.4.4 Tahap Pengolahan Data	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengaruh CO ₂ <i>loading</i> untuk berbagai kondisi konsentrasi dan temperatur	34
4.2 Pengaruh Kenaikan Konsentrasi Promotor terhadap Nilai CO ₂ <i>loading</i>	36

4.3 Perbandingan dengan Metode Analisa <i>Gas Chromatography</i>	40
BAB V KESIMPULAN & SARAN	42
DAFTAR PUSTAKA.....	xiii
DAFTAR NOTASI	xi
APPENDIKS A	A-1
APPENDIKS B	B-1
APPENDIKS C	C-1
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konsep teori 2 film Whitman untuk perpindahan massa fase gas-cair	8
Gambar 2.2 Tranfer Massa Gas ke Dalam Liquida Disertai Reaksi Kimia	8
Gambar 2.3 Struktur Geometri <i>Alkanolamine</i> 10	
Gambar 2.4 Struktur <i>L-Glutamic Acid</i>	15
Gambar 2.5 Diagram skematik pada absorpsi gas <i>tray column</i> yang berfokus pada <i>single cross-flow tray</i>	17
Gambar 3.1 Skema peralatan <i>sieve-tray column</i>	26
Gambar 3.2 Bentuk 1 tray penyusun <i>absorbtion sieve- tray column</i>	27
Gambar 3.3 Diagram alir percobaan	30
Gambar 4.1 Grafik antara CO_2 loading vs temperatur	35
Gambar 4.2 Grafik antara CO_2 loading vs konsentrasi promotor	37

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Batas Konsentrasi Gas CO ₂ dalam Proses Industri.....	5
Tabel 2.2 Perbandingan Karakteristik Pelarut <i>Alkanolamine</i>	11
Tabel 2.3 Kelarutan CO ₂ dalam larutan MDEA 4.29M.....	12
Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu	18
Tabel 3.1 Spesifikasi Tray Colum.....	27
Tabel 4.1 CO ₂ <i>loading</i> untuk berbagai kondisi konsentrasi dan temperatur.....	33
Tabel 4.2 Nilai CO ₂ <i>Loading</i> dari Literature	39
Tabel 4.3 Hasil Analisa <i>Gas Chromatography</i>	40
Tabel 4.4 Perbandingan Nilai % Recovery	40
Tabel 4.5 Perbandingan Nilai % Recovery dengan basis 16.72% CO ₂ pada Feed Gas	41

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Flue gas atau gas buangan yang dilepaskan ke atmosfer dari berbagai industri terdiri dari 80% N₂, 15% CO₂, dan 5% O₂, serta sisanya 500 ppm SO₂, 100 ppm CO, dan 50 ppm CH₄. Diantara gas buangan ini, *Karbon Dioksida* (CO₂) merupakan unsur yang memiliki dampak yang paling buruk bagi lingkungan karena menjadi penyebab utama dari pemanasan global akibat efek rumah kaca. Banyaknya CO₂ yang terakumulasi di atmosfer saat ini tengah menjadi sorotan dunia karena menyebabkan perubahan iklim yang ekstrem. Pengurangan emisi CO₂ yang dilepaskan ke udara adalah salah satu cara yang efektif untuk memperlambat perubahan iklim (Rinprasertmeechai, 2012). Untuk mengurangi emisi gas rumah kaca ini, proses penangkapan CO₂ pada *flue gas* sebelum dilepaskan ke udara menjadi semakin penting sehingga perlu dikembangkan teknologi untuk dapat menyerap gas CO₂ tersebut.

Berbagai macam teknologi telah dikembangkan untuk pemisahan CO₂ dari *flue gas*, termasuk absorpsi secara fisik dan kimia, pemisahan *cryogenic*, dan pemisahan dengan membran. Namun, apabila ditinjau dari sisi komersialnya, teknologi yang paling efektif untuk digunakan adalah absorpsi reaktif (Rinprasertmeechai, 2012). Sementara untuk cara pemisahan dengan menggunakan membran mempunyai kelemahan dalam pengoperasian unit alat, yakni efektivitas operasional yang rendah. Cara *cryogenics* membutuhkan tekanan tinggi dimana CO₂ yang dihasilkan berupa larutan, sedangkan proses adsorpsi kapasitasnya terlalu kecil dengan selektivitas CO₂ yang sangat rendah (Altway, 2008).

Absorpsi CO₂ menggunakan pelarut kimia seperti larutan *alkanolamine* merupakan salah satu metode yang paling efektif, karena memiliki keuntungan yaitu secara struktural, senyawa ini

mengandung sedikitnya satu gugus hidroksil yang membantu mengurangi tekanan uap dan meningkatkan kelarutannya dalam air. Gugus amino menyediakan cukup alkalinitas untuk menyerap CO₂ (Rinprasertmeechai, 2012). Huttenhuis (2007) mempelajari kelarutan gas CO₂ dalam pelarut N-MDEA (*Methyldiethanolamine*). MDEA dipilih sebagai absorben karena mempunyai beberapa kelebihan yaitu tekanan uapnya rendah, tidak mudah mengalami degradasi, lebih tidak korosif dibandingkan pelarut *alkanolamine* jenis lain, panas reaksi rendah, selektivitas tinggi terhadap CO₂, serta lebih atraktif dan stabil. Adapun kekurangannya adalah kecepatan reaksi dengan CO₂ lambat, cenderung membentuk *foam* pada konsentrasi tinggi dan harganya mahal (Polasek dan Bullin, 2006). Untuk mengatasi kekurangan tersebut dapat ditambahkan aktivator yang memiliki kecepatan reaksi lebih tinggi dengan CO₂. Aktivator yang biasa digunakan adalah garam-asam amino seperti *Monosodium Glutamate* (MSG)

Monosodium Glutamate (MSG) merupakan bio-katalisator garam-asam amino. Asam amino merupakan spesies *amphiprotic* yang sekurangnya memiliki satu gugus hidroksil atau sulphonil dan satu buah gugus amina. Asam amino terlarut dalam air dan membentuk zwitter ion. Penambahan basa kuat seperti *Potassium Hidroksida* (KOH) ataupun *Sodium Hidroksida* (NaOH) pada zwitter ion akan membentuk asam anion bermuatan negatif yang akan bereaksi dengan CO₂. *Potassium-Glutamic* menunjukkan reaktivitas kimia terhadap CO₂ yang besarnya sama seperti larutan alkanolamina primer (Majchrowcz, 2014). Dibandingkan garan-asam amino lainnya, seperti *taurine*, *alanin*, dan *methionine*, penggunaan MSG tergolong lebih ekonomis. Penelitian mengenai absorpsi CO₂ dalam larutan berpromotor *Monosodium Glutamate* (MSG) menggunakan *tray column* tergolong penelitian baru dan masih jarang dilakukan.

Absorpsi yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu absorpsi dengan *tray* atau *plate tower* dengan *tray* bertipe *sieve*. *Tray column* dalam dunia industri telah banyak digunakan

sebagai unit-unit kontaktor dikarenakan keefektifitasannya yang tinggi serta kapasitasnya yang besar. Proses absorpsi gas CO₂ yang dilakukan dalam *tray column* merupakan pilihan yang lebih baik dibandingkan *packed column* karena penggunaan *tray column* dapat menghindari masalah distribusi liquida yang tidak tersebar merata di dalam kolom yang berdiameter besar dan untuk mengurangi ketidakpastian dalam pembesaran skala. Van Loo, dkk. (2007) menyatakan bahwa absorpsi CO₂ menggunakan MDEA didalam *tray column* mampu menurunkan kebutuhan jumlah *tray* dari 40 menjadi 25 *tray*.

Tray column adalah kolom pemisah berupa silinder tegak dimana bagian dalam dari kolom berisi sejumlah *tray* atau *plate* yang disusun pada jarak tertentu di sepanjang kolom. Cairan akan dimasukkan dari puncak kolom dan dalam perjalanannya cairan akan mengalir dari *tray* yang satu ke *tray* lain yang ada di bawahnya. Selama proses berlangsung, di setiap *tray* akan terjadi kontak antara fase cair dengan fase gas yang dimasukkan dari dasar kolom. Produk hasil reaksi absorpsi dengan metode ini ialah ion karbonat dan bikarbonat yang terbentuk dalam larutan MDEA dimana larutan ini bersifat tidak berbahaya bagi lingkungan dan larutan MDEA dapat di-*recovery* untuk digunakan kembali.

Dengan mempertimbangkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan, perlu dilakukan pengembangan penelitian terhadap absorpsi CO₂ dalam larutan MDEA berpromotor garam asam amino *Monosodium Glutamate* (MSG) menggunakan *Tray Column* yang hasilnya dapat digunakan untuk melakukan karakterisasi kinerja dari *tray column* dalam menyerap CO₂ ke dalam MDEA berpromotor MSG.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh parameter kondisi operasi (temperatur dan konsentrasi promotor) terhadap CO₂ *loading* pada proses absorpsi gas CO₂ ke dalam larutan MDEA dengan promotor *Monosodium Glutamate* (MSG) di dalam *tray column*.

1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi masalah yang akan dibahas maka digunakan asumsi-asumsi :

1. Absorpsi CO₂ dilakukan pada kolom absorber dengan tipe *sieve tray column* untuk mendapatkan data CO₂ *loading* dari proses absorpsi.
2. Kondisi operasi yang digunakan pada temperatur 30 °C (303.15 K) – 60 °C (333.15 K) dan tekanan atmosferik (1 atm).
3. Absorpsi CO₂ menggunakan *Methyldiethanolamine* (MDEA) sebagai *solvent* dan *Monosodium Glutamate* (MSG) sebagai promotor.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh data CO₂ *loading* dari proses absorpsi CO₂ ke dalam larutan MDEA berpromotor *Monosodium Glutamate* (MSG) menggunakan *tray column*.
2. Mempelajari pengaruh parameter kondisi operasi (temperatur dan konsentrasi promotor) pada proses absorpsi CO₂ ke dalam larutan MDEA dengan promotor *Monosodium Glutamate* (MSG) menggunakan *tray column*.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat mendapatkan kondisi operasi optimum dan data *performance* dari absorben MDEA berpromotor *Monosodium Glutamate* (MSG) sebagai upaya untuk mengoptimalkan proses absorpsi CO₂ di dunia industri.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karbondioksida (CO₂)

Karbondioksida (CO₂) 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 CO₂ termasuk oksida asam dan tidak berbentuk cair pada tekanan dibawah 5,1 atm tetapi berbentuk padat pada temperatur di bawah -78°C. Dalam bentuk padat, CO₂ disebut *dry ice*. Larutan CO₂ mengubah warna lakmus dari biru menjadi merah muda.

Keberadaan CO₂ merupakan kontributor utama dalam pemanasan global. Adanya CO₂ yang berlebihan dapat melubangi lapisan ozon dan menyebabkan efek rumah kaca. Gas CO₂ di produksi hampir 97% dari hasil pembakaran bahan bakar fosil, seperti dari sumber batu bara, minyak, gas alam dan biomassa. *Flue gas* atau gas buangan dari berbagai industri juga mengandung 15% CO₂. Banyaknya CO₂ yang terakumulasi di atmosfer saat ini tengah menjadi sorotan dunia karena menyebabkan perubahan iklim yang ekstrem. Pengurangan emisi CO₂ yang dilepaskan ke udara adalah salah satu cara yang efektif untuk memperlambat perubahan iklim (Rinprasertmeechai, 2012). Salah satu indikator yang digunakan dalam menganalisa isu pemanasan global adalah bertambahnya gas rumah kaca, terutama gas CO₂. Gas CO₂ yang dilepaskan ke atmosfer harus memenuhi spesifikasi batas seperti ditunjukkan **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Spesifikasi Batas Konsentrasi Gas CO₂ dalam Proses Industri :

Proses	Batas konsentrasi gas karbondioksida
Industri manufaktur	< 0,1% CO ₂
Industri amoniak	< 16 ppm CO ₂
Pemurnian gas alam :	

Proses	Batas konsentrasi gas karbondioksida
<ul style="list-style-type: none"> • Pipa gas • Bahan baku LNG 	<ul style="list-style-type: none"> < 1% CO₂ < 50 ppm CO₂
Sintesa gas untuk produksi kimia (H ₂ /CO)	< 500 ppm CO ₂
Gasifikasi batu bara	~500 ppm CO ₂
Industri etilen	~1 ppm CO ₂
Pembangkit tenaga listrik :	
<ul style="list-style-type: none"> • Pembangkit tenaga listrik NGCC 	<0,5% CO ₂
<ul style="list-style-type: none"> • Pembangkit listrik batubara 	<1,5% CO ₂

(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). Berbagai macam teknologi telah dikembangkan untuk pemisahan CO₂ dari *flue gas*, termasuk absorpsi secara fisik dan kimia, pemisahan *cryogenic*, dan pemisahan dengan membran. Namun, apabila ditinjau dari sisi komersialnya, teknologi yang paling menunjang untuk digunakan adalah proses absorpsi reaktif (Rinprasertmeechai, 2012).

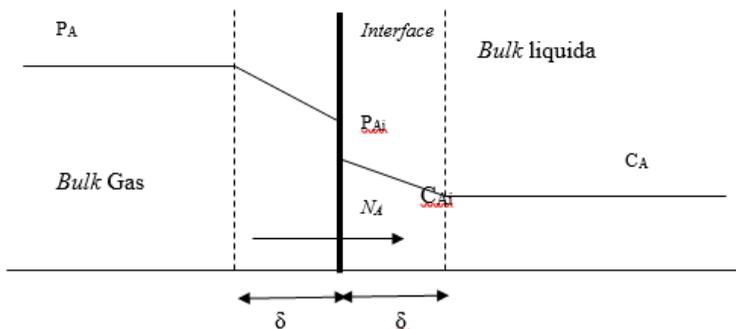
Carbon Capture and Storage (CCS) memungkinkan emisi CO₂ untuk dibersihkan dari aliran buangan sehingga CO₂ tidak masuk ke atmosfer. Teknologi yang memungkinkan penangkapan karbondioksida dari aliran emisi telah digunakan untuk menghasilkan CO₂ murni dalam industri makanan dan kimia. Setelah CO₂ ditangkap, penting bahwa CO₂ dapat disimpan secara aman dan permanen. Selain memiliki beberapa efek negatif, CO₂ juga memiliki nilai ekonomis, diantaranya CO₂ digunakan dalam industri minuman berkarbonasi, *dry ice*, bahan baku pada industri urea, dan industri abu soda (Rao dan Rubin, 2002).

2.2 Teori Absorpsi

Absorpsi adalah proses pemisahan bahan dari suatu campuran gas dengan cara pengikatan bahan tersebut pada permukaan absorben cair yang diikuti dengan pelarutan. Pada proses absorpsi, terjadi perpindahan massa suatu material dari fase gas ke fase cair melalui batas fase. Kelarutan gas yang akan diserap dapat disebabkan hanya oleh gaya-gaya fisik (pada absorpsi fisik) atau selain gaya tersebut juga oleh ikatan kimia (pada absorpsi kimia). Komponen gas yang dapat mengadakan ikatan kimia akan dilarutkan lebih dahulu dan juga dengan kecepatan yang lebih tinggi. (Alhady, 2017)

Untuk absorpsi fisik, material yang diserap akan larut secara fisik dalam cairan. Salah satu teori yang dapat menggambarkan fenomena perpindahan massa yang terjadi pada absorpsi fisik yaitu dengan teori lapisan film. Pada teori ini dianggap ada suatu lapisan stagnan dalam kedua fase sepanjang *interface*. Di dalam fase gas perpindahan massa komponen A kedalam *interface* mengalami tahanan dalam film gas dan tahanan perpindahan massa komponen A dari *interface* ke badan cairan film cair. Teori dua film merupakan teori untuk keadaan *steady state*. Diasumsikan bahwa gas dan cairan berada pada kesetimbangan pada *interface* dan bahwa film-film tipis memisahkan *interface* dari bagian kedua fase. (Treybal, 1980). Secara skematis model film Whitman diberikan pada **Gambar 2.1**. Gradien konsentrasi A antara $x = 0$ sampai $x = \delta$ adalah konstan dalam film stagnan bila tidak terjadi generasi atau reaksi kimia.

Secara umum, absorpsi reaktif dikenal sebagai penyerapan gas ke dalam medium liquid yang disertai dengan reaksi kimia. Proses tersebut memiliki beberapa keuntungan yaitu dapat meningkatkan *yield* reaksi dan *selectivity*, serta mengatasi hambatan termodinamika seperti reduksi dalam konsumsi energi. Oleh karena adanya interaksi antara reaksi kimia dan perpindahan massa dan panas yang cukup kompleks (Gorak & Kenig, 2005).

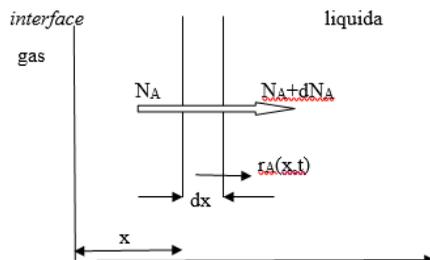


Gambar 2.1 Konsep teori 2 film Whitman untuk perpindahan massa fase gas-cair

Dalam absorpsi yang disertai dengan reaksi kimia, suatu molekul A (*solute*), akan diserap ke dalam suatu cairan B (absorben), dimana komponen A bereaksi dengan komponen B. Reaksi tersebut bisa berlangsung dalam regim cepat, lambat, *reversible*, *irreversible*, dan sembarang orde reaksi. Proses keseluruhan dapat diperkirakan menjadi 4 tahapan, yaitu:

1. Difusi A ke fase gas menuju *interface* gas-cair
2. Difusi A dari *interface* ke dalam cairan, dan difusi B dari cairan menuju *interface* serta terjadi reaksi antara A dan B
3. Difusi produk dari reaksi dalam fas cair, produk volatil akan mendifusi ke *interface*
4. Difusi produk gas menuju fase gas

(Astarita, 1967)



Gambar 2.2 Tranfer Massa Gas ke Dalam Liquida Disertai Reaksi Kimia

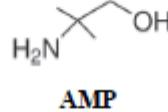
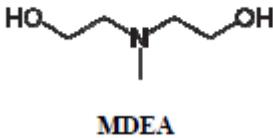
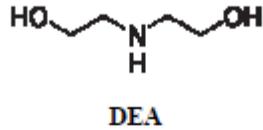
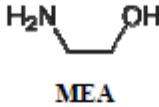
Adanya reaksi kimia dapat mengubah profil konsentrasi A, gradien konsentrasinya akan naik sehingga mempercepat laju absorpsinya dibandingkan dengan absorpsi fisik. Pada kasus absorpsi gas A kedalam liquida, ada kemungkinan gas terlarut A bereaksi dengan pelarut/reaktan lain dalam liquida dengan laju reaksi r_A .

2.3 Pemilihan Pelarut dan Promotor

Pemilihan pelarut umumnya dilakukan sesuai dengan tujuan absorpsi, antara lain :

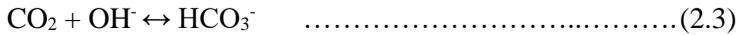
- Jika tujuan utama adalah untuk menghasilkan larutan yang spesifik, maka pelarut ditentukan berdasarkan sifat dari produk
- Jika tujuan utama adalah untuk menghilangkan kandungan tertentu dari gas, maka ada banyak pilihan pelarut. Misalnya air, dimana merupakan pelarut yang paling murah dan sangat kuat untuk senyawa polar.

Terdapat beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan jenis pelarut yaitu kelarutan gas, volatilitas, korosivitas, harga, ketersediaan, viskositas dan lain sebagainya. Pelarut *alkanolamine* telah digunakan sekitar 75 tahun untuk *treatment* industri gas (Booth, 2005; Wang dkk, 2011). *Alkanolamine* dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis berdasarkan struktur kimianya, yaitu *primary amine*, *secondary amine* dan *tertiary amine*. *Primary amine* memiliki satu rantai alkanol dan dua atom hidrogen yang terikat atom nitrogen, contohnya adalah *methylethanolamine* (MEA). *Secondary amine* memiliki dua rantai atom alkanol dan satu atom hidrogen yang terikat atom nitrogen, contohnya adalah *diethanolamine* (DEA). *Tertiary amine* tidak memiliki atom hidrogen yang secara langsung terikat dengan atom nitrogen, contohnya adalah *methyldiethanolamine* (MDEA). Jenis *alkanolamine* lainnya yaitu AMP yang diklasifikasikan sebagai amin primer dengan rantai sterik terentang. Struktur geometri dari alkanolamine ini ditunjukkan pada **gambar 2.1** (Lerche, 2012)



Gambar 2.3 Struktur Geometri *alkanolamine*

Absorpsi CO₂ dengan menggunakan pelarut kimia *alkanolamine* merupakan salah satu metode yang paling efektif. Banyak penelitian yang telah dilakukan, seperti Rinker, dkk. (1995) mempelajari kinetika dan modeling dari absorpsi CO₂ dalam larutan N-MDEA. Pacheco dkk. (1998) menyatakan bahwa absorpsi CO₂ menggunakan *Methyldiethanolamine* (MDEA), jumlah gas yang diserap dikendalikan oleh difusi reaksi cepat dan tidak dipengaruhi oleh tahanan gas-film. Reaksi stoikiometri penyerapan CO₂ ke dalam MDEA ditunjukkan oleh persamaan berikut:



Huttenhuis (2007) mempelajari kelarutan gas CO₂ dalam pelarut N-MDEA. MDEA dipilih sebagai absorbent karena mempunyai beberapa keunggulan yaitu tekanan uapnya rendah,

tidak mudah mengalami degradasi, panas reaksi rendah, selektivitas tinggi terhadap CO₂, dan lebih atraktif. Begitu juga Polasek (1994), telah membandingkan senyawa MDEA dengan senyawa amina lain, hasilnya konsentrasi MDEA dalam larutan lebih tinggi bisa mencapai 50-55% dengan korosivitas lebih rendah, ketahanan degradasi lebih tinggi, panas reaksi lebih rendah serta tekanan uap rendah. Namun, MDEA memiliki kelemahan yaitu kecepatan reaksinya dalam menyerap CO₂ tergolong lambat. Secara sederhana, perbandingan antara MDEA dengan *alkanolamine* lainnya ditunjukkan dalam tabel berikut:

Tabel 2.2 Perbandingan Karakteristik Pelarut *Alkanolamine*

Pelarut	Kelebihan	Kekurangan
<i>Monoethanole Amine (MEA)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Sangat reaktif terhadap CO₂ dan H₂S. • Mampu menghilangkan CO₂ dan H₂S secara bersamaan. • <i>Recovery</i> CO₂ tinggi. • Harganya paling murah dibanding pelarut amin lainnya. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alat rentan mengalami korosi, terutama jika konsentrasinya di atas 20% wt. • Tekanan uapnya tinggi sehingga banyak massa yang hilang saat diregenerasi. • Energi yang dibutuhkan untuk regenerasi cukup tinggi.
<i>Diethanole Amine (DEA)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Tekanan uapnya lebih rendah dibanding MEA sehingga mengurangi kehilangan massa saat regenerasi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat bereaksi dengan CO₂ secara <i>irreversible</i> sehingga pelarut ini tak optimal jika digunakan untuk absorpsi gas dengan kandungan CO₂ yang tinggi.

Pelarut	Kelebihan	Kekurangan
<i>Methyl Diethanole Amine</i> (MDEA)	<ul style="list-style-type: none"> • Tekanan uapnya sangat rendah sehingga dapat digunakan dengan konsentrasi sampai 60% wt. • Tidak korosif. • Banyak digunakan untuk absorpsi dengan kandungan CO₂ yang tinggi. • Energi untuk regenerasi rendah. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reaksi berlangsung lebih lambat • Harganya paling mahal di antara pelarut amina lainnya.

(Sumber: Kohl & Nielsen, 1997 ; Kidnay, 2006)

Kelutran CO₂ di dalam MDEA telah dipelajari sebelumnya oleh Lidal pada tahun 1992 dimana hasilnya menunjukkan bahwa kelarutan CO₂ ke dalam larutan MDEA bervariasi terhadap fungsi temperature dan konsentrasi dari MDEA seperti ditunjukkan pada tabel berikut:

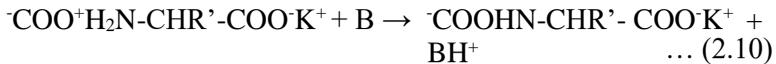
Tabel 2.3 Kelarutan CO₂ dalam larutan MDEA 4.28M pada temperatur 25, 40 dan 70°C

γ (mol CO ₂ / mol amine)	P _{CO2} (atm)	T(°C)
0.096	0.0067	25
0.143	0.0155	25
0.334	0.0603	25
0.430	0.110	25
0.523	0.161	25
0.061	0.009	40

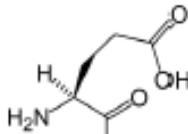
γ (mol CO ₂ / mol amine)	P _{CO₂} (atm)	T(°C)
0.132	0.039	40
0.186	0.064	40
0.261	0.121	40
0.314	0.170	40
0.383	0.256	40
0.061	0.080	70
0.107	0.220	70

(Lidal, 1992)

Kombinasi beberapa solven dapat dilakukan dengan tujuan untuk mencampurkan antara solven dengan laju penyerapan rendah dengan solven lain yang memiliki laju reaksi penyerapan lebih cepat. MDEA merupakan komponen amina yang dapat dicampur dengan amina lain karena kelarutan CO₂ nya yang tinggi serta kebutuhan energinya yang rendah untuk regenerasi. Penambahan amina primer ataupun amina sekunder dalam jumlah kecil ke dalam larutan MDEA akan meningkatkan laju penyerapan CO₂ tanpa mengurangi keunggulan dari MDEA itu sendiri (Lerche, 2012). Selain penambahan solven amina, aktivator juga dapat ditambahkan ke dalam larutan MDEA untuk mempercepat laju reaksi penyerapan tanpa menghilangkan keunggulan dari penggunaan larutan MDEA itu sendiri. Dalam pemilihan aktivator, biasanya dipilih senyawa yang memiliki kecepatan reaksi lebih tinggi dengan CO₂. Aktivator yang bisa digunakan adalah garam-asam amino yang secara struktural memiliki kemampuan yang sama dengan senyawa *alkanolamine* dalam menyerap CO₂. Asam amino yang dilarutkan dalam air merupakan spesies *amphiprotic* yang sekurangnya memiliki satu



Glutamic Acid merupakan satu dari dua puluh asam amino dasar pembentuk protein (*proteinogenic*). Sebagai asam amino dasar, *Glutamic Acid* memiliki sebuah atom karbon asimetris. Berdasarkan sifat kimia dari rantai sampingnya, *L-Glutamic Acid* tergolong sebagai asam amino acidic. *L-Glutamic Acid* memiliki rumus kimia sebagai $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_4$ (*L-2-amino-pentanedioic acid*) dengan berat molekul sebesar 147.13 dengan struktur geometri ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.4 Struktur *L-Glutamic Acid*

Beberapa penelitian telah mempelajari kinetika penyerapan CO_2 dalam larutan berpromotor garam-garam asam amino. Diantaranya adalah dalam larutan berpromotor *Potassium-Glutamate* oleh Holst et al. (2008), *Potassium-Sarcosinate* (SarK) oleh Thee (2014), *Potassium-Taurinate* (TauK) oleh Kumar (2003), *Potassium-Threonate* (ThrK) oleh Hwang pada (2010), *Potassium-Alaninate* (AlaK) oleh Kim dan Lim (2012) dan pada larutan karbonat berpromotor *Potassium-Arginate* oleh Shen pada (2013), dalam larutan berpromotor *Potassium-Proline* (ProK) oleh Majchrowicz (2009) serta dalam *Potassium-Lysinate* oleh Shen (2016). Dalam penelitian tersebut disimpulkan bahwa basa potassium sebagai absorben menunjukkan nilai reaktivitas terhadap CO_2 yang lebih tinggi dibandingkan pada basa sodium sebagai absorben. Tetapi jika ditinjau dari segi ekonomis, basa potassium memiliki harga yang jauh lebih mahal dibandingkan basa sodium.

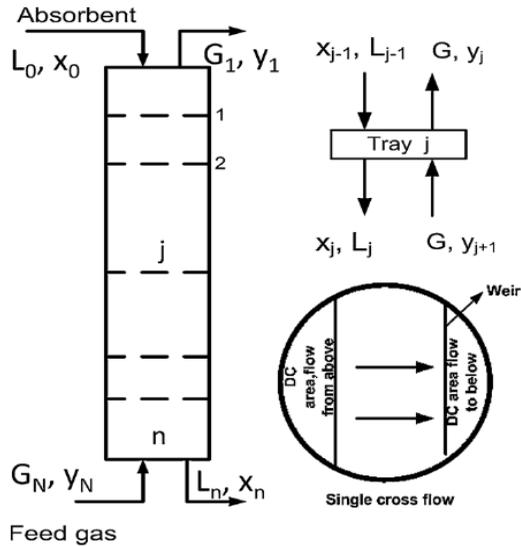
2.4 Absorpsi CO₂ dalam *tray column*

Tray Column merupakan kolom pemisah berupa silinder tegak dimana bagian dalam dari kolom berisi sejumlah *tray* atau *plate* yang disusun pada jarak tertentu (*tray spacing*) disepanjang kolom. *Tray* atau *plate* merupakan alat kontak fase yang berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses perpindahan, tempat terbentuknya kesetimbangan, serta sebagai alat pemisah diantara dua fase yang setimbang. Absorben dimasukkan dari puncak kolom dan dalam perjalanannya cairan akan mengalir dari *tray* yang satu ke *tray* yang lain yang ada dibawahnya, seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 2.3**. Selama proses berlangsung, di setiap *tray* akan terjadi kontak fasa antara fasa cairan dengan fasa gas yang dimasukkan dari dasar kolom.

Proses absorpsi gas CO₂ yang dilakukan dalam *tray column* merupakan pilihan yang lebih baik daripada *packed column* yaitu karena *tray column* dapat menghindari masalah distribusi liquid di dalam kolom yang berdiameter besar dan untuk mengurangi ketidakpastian dalam pembesaran skala. Van Loo, dkk. (2007) menyatakan bahwa absorpsi CO₂ menggunakan MDEA didalam *tray column* mampu menurunkan kebutuhan jumlah *tray* dari 40 menjadi 25 *tray*.

Secara keseluruhan kontak antara fase dalam *tray tower* dapat dipandang sebagai aliran lawan arah (*countercurrent*), meskipun arus yang sebenarnya terjadi arus silang (*crossflow*). Komponen pada *tray column* antara lain adalah sebagai berikut:

1. *Downcomer* : lubang tempat masuknya aliran dari atas berupa liquid (*plate* atas) ke *plate* bawah (kita memandang *plate* bawah ini sebagai acuan).
2. *Downflow* : lubang tempat keluaran liquid dari *plate* atas (kita memandang sebagai acuan) ke *plate* di bawahnya.



Gambar 2.5 Diagram skematik pada absorpsi gas *tray column* yang berfokus pada *single cross-flow tray*.

3. *Cap* : penghalang / pengkontak antara liquid dan uap yang dipasang di setiap tray, bentuk seperti topi yang pinggirnya ada slot untuk mengatur besar kecilnya gas yang keluar keatas.
4. *Slot* : tempat bukaan pada cap yang mempunyai macam-macam bentuk (trapesium, persegi, segitiga) yang berfungsi mengatur bukaan gas yang keluar ke atas sehingga liquid dan gas berkontak secara normal.
5. *Baffle* : penghalang yang berada di tengah-tengah *tray* untuk membuat aliran lebih lama berada di *tray* (penerapan hanya di reverse flow).
6. *Weir* : penghalang yang dipasang di pinggir dari downflow utk membuat agar volume liquid yang tertampung di tray banyak, sehingga efektif terjadinya kontak antara liquid dan gas.

2.5 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang dapat dijadikan sebagai acuan untuk referensi, seperti yang telah tercantum dalam **Tabel 2.3** berikut :

Tabel 2.4 Penelitian terdahulu

No.	Penulis	Judul	Uraian
1	Camacho, F. (2007)	<i>Kinetics of the Reaction of Pure CO₂ with N-Methyldiethanolamine in Aqueous Solutions.</i>	Mempelajari kinetika reaksi CO ₂ dalam larutan MDEA pada temperature 288-313 K. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaksi termasuk reaksi cepat berorde dua dengan nilai $\ln k = 22.4 - 6243.5/T$.
2.	Huttenhuis, P.J.G (2007)	<i>Gas Solubility of H₂S and CO₂ in aqueous solutions of N-methyldiethanolamine</i>	Mempelajari data kelarutan terbaru dari CO ₂ dan H ₂ S pada larutan MDEA.
3	Van Loo, S. (2007)	<i>The removal of carbon dioxide with activated solutions of methyl-diethanol-amine</i>	Mempelajari laju penyerapan CO ₂ dalam larutan MDEA. Hasil penelitian menunjukkan dengan menambahkan promotor MEA sebesar 2,5% mol ke dalam larutan MDEA akan

No.	Penulis	Judul	Uraian
			menurunkan jumlah tray dari 40 ke 25
4	Holst, J.V. (2008)	<i>Kinetic Study of CO₂ with various amino acid salt in aqueous solution</i>	Studi kinetika CO ₂ dengan beberapa garam asam amino (potassium salts of 6-aminohexanoic acid, β-alanine, l-arginine, l-glutamic, acid, dl-methionine, l-proline dan sarcosine) pada temperature 298 K. Hasilnya menunjukkan potassium-sarcosinate dan potassium-prolinate merupakan solven yang paling menjanjikan.
5	Lerche, B.M. (2012)	<i>CO₂ Capture from Flue Gas Using Amino-Acid Salt Solutions.</i>	Mempelajari fase kesetimbangan dari sistem CO ₂ + amino acid + H ₂ O menggunakan lima macam asam amino yaitu <i>taurine, glycine, alanine, proline</i> dan <i>lysine</i> serta mempelajari komposisi kimia dari endapan yang terbentuk karena proses penyerapan

No.	Penulis	Judul	Uraian
			CO ₂ . Hasil penelitian menunjukkan penggunaan <i>Lysine</i> memberikan besar CO ₂ loading dua kali lebih besar dari MEA.
6	Majchrowicz, M.E. (2014)	<i>Reactive absorption of carbon dioxide in L-Proline salt solution</i>	Mempelajari laju absorpsi CO ₂ dalam larutan <i>Potassium-Proline</i> (ProK) pada temperature 290-323 K dengan range konsentrasi 0.5-3 mol/L. Hasil penelitian menunjukkan orde reaksi penyerapan adalah 1,36 dan 1.44 untu ProK.
7	Shen, S. (2016)	<i>Kinetics of CO₂ Absorption into Aqueous Basic Amino Acid Salt: Potassium Salt of Lysine Solution</i>	Studi kinetika absorpsi CO ₂ dalam larutan MEA berpromotor <i>Potassium-Lysine</i> (LysK) menggunakan wetted wall column dengan range konsentrasi dari 0.25-2.0 M dan variasi temperature antara 298-333K. Dari penelitian ini terlihat bahwa

No.	Penulis	Judul	Uraian
			Potassium-Lysine (LysK) menunjukkan nilai reaktivitas kimia terhadap CO ₂ yang lebih tinggi dibandingkan dengan MEA standar industri yang berpromotor garam-asam amino lainnya.

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Deskripsi Penelitian

Penelitian ini dilakukan sebagai eksperimen untuk absorpsi gas CO₂ dalam larutan *Methyldiethanolamine* (MDEA) berpromotor *Monosodium Glutamate* (MSG) dalam *tray absorber column* skala laboratorium pada tekanan atmosferik dengan temperatur 303.15 K (30 °C) – 333.15 K (60 °C).

3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Campuran 15% gas *pure* CO₂ (Samator Gas, 2017) dan 85% udara dari *air compressor*.

2. *Methyldiethanolamine* (MDEA)

Spesifikasi (MDEA)

Rumus Molekul	:	C ₅ H ₁₃ NO ₂
Berat Molekul	:	119,169 gr/mol
Titik Didih	:	247,3 °C
Kelarutan dalam air	:	100%
Densitas	:	1,038 gr/mol
Fase	:	Liquid

(PT. Pertamina (Persero) RU IV Cilacap, 2016)

3. *Monosodium Glutamate* (MSG)

Spesifikasi MSG

Rumus Molekul	:	C ₅ H ₈ NO ₄ Na
Berat Molekul	:	187,13 gr/mol
Kemurnian	:	99.47%

pH : 6.7~7.2
Kelarutan dalam air : 14,87 gr/100 mL (20°C)
Titik leleh : 260°C
Titik Didih : 368°C
(PT. Ajinomoto-Mojokerto Factory, 2017)

4. *Aquadest*

Spesifikasi Aquades

Rumus Molekul : H₂O
Berat Molekul : 18 gr/mol
Kemurnian : 100%
pH : ±8
Titik Beku : 0°C
Titik Didih : 100°C
(SIP, 2017)

5. Natrium Tetraborat Dekahidrat (Na₂B₄O₇·10H₂O)

Spesifikasi Natrium Tetraborat Dekahidrat

Rumus Molekul : Na₂B₄O₇·10H₂O
Berat Molekul : 201,22 gr/mol
Spesifik Gravity : 2,367
Densitas : 381,37 gr/mol
Kelarutan Dalam Air : 59%
Titik Didih : 320 °C
(Gudang Teknik Kimia, 2017)

6. Asam Klorida (HCl)

Spesifikasi Asam Klorida (*Grade Extra Pure*)

Rumus Molekul : HCl
Berat Molekul : 36,458 gr/mol
Tekanan Uap : 84 mm Hg (20 C)
Titik Didih : 50,5°C

Kelarutan Dalam Air : 100%
Keasaman : < 1 pKa
Expiration : Juni 2018

(SIP, 2017)

7. Indikator *Phenolphthalein* (PP) dan Indikator *Metil Orange* (MO)

Spesifikasi MO

Rumus Molekul : $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$
Berat Molekul : 327,22 gr/mol
Densitas : 1,28 gr/mol
Kelarutan Dalam Air : 0,5 gr / 100 mL

Spesifikasi PP

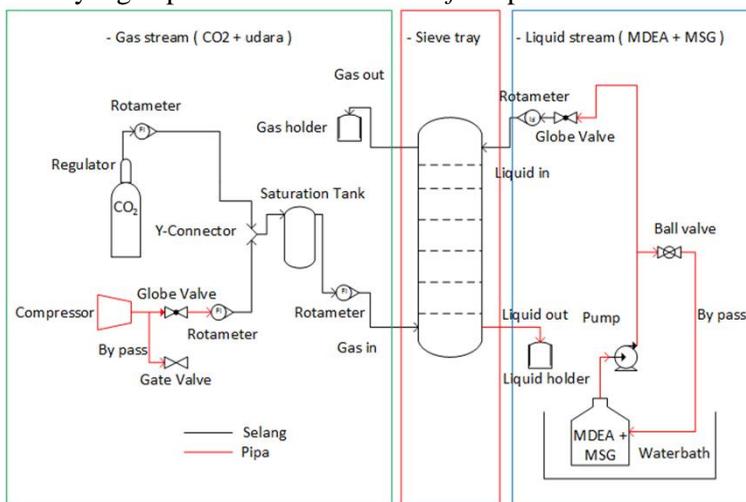
Rumus Molekul : $C_{20}H_{14}O_4$
Densitas : 1,277 gr/mol
Titik Leleh : 258-263°C
Kelarutan Dalam Air : 400 mg/lt
(Gudang Teknik Kimia, 2017)

3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian adalah :

Peralatan tray column :

Tray Column tersusun atas sebuah kolom dengan 6 tray bertipe *sieve*, berdiameter 6.2 cm, tinggi 2,3 m, dan tray spacing sebesar 30 cm. Seluruh bagian tray column terbuat dari bahan *stainless steel* yang bertujuan menghindari korosi. *Flue gas* masuk ke kolom melalui bagian bawah kolom dan aliran pelarut *Methyldiethanolamine* (MDEA)-*Monosodium Glutamate* masuk ke kolom dari bagian atas dan selanjutnya *flue gas* dan pelarut akan mengalami kontak pada *tray* dalam kolom. Pelarut mengalir dari bagian atas kolom lalu turun memenuhi *tray* sehingga terjadi kontak dan transfer massa antara fasa liquid dan gas yang masuk melalui lubang-lubang pada *sieve tray*. Selanjutnya pelarut pada *tray* yang dibendung oleh *weir* akan *overflow* dan turun melewati *downcomer* menuju *tray* yang berada di bawahnya. *Downcomer* berfungsi untuk mengalirkan pelarut yang *overflow* dari *tray* di atasnya dan menghindari *flooding* akibat adanya aliran gas dari bawah yang dapat menekan aliran *overflow* pelarut.



Gambar 3.1. Skema Peralatan Sieve Tray Column

Tabel 3.1 Spesifikasi Tray Column

No	Keterangan	Ukuran
1	Diameter kolom	6,2 cm
2	Tray Spacing	30 cm
3	Diameter hole	2 mm
4	Tinggi kolom	2.5 m
5	Jumlah Tray	6
6	Jenis Tray	Sieve Tray
7	Tinggi Weir	9 cm
8	Hole number	35 hole



Gambar 3.2. Bentuk 1 tray penyusun *absorption sieve-tray column*

3.3 Kondisi Operasi dan Variabel Penelitian

Kondisi operasi dan variabel penelitian yang digunakan pada penelitian adalah :

- Kondisi operasi :
 1. Tekanan : 1 atmosfer
 2. Temperatur : 30, 40, 50, 60 °C
- Feed Gas
 1. Jenis Feed Gas : campuran 15% CO₂ dan 85% udara
 2. Laju alir gas : 80,77 L/menit
- Pelarut
 1. Jenis pelarut : MDEA
 2. Konsentrasi pelarut : 35 % berat

3. Laju alir pelarut : 80 mL/menit
- Promotor
 1. Jenis promotor : *Monosodium Glutamate* (MSG)
 2. Konsentrasi promotor : 1,2,3,4, dan 5 % *Monosodium Glutamate*

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Tahap persiapan bahan dan peralatan penelitian

- a. Mempersiapkan bahan penelitian, seperti campuran feed gas, larutan *methyldiethanolamine*, *Monosodium Glutamate*, aquadest.
- b. Mempersiapkan peralatan penelitian, seperti bak penampung larutan *methyldiethanolamine*, bak penampung sampel.
- c. Merangkai peralatan *tray column* seperti **Gambar 3.1**.

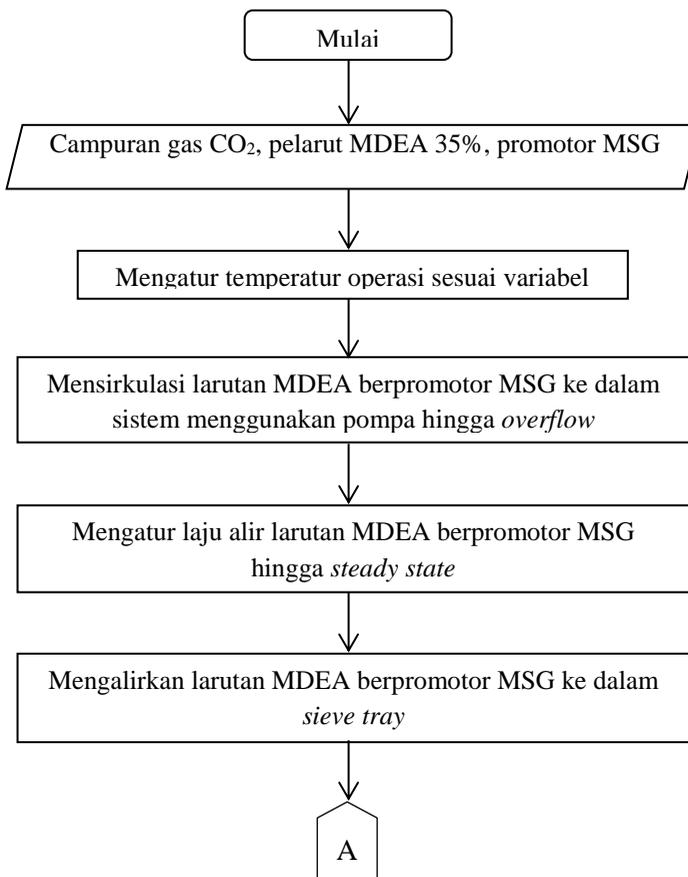
3.4.2 Tahap pelaksanaan penelitian

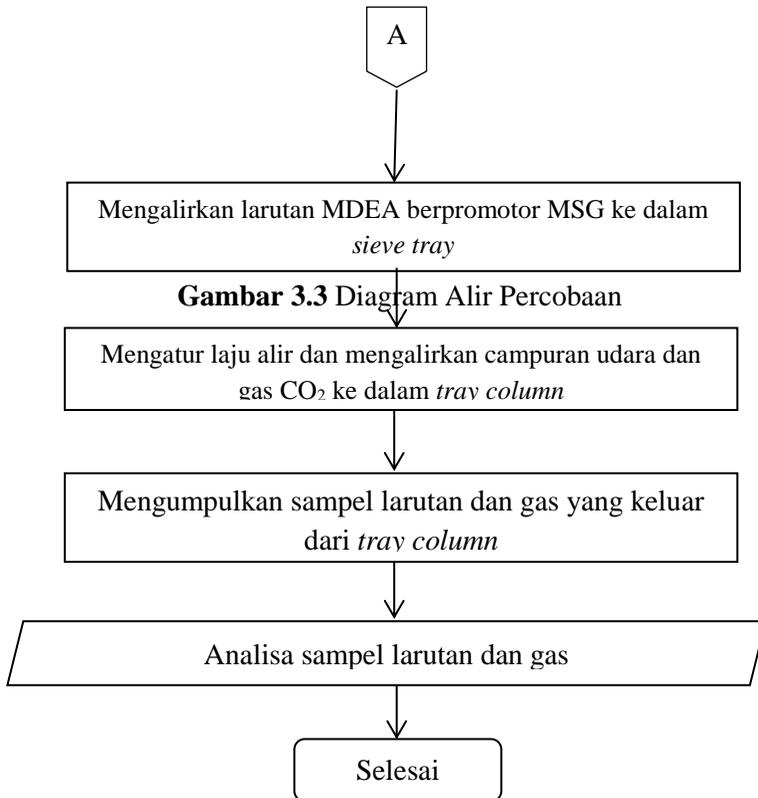
- a. Membuat larutan *Monosodium Glutamate*
- b. Menambahkan masing-masing (% berat) *Monosodium Glutamate* sesuai dengan variabel ke dalam larutan MDEA 35% berat.
- c. Memasukkan larutan MDEA berpromotor ke dalam tangki *reservoir* (T-103)
- d. Mengeset suhu operasi sesuai dengan variabel
- e. Mengatur laju alir larutan MDEA berpromotor, sehingga larutan mengalir dari atas kebawah melewati *tray* dan dibawa turun oleh *downcomer* dari satu *tray* ke *tray* yang ada dibawahnya.
- f. Pada saat suhu sistem telah mencapai yang diinginkan dan aliran telah stabil, campuran gas karbondioksida, dan udara dialirkan dari bawah melewati *tray* disepanjang kolom.
- g. Kemudian campuran gas karbondioksida, dan udara mengalir dari bawah kolom melalui lubang lubang

sehingga menyebabkan turbulensi cairan membentuk *froth* sepanjang *tray* hingga keadaan *steady state*.

- h. Apabila tercapai kondisi *steady state*, mengambil sampel larutan MDEA berpromotor pada tangki penampung sampel (T-107) untuk dilakukan analisa kandungan karbonat dan bikarbonat.

Tahap eksperimen secara sederhana ditunjukkan seperti diagram alir pada **Gambar 3.3** berikut:





Gambar 3.3 Diagram Alir Percobaan

3.4.3 Tahap Analisa Sampel (MDEA).

Sampel liquid absorben (*rich amine*) yang telah menyerap CO₂ akan dianalisa dengan metode titrasi asam-basa menggunakan larutan HCL sebagai titran dengan indikator *Phenolphthalein* (PP) dan *Methyl Orange* (MO).

3.4.4 Tahap Pengolahan Data

Data dari hasil analisa dengan metode titrasi asam-basa akan digunakan untuk menghitung CO₂ loading dari reaksi absorpsi CO₂ dalam MDEA berpromotor *Monosodium Glutamate*. CO₂ loading dari proses absorpsi dihitung mengikuti persamaan Hatcher (2009) sebagai berikut::

$$CO_2 \text{ loading} = \frac{V_{MO} - V_{PP}}{V_{Moinitial}} \dots\dots\dots (3.1)$$

Titrasi oleh asam kuat (HCL) ke dalam larutan MDEA yang telah menyerap CO₂ memiliki dua titik kesetimbangan dengan titik pertama pada pH sekitar 8.3 untuk merubah karbonat menjadi bikarbonat, dan titik kedua pada pH 3.2 untuk merubah seluruh bikarbonat menjadi gas CO₂. Oleh karena itulah digunakan indikator PP untuk mengetahui titik kesetimbangan pertama dan indikator MO untuk titik kesetimbangan kedua. (Hatcher, 2009)

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian Penangkapan CO₂ dengan Metode Absorpsi Reaktif ke dalam Larutan MDEA Berpromotor *Monosodium Glutamate* (MSG) menggunakan *Tray Column* ini bertujuan untuk memperoleh data CO₂ loading serta mempelajari pengaruh parameter kondisi operasi (temperatur dan konsentrasi promotor) pada proses absorpsi CO₂ ke dalam larutan MDEA dengan promotor *Monosodium Glutamate* (MSG) menggunakan *tray column*. Pada penelitian ini, bahan penelitian berupa Larutan MDEA diperoleh dari PT.Pertamina RU-IV Cilacap dengan konsentrasi 35% berat dan *Monosodium Glutamate* (MSG) diperoleh dari PT. Ajinomoto-Mojokerto Factory dengan spesifikasi *food grade* (*purity* 99.47%). Eksperimen dilakukan pada tekanan atmosferik, dengan variabel bebas adalah temperatur (30, 40, 50 & 60°C) dan konsentrasi promotor MSG (1, 2, 3, 4 & 5% berat). *Feed gas* merupakan campuran antara 15% berat gas CO₂ murni dan 85% udara dengan laju alir sebesar 81 Liter/menit. Sementara liquid absorbent larutan MDEA (35%) dengan variasi penambahan promotor akan masuk ke dalam *tray column* dengan laju alir sebesar 80 mL/menit.

Dari eksperimen, diperoleh sampel liquid absorbent (MDEA-MSG) yang telah menyerap CO₂ akan dianalisa dengan metode titrasi asam-basa menggunakan larutan HCL 0,833 N terstandarisasi sebagai titran dengan indikator *Phenolphthalein* (PP) dan *Methyl Orange* (MO). Besar CO₂ loading (mol CO₂/mol MDEA) pada larutan sampel akan dihitung menggunakan persamaan Hatcher (3.1). Hasil yang didapat dari metode titrasi ini telah dibandingkan dengan metode analisa menggunakan *Gas Chromatography* dengan rata-rata deviasi kurang dari 3%.

Dari hasil analisa diperoleh nilai CO₂ loading untuk masing-masing variabel percobaan seperti ditunjukkan pada **Tabel 4.1**. Berdasarkan data tersebut, terlihat bahwa temperatur operasi dan konsentrasi promotor MSG berpengaruh terhadap besar CO₂

loading dan % *recovery* dari proses absorpsi CO₂ ke dalam MDEA berpromotor MSG.

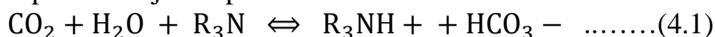
Tabel 4.1 CO₂ *Loading* untuk berbagai Kondisi Konsentrasi dan Temperatur

Konsentrasi promotor	Temperatur (°C)	CO ₂ <i>loading</i> (α)	Mol CO ₂ terabsorp (mol/min)	% <i>Recovery</i>
0%	30	0.144	0.034	6.82
	40	0.176	0.041	8.37
	50	0.248	0.058	11.78
	60	0.196	0.046	9.30
1%	30	0.188	0.044	8.95
	40	0.215	0.051	10.22
	50	0.282	0.067	13.42
	60	0.219	0.052	10.44
2%	30	0.195	0.046	9.34
	40	0.223	0.053	10.66
	50	0.304	0.072	14.51
	60	0.236	0.056	11.26
3%	30	0.198	0.047	9.52
	40	0.255	0.061	12.23
	50	0.344	0.082	16.52
	60	0.272	0.065	13.07
4%	30	0.254	0.061	12.23
	40	0.318	0.076	15.34
	50	0.391	0.093	18.86
	60	0.301	0.072	14.51
5%	30	0.369	0.089	17.88
	40	0.402	0.096	19.42
	50	0.449	0.100	21.73
	60	0.382	0.091	18.49

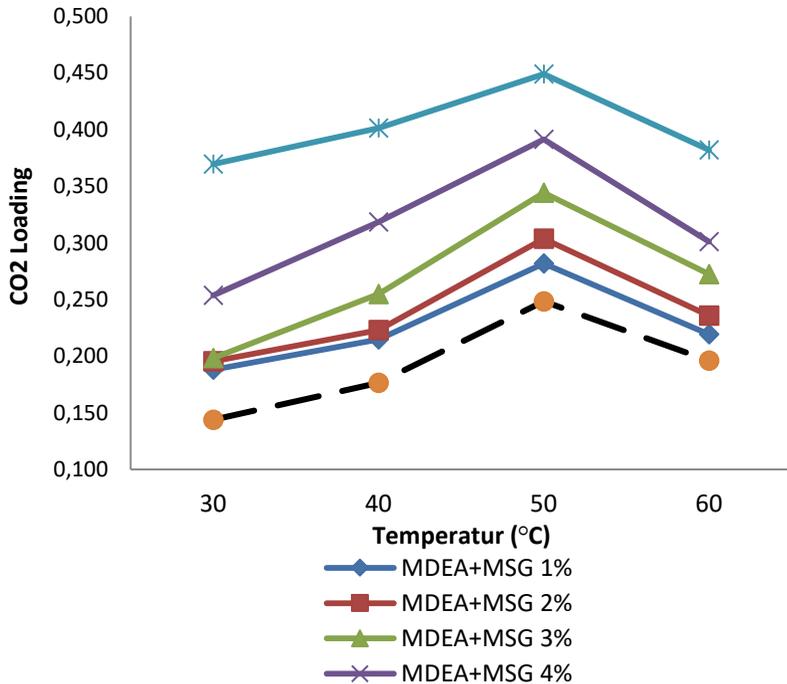
4.1 Pengaruh Kenaikan Temperatur terhadap Nilai CO₂ Loading

Berdasarkan data hasil analisa yang diperoleh seperti ditunjukkan grafik pada **Gambar 4.1**, terlihat bahwa temperatur operasi berpengaruh terhadap besarnya CO₂ loading dari proses absorpsi CO₂ menggunakan larutan MDEA berpromotor MSG. Besar CO₂ loading akan meningkat seiring kenaikan temperatur dan mencapai titik optimum pada temperatur 50°C, kemudian akan kembali menurun pada temperatur 60°C. Kenaikan temperatur memberikan dua efek terhadap absorpsi CO₂, yaitu meningkatkan kinetika laju reaksi sekaligus menurunkan kelarutan CO₂ di dalam MDEA.

Pada rentang temperatur 30-50°C, efek peningkatan kinetika laju reaksi mendominasi dalam proses reaksi penyerapan CO₂ ke dalam MDEA. Semakin panas temperatur operasi pada *tray column*, maka akan semakin cepat laju reaksi . (Bullin dan Polasek, 2006). Reaksi kesetimbangan antara CO₂ dan MDEA di dalam larutan akan membentuk senyawa bikarbonat dan karbonat seperti ditunjukkan persamaan berikut:



Peningkatan temperatur akan meningkatkan energi kinetik dari substansi yang bereaksi sehingga proses penyerapan CO₂ berjalan lebih cepat dan nilai CO₂ loading pun akan ikut meningkat. Peningkatan laju absorpsi CO₂ seiring kenaikan temperatur disebabkan oleh adanya pengaruh dari energi kinetik molekul-molekul zat yang bereaksi. Karena meningkatnya energi kinetik, maka gerakan antar molekul-molekul zat yang bereaksi menjadi semakin cepat dan nilai dari difusivitas larutan juga akan meningkat. (Lin dan Shyu, 1999).



Gambar 4.1 Grafik antara CO_2 loading vs Temperatur

Peningkatan temperatur akan meningkatkan energi kinetik dari substansi yang bereaksi sehingga proses penyerapan CO_2 berjalan lebih cepat dan nilai CO_2 loading pun akan ikut meningkat. Peningkatan laju absorpsi CO_2 seiring kenaikan temperatur disebabkan oleh adanya pengaruh dari energi kinetik molekul-molekul zat yang bereaksi. Karena meningkatnya energi kinetik, maka gerakan antar molekul-molekul zat yang bereaksi menjadi semakin cepat dan nilai dari difusivitas larutan juga akan meningkat. (Lin dan Shyu, 1999).

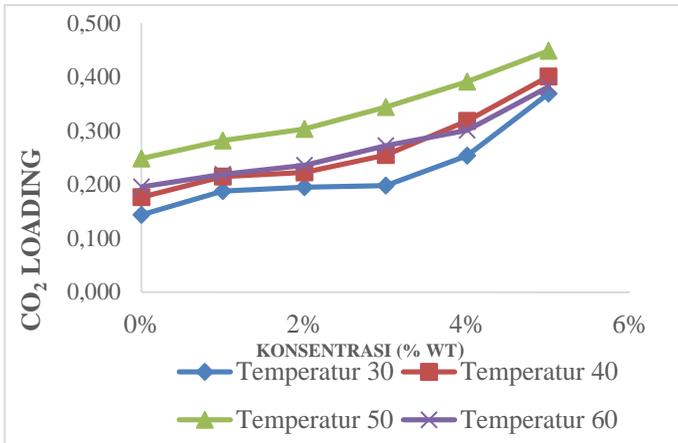
Akan tetapi, pada temperatur $60^\circ C$ efek kinetika laju reaksi sudah tidak mendominasi dalam reaksi penyerapan CO_2 ke dalam MDEA. Melainkan reaksi akan didominasi oleh pengaruh menurunnya kelarutan CO_2 ke dalam MDEA. Fenomena ini

terklarifikasi dengan penelitian oleh Lidal (1992) tentang kelarutan CO₂ pada rentang temperatur antara 30-70°C dalam berbagai larutan *alkanolamine* salah satunya MDEA yang menunjukkan bahwa kenaikan temperatur akan menurunkan kelarutan CO₂ di dalam MDEA seperti ditunjukkan pada **Tabel 2.3**.

Penurunan kelarutan CO₂ di dalam MDEA ini menyebabkan nilai CO₂ *loading* akan menurun pada temperatur 60°C. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Bullin dan Polasek (2006) yang menyatakan bahwa ketika *alkanolamine* mencapai temperatur 57-60°C, penurunan kelarutan CO₂ di dalam larutan *alkanolamine* akan menjadi faktor penghambat reaksi antara CO₂ dan *alkanolamine* sehingga besar CO₂ *loading* akan menurun.

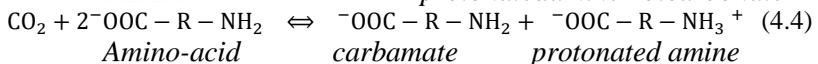
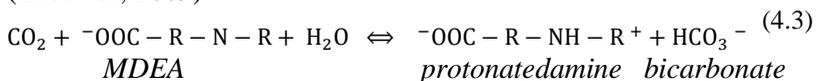
4.2 Pengaruh Kenaikan Konsentrasi Promotor terhadap Nilai CO₂ Loading

Berdasarkan data hasil analisa yang diperoleh seperti ditunjukkan grafik pada **Gambar 4.2**, terlihat pula bahwa konsentrasi promotor berpengaruh terhadap besarnya CO₂ *loading* dalam proses absorpsi CO₂ menggunakan larutan MDEA berpromotor MSG. Besar CO₂ *loading* akan meningkat seiring kenaikan konsentrasi promotor dan menunjukkan hasil terbaik pada konsentrasi 5% MSG. Namun untuk konsentrasi MSG 1-3% berat, CO₂ *loading* dari proses absorpsi pada temperatur 30°C menunjukkan nilai yang cenderung stabil dengan sedikit sekali perbedaan. Hal ini disebabkan karena absorpsi yang terjadi berlangsung sangat cepat sehingga efek dari kinetika reaksi tidaklah signifikan dan hanya transfer massa secara difusi yang terjadi (Pudjiastuti, 2015).



Gambar 4.2 Grafik antara CO_2 loading vs Konsentrasi promotor

Dari **Gambar 4.2** terlihat bahwa untuk semua temperatur operasi, absorpsi menggunakan MDEA dengan penambahan konsentrasi MSG memiliki nilai CO_2 loading yang lebih besar dibandingkan dengan absorpsi dengan pelarut MDEA tanpa promotor. Hal ini terjadi karena penambahan MSG sebagai promotor dalam pelarut MDEA akan bereaksi dengan CO_2 selayaknya *alkanolamine* primer yang memiliki laju absorpsi yang lebih cepat dibandingkan *alkanolamine* tersier. Sehingga dalam proses absorpsi, terjadi dua jalan reaksi yaitu reaksi antara MDEA dan CO_2 yang membentuk bikarbonat (4.3) dan reaksi antara asam amino dan CO_2 yang membentuk carbamate (4.4) (Brouwer, 2009)



Adanya penambahan promotor garam-asam amino dalam larutan MDEA akan berperan sebagai katalis yang dapat menurunkan energi aktivasi. Dengan menurunnya energi aktivasi, maka pada temperatur yang sama reaksi akan berlangsung lebih

cepat dan meningkatkan kinetika reaksi sehingga laju absorpsi CO₂ ke dalam MDEA juga ikut meningkat (Pudjiastuti, 2015). Asam amino merupakan promotor yang efektif untuk reaksi penyerapan CO₂ karena senyawanya yang bersifat basa lewis dengan kebasaaan tidak terlalu kuat ini sangat reaktif untuk bereaksi terhadap CO₂ (Thee, 2013).

MSG (*Monosodium Glutamate*) merupakan senyawa garam-asam amino primer paduan antara *Glutamic Acid* dan basa *Sodium Hidroksida*, dimana berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Majchrowcz (2014), asam amino *glutamic acid* dengan paduan basa *Potassium Hidroksida* menunjukkan reaktivitas kimia terhadap CO₂ yang besarnya sama seperti larutan *alkanolamine* primer (MEA). *Alkanolamine* primer memiliki laju absorpsi CO₂ yang lebih cepat dibandingkan MDEA. Sebagai amino primer layaknya MEA, MSG menyediakan sepasang elektron bebas dalam molekulnya yang membuat MEA sangat reaktif terhadap CO₂ (Thee, 2013).

Berbeda dengan *alkanolamine* primer dan sekunder yang membentuk karbamat ketika bereaksi dengan CO₂, MDEA sebagai *alkanolamine* tersier bereaksi dengan CO₂ membentuk ion bikarbonat. *Alkanolamine* tersier memiliki perbandingan mol 1:1 dengan CO₂ saat terjadi reaksi absorpsi sehingga memiliki kemampuan absorpsi yang lebih baik dari *alkanolamine* primer dan sekunder. Akan tetapi dikarenakan kurangnya ikatan N-H pada strukturnya menyebabkan laju absorpsi pada *alkanolamine* tersier menjadi berkurang sehingga perlu dikombinasikan dengan garam-asam amino atau *alkanolamine* dengan tipe primer atau sekunder (Thee, 2013). Oleh karena itu, penambahan MSG dalam jumlah kecil dapat memperbesar laju absorpsi MDEA tanpa mengurangi kelebihan yang dimiliki oleh MDEA sebagai *alkanolamine* tersier.

Berdasarkan hasil eksperimen, pada temperatur 50°C dengan penambahan konsentrasi MSG dari rentang 0-5% mengalami peningkatan CO₂ *loading* sebesar 81%. Secara keseluruhan, CO₂ *loading* mengalami kenaikan sebesar 212% dari

nilai terendah pada keadaan kons,entrasi 0% MSG dengan temperatur 30°C hingga nilai tertinggi pada keadaan konsentrasi 5% MSG dengan temperatur 50°C.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa CO_2 loading dari proses absorpsi CO_2 ke dalam larutan MDEA berpromotor MSG dengan variasi temperatur antara 30-60°C memiliki nilai antara 0.188-0.449. Perbandingan secara tidak langsung antara nilai CO_2 loading hasil eksperimen dengan literature dan penelitian sebelumnya ditunjukkan seperti pada tabel berikut:

Tabel 4.2 Nilai CO_2 Loading dari Literature

Konsentrasi Amine (% berat)	Temperatur (°C)	Acid Gas Loading	Sistem	Referensi
23.4, 48.9	25, 40, 70 100 120	0.001- 3.22	CO_2 – MDEA- H_2O	Jou <i>et al</i> (1982)
11.8, 20, 23.3	25, 37.8, 50, 65.6, 115.6	0.157- 1.0	CO_2 – MDEA- H_2O	Maddox <i>et al.</i> (1987)
35	40, 100	0.0001- 0.79	H_2S – CO_2 – MDEA- H_2O	Jou <i>et al</i> (1983a)
35	40, 100	0.002- 0.8	CO_2 – MDEA- H_2O	Jou <i>et al</i> (1983b)
23.3, 48.9	40	0.006- 0.842	CO_2 – MDEA- H_2O	Austgen <i>et al.</i> (1991)
23.3	40	0.12- 0.97	CO_2 – MDEA- H_2O	MacGregor and Mather (1991)

(Patil, 2006)

4.3 Perbandingan dengan Metode Analisa Gas Chromatography

Selain menganalisa CO₂ loading dari proses absorpsi CO₂ ke dalam MDEA berpromotor MSG menggunakan metode titrasi asam-basa, juga dilakukan analisa dengan metode *Gas Chromatography* untuk mengetahui komposisi CO₂ dalam campuran inlet dan outlet gas sebagai komparasi dari hasil analisa titrasi. Berdasarkan uji *Gas Chromatography* yang dilakukan di Lab Energi ITS, didapatkan hasil bahwa konsentrasi CO₂ pada gas masuk dan pada gas keluar untuk konsentrasi promotor 1% dan 5% masing-masing di temperatur 50 °C ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 4.3 Hasil Analisa *Gas Chromatography*

Nama Sample	% Berat	% Volume
Inlet Gas	22.80	16.72
Outlet Gas 1%	19.57	14.18
Outlet Gas 5%	18.76	13.57

Dari data tersebut, dapat dihitung dan dibandingkan nilai % recovery dari analisa metode *Gas Chromatography* dan dari metode analisa titrasi seperti ditunjukkan oleh tabel berikut:

Tabel 4.4 Perbandingan Nilai % Recovery

Nama Sample	% Recovery	
	<i>Gas Chromatography</i>	Titrasi
Outlet Gas 1%	15.14	13.42
Outlet Gas 5%	18.83	21.73

Adanya deviasi antara nilai % recovery yang diperoleh dari metode *Gas Chromatography* dan metode titrasi ini terjadi karena dalam perhitungan, ada perbedaan nilai komposisi CO₂ dalam inlet gas yang dijadikan sebagai basis perhitungan dimana untuk metode *Gas Chromatography*, komposisi CO₂ dalam inlet gas yang dipakai dalam perhitungan adalah 16.72% (**App. C**) sementara untuk metode titrasi digunakan komposisi CO₂ teoritis

dalam gas masuk adalah 15% (**App. B**). Jika basis komposisi CO₂ dalam feed gas disamakan menjadi 16.72%, maka deviasi antara keduanya menjadi kecil seperti ditunjukkan oleh **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Perbandingan Nilai % Recovery dengan basis 16.72% CO₂ pada Feed Gas

Variabel	% Recovery	
	<i>Gas Chromatography</i>	Titration
MSG 1%	15.14	12.04
MSG 5%	18.83	19.50

Seharusnya hasil analisa dengan *Gas Chromatography* menunjukkan hasil % recovery yang lebih besar dibandingkan hasil dengan titration seperti hasil yang ditunjukkan untuk variabel MSG 1% karena selama proses analisa titration, liquid sudah berkontak dengan udara sehingga sudah ada gas CO₂ yang lepas ke atmosfer. Hal inilah yang menyebabkan hasil analisa kandungan CO₂ yang berhasil diserap nilainya lebih kecil dibandingkan dengan hasil analisa *Gas Chromatography*. Sementara untuk variabel MSG 5%, nilai % recovery dari metode titration nilainya sedikit lebih besar dibandingkan hasil perhitungan uji *Gas Chromatography* karena disebabkan adanya kesalahan pengamatan dalam melakukan titration, dimana titran yang digunakan terlalu banyak sehingga menghasilkan perhitungan mol CO₂ terabsorpsi yang lebih besar.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari Penelitian Penangkapan CO₂ dengan Metode Absorpsi Reaktif ke dalam Larutan MDEA Berpromotor *Monosodium Glutamate* (MSG) menggunakan *Tray Column*, dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan *Monosodium Glutamate* (MSG) sebagai promotor pada proses absorpsi CO₂ kedalam larutan MDEA menggunakan *tray column* dapat meningkatkan nilai CO₂ *loading*, dimana hasil terbaik didapatkan pada konsentrasi promotor 5% berat dan temperatur 50°C dengan nilai CO₂ *loading* sebesar 0.449 mol CO₂/mol MDEA.
2. Dengan penambahan konsentrasi MSG dari rentang 0-5%, CO₂ *loading* mengalami peningkatan sebesar 81%.
3. Temperatur operasi berpengaruh terhadap nilai CO₂ *loading* dimana nilai CO₂ *loading* akan meningkat seiring dengan kenaikan temperatur hingga 50°C, dan akan menurun pada temperatur $\geq 60^\circ\text{C}$.
4. Secara keseluruhan, CO₂ *loading* mengalami kenaikan sebesar 212% dari nilai terendah pada keadaan konsentrasi 0% MSG dengan temperatur 30°C hingga nilai tertinggi pada keadaan konsentrasi 5% MSG dengan temperatur 50°C.

5.2 Saran

Adapun saran dan perbaikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah:

1. Melakukan studi kinetika proses Absorpsi CO₂ ke dalam larutan MDEA Berpromotor MSG untuk mendapatkan kinetika laju reaksi penyerapan CO₂ yang dapat digunakan sebagai data validasi untuk program simulasi.

2. Melakukan penelitian lebih lanjut mengenai absorpsi CO₂ ke dalam larutan MDEA Berpromotor MSG dengan rentang konsentrasi promotor 6-10% agar diperoleh data penambahan promtor optimum untuk proses.
3. Perlu adanya metode analisa lain untuk mengukur kadar CO₂ dalam gas yang keluar dari tray column secara kontinyu.
4. Mengganti dan memperbaiki desain dari perlatan tray column yang semula merupakan distillation column agar sesuai untuk proses absorpsi.

DAFTAR PUSTAKA

- Altway, A. (2008). Perpindahan massa disertai reaksi kimia. Jakarta: Bee Marketer Institut.
- Booth, N.J. (2005). “*Secondment to the international test centre for CO₂ capture (ITC)*”. Canada: University of Regina
- Brouwer, J.P et al. (2009). “*Amino-Acid salts for CO₂ Capture from Flue Gas*”. Netherlands: TNO Science & Industry.
- Camacho, F. et al. (2008). “*Kinetics of the Reaction of Pure CO₂ with N-Methyldiethanolamine in Aqueous Solutions*”. International Journal of Chemical Kinetics. 204-2014.
- Devries, N. P. (2014). “*CO₂ Absorption into Concentrated Carbonate Solution with Promoters at Elevated Temperature*”. Univsity of Illinois.
- Hatcher, N. A., and Weiland, R. H. (2009). “*Acid Gas Loading Error Analysis*”. Vail Colorado: Brimstone-STS- Sulphur Symposium.
- Holst, J. van; Kersten, S. R. A.; Hogendoorn, J. A. (2008). “*Physiochemical Properties of Several Aqueous Potassium Amino Acid Salts*”. J. Chem. Eng. Data
- Huttenhuis P.J.G., N.J. Agrawal a , J.A. Hogendoorn , G.F. Versteeg. (2006). “*Gas solubility of H₂S and CO₂ in aqueous solutions of N-methyldiethanolamine*”. University of Twente, Department of Chemical Engineering, The Netherlands.
- Hwang, K.-S.; Park, D.-W.; Oh, K.-J.; Kim, S.-S.; Park, S.-W. (2010). “*Chemical Absorption of Carbon Dioxide into Aqueous Solution of Potassium Threonate*”. SCI.Technology
- Kumar, P. S.; Hogendoorn, J. A.; Versteeg, G. F. (2003). “*Kinetics of The Reaction of CO₂ With Aqueous Potassium Salt of Taurine and Glycine*”. AIChEJ.

- Lerche, B. M. (2012). "*CO₂ Capture from Flue Gas Using Amino Acid Salt Solutions.*". Technical University of Denmark.
- Lidal, H. (1992). "*Carbon Dioxide Removal in Gas Treating Processes*". Trondheim: The Norwegian Institute of Technology.
- Lim, J.; Kim, D. H.; Yoon, Y.; Jeong, S. K.; Park, K. T.; Nam, S.C. (2012). "*Absorption of CO₂ into aqueous potassium salt solutions of L-alanine and L-proline.*". Energy Fuels.
- Lin, S.H and Shyu, C.T. (1999). "*Performance Characteristics and Modeling of Carbon Dioxide Absorption by Amines in a Packed Column*". Waste Management, 19, 255-262
- Majchrowicz, M. E. (2014) "*Amino Acid Salt Solutions for Carbon Dioxide Capture.*" University of Twente:Poland.
- Patil, P. *et al.* (2006). "*Prediction of CO₂ and H₂S Solubility in Aqueous MDEA Solutions using an Extended Kent and Eisenberg Model*". United Kingdom: IChemE Symposium Series No.152
- Polasek, J. dan Bullin, J.A., (1994), "*Selecting amines for sweetening units*", Proceedings GPA Regional Meeting,"Process Considerations in Selecting Amine" Tulsa, OK: Gas Processors Association.
- Pudjiastuti, L. *et al.* (2015). "*Kinetic Study of Carbon Dioxide Absorption into Glycine Promoted Diethanolamine (DEA)*". American Institute of Physics.
- Rao, A.B., and Rubin, E.S. (2002). A technical, economic, and environmental assessment of amine-based CO₂ capture technology for power plant greenhouse gas control (Technical Progress Report). West Virginia: National Energy Technology Laboratory

- Rinprasertmeechai, S., Sumaeth C., Pramoch R., and Santi K. (2012). "*Carbon Dioxide Removal From Flue Gas Using Amine-Based Hybrid Solvent Absorption*". International Journal of Chemical and Biological Engineering 6
- Shen, S.; Feng, X.; Zhao, R.; Ghosh, U. K.; Chen, A. (2013). "*Kinetic study of carbon dioxide absorption with aqueous potassium carbonate promoted by arginine*". Chem. Eng. J
- Shen, S.; Ya-nan, Y.; Gyang, B.; and Yue Z. (2016). "*Kinetics of CO₂ Absorption into Aqueous Basic Amino Acid Salt: Potassium Salt of Lysine Solution*". School of Chemical and Pharmaceutical Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 0 50018, * P.R China
- Thee, H.; Nicholas, N. J.; Smith, K. H.; da Silva, G.; Kentish, S.E.; Stevens, G. W. (2014) "*A Kinetic Study of CO₂ Capture with Potassium Carbonate Solutions promoted with Various Amino Acids: Glycine, Sarcosine and Proline*". Int. J. Greenhouse Gas Control
- Van Loo, S., Van Elk, E. P. , Versteeg, G. F. (2007). "*The Removal of carbon dioxide with activated solutions of methyl-diethanol-amine*", Netherlands : Journal of Petroleum Science and Engineering 55, 135-145.
- Wang, M., Lawal, A., Stephenson, P., (2011). Post-combustion CO₂ capture with chemical absorption: a state-of-the-art review. Chemical Engineering Research and Design, 89, 1609-1624
- 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

α	: CO_2 Loading (mol CO_2 /mol MDEA)
ρ	: Densitas (g/cm^3)
BM	: Berat Molekul (gram/mol)
n	: Mol (mol)
m	: Massa (kg)
N	: Normalitas
T	: Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
V	: Volume (ml)
X	: Fraksi mol

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

APPENDIKS A

A. Perhitungan Kebutuhan Pelarut

Kebutuhan pelarut dan promotor untuk setiap variabel percobaan dihitung dengan ketentuan sebagai berikut:

Densitas MDEA : 1.04 gr/cm³

Densitas MSG : 1.62 gr/cm³

Densitas Aquadest : 0.979 gr/cm³

Laju alir Gas : 81 Liter/menit

Laju alir liquid : 80 mL/menit

Spesifikasi Tray: - tinggi weir : 5 cm

- Luas penampang tray :
8.794 cm²

- Luas permukaan tray :
13.125 cm²

- Volume tray :
43.97 cm³

- Jumlah tray : 6 tray

- o Penentuan waktu tinggal pelarut dalam tray:

$$\begin{aligned}\text{Resident time} &= \frac{\text{volume tray}}{\text{flowrate absorben}} \times \text{jumlah tray} \\ &= \frac{43.97 \text{ cm}^3}{80 \text{ mL/menit}} \times 6 = 3.5 \text{ menit}\end{aligned}$$

Waktu steady state = 3 x resident time = 10.5 menit \approx 11 menit

Pengambilan sampel dilakukan tiap 2 menit sebanyak 3x ketika keadaan steady state, sehingga waktu total running teoritis adalah 17 menit.

- o Kebutuhan pelarut teoritis = flowrate absorben x waktu total running
= 80 mL/menit x 17 menit
= 1.3 Liter

Dengan excess 100%, kebutuhan pelarut untuk satu variabel konsentrasi dan 1 variabel temperature adalah = 1.3 L x 2 = 2.6 Liter \approx 3 liter

Karena ada 4 variabel temperature untuk satu variabel konsentrasi, maka kebutuhan minimal pelarut untuk satu variabel konsentrasi adalah = 3 L x 4 = 12 Liter

Ditetapkan kebutuhan pelarut untuk satu variabel konsentrasi (satu kali running) = 15 L

Tabel A.1 Kebutuhan Pelarut Untuk tiap Variabel Konsentrasi

Kebutuhan untuk satu jenis variabel Konsentrasi Promotor (4 variabel temperatur)	
Kebutuhan pelarut saat 1%	12 L
Kebutuhan pelarut saat 2%	12 L
Kebutuhan pelarut saat 3%	12 L
Kebutuhan pelarut saat 4%	12 L
Kebutuhan pelarut saat 5%	12 L
TOTAL	60.0 L

Tabel A.2 Persentase Berat Pelarut setiap Variabel

Variabel No.	Konsentrasi Absorbent (MDEA)	Konsentrasi Promotor (MSG)	Konsentrasi Aquadest
1	35%	1%	64%
2	35%	2%	63%
3	35%	3%	62%
4	35%	4%	61%
5	35%	5%	60%

*% menunjukan % berat

- Perhitungan densitas campuran larutan:

$$\frac{1}{\rho_{campuran\ i}} = \frac{\%MDEA}{\rho_{MDEA}} + \frac{\%MSG}{\rho_{MSG}} + \frac{\%Aquades}{\rho_{aquades}}$$

$$\rho_{campuran\ i} = \frac{1}{1/\rho_{campuran\ i}}$$

Contoh perhitungan:

$$\frac{1}{\rho_{campuran\ 1}} = \frac{35\ \%}{1.04} + \frac{1\ \%}{1.62} + \frac{64\ \%}{0.979}$$

$$= 0.99972503$$

$$\Leftrightarrow \rho_{campuran\ 1} = \frac{1}{1/\rho_{campuran\ 1}} = \frac{1}{1/0.995972503} = 1.0040\ \text{gr/cm}^3$$

Tabel A.3 Densitas Larutan setiap Variabel

No. Variable Konsentrasi	$1/\rho_{campuran}$	$\rho_{campuran}$	
1	0.995972503	1.0040	gr/cm^3
2	0.991938137	1.0081	gr/cm^3
3	0.98790377	1.0122	gr/cm^3
4	0.983869403	1.0164	gr/cm^3
5	0.979835036	1.0206	gr/cm^3

- Perhitungan massa larutan:

Untuk setiap variabel konsentrasi, massa larutan dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{massa larutan} = \text{Volume kebutuhan runing} \times \rho_{campuran}$$

Tabel A.4 Massa Larutan Tiap Variabel

No. Variable Konsentrasi	massa larutan	
1	12.04852539	kg
2	12.09752862	kg
3	12.14693209	kg
4	12.19674071	kg
5	12.24695949	kg
Total	60.7366863	

- o Perhitungan kebutuhan tiap komponen larutan:
Untuk tiap komponen dalam pelarut di setiap variabel
dihitungan dengan persamaan berikut:

$$massa_i = massa\ larutan \times \%w_i$$

Tabel A.5 Kebutuhan Pelarut tiap Variabel

Variabel	MDEA (kg)	MSG (kg)	Aquadest (kg)
1%	4.217	0.121	7.711
2%	4.234	0.242	7.621
3%	4.251	0.364	7.531
4%	4.269	0.488	7.440
5%	4.287	0.612	7.348
Total	21.258	1.827	39.744

B. Perhitungan Mol Gas Campuran pada Feed Gas

Perhitungan mol rate pada *Feed gas* yang masuk ke dalam tray column merupakan campuran antara gas *pure* CO₂ dan inert udara dengan ketentuan sebagai berikut:

Konsentrasi CO ₂	: 15%
Konsentrasi Udara	: 85%
$\rho_{gas\ campuran}$: 0.00342 gr/ cm ³
Flowrate campuran gas	: 81 Liter/menit
Flowrate CO ₂ (V)	: 12.15 Liter/menit = 12118.93 cm ³ /menit
Konstanta R	: 82.06 cm ³ .atm/mol K
Tekanan (P)	: 1 atm
Temperatur (T)	25 °C = 298K

- o Perhitungan mol rate CO₂ pada Feed Gas:

$$P \times V = n R T$$

$$n_{CO_2} = \frac{PV_{CO_2}}{RT} = \frac{1 \text{ atm} \times 12118.93 \frac{\text{cm}^3}{\text{menit}}}{82.06 \frac{\text{cm}^3 \text{ atm}}{\text{mol K}} \times 298 \text{ K}}$$
$$= 0.496 \frac{\text{mol}}{\text{menit}}$$

C. Perhitungan Mol rate MDEA pada setiap Variabel

Perhitungan mol rate MDEA untuk setiap variabel dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut:

Rate Absorben (\tilde{V}): 80 mL/menit

BM MDEA : 119.163 gram/mol

Densitas campuran absorben seperti ditunjukkan pada **Tabel A.3**

- o Mass rate campuran absorben dihitung dengan persamaan berikut:

$$\dot{m}_i = \rho_{campuran\ i} \times \tilde{V}$$

- o Mass rate MDEA dihitung dengan persamaan berikut:

$$\dot{m}_{MDEA\ i} = \dot{m}_i \times 35\%$$

Tabel A.6 Mass rate setiap variabel

Variabel	Mass rate (gr/menit)	Mass rate MDEA (gr/menit)
1%	80.32350263	28.11323
2%	80.65019082	28.22757
3%	80.97954724	28.34284
4%	81.31160472	28.45906
5%	81.64639662	28.57624

- Perhitungan mol rate MDEA dilakukan dengan persamaan berikut ini:

$$n_i = \frac{\dot{m}_{MDEA i}}{BM_{MDEA}}$$

Tabel A.7 Mol rate MDEA setiap variabel

Variabel	Mol rate MDEA (mol/menit)
1%	0.235922
2%	0.236882
3%	0.237849
4%	0.238825
5%	0.239808

APPENDIKS B

A. Data Hasil Percobaan

Tabel B.1 Data Hasil Analisa Titration Asam-Basa (dengan titran HCL 0.833 N)

Konsentrasi promotor	Temperatur (°C)	V HCL (mL)					
		Indikator PP			Indikator MO		
		1	2	3	1	2	3
0%	30	11.9	12.2	12.3	14.2	14.4	14.4
	40	11.7	11.8	11.7	14.7	14.5	14.9
	50	11.3	11.5	11.2	15.1	15.5	15.4
	60	11.5	11.6	11.5	14.8	14.6	14.8
	Amine strength	14.9	14.9	14.9	15.3	15.3	15.3
1%	30	15.4	15.3	15.3	17.9	18.3	18.2
	40	15.3	15.1	15.1	18.1	18.6	18.4
	50	14.6	14.4	14.6	18.7	18.9	18.6
	60	15.1	14.9	14.9	18.2	18.4	18.1
	Amine strength	17.1	17.1	17.1	15.3	15.3	15.3
2%	30	15.3	15.6	15.4	18.6	18.4	18.5
	40	15.1	15.2	15.2	18.8	18.6	18.6
	50	14.9	14.7	14.6	19.5	19.6	19.4
	60	15.6	15.4	15.3	19.1	19.2	19.1
	Amine strength	17.5	17.5	17.5	13.5	13.5	13.5
3%	30	15.5	15.7	15.5	18.6	18.8	18.4
	40	15.2	15.3	15.2	18.9	19.2	19.3
	50	14.8	14.4	14.5	19.8	19.9	19.8
	60	15.1	14.9	15.1	19.1	19.3	19.2
	Amine strength	16.6	16.6	16.6	15.3	15.3	15.3

4%	30	15.7	15.9	15.8	19.6	19.8	19.8
	40	15.5	15.3	15.2	20.1	20.3	20.4
	50	15.1	14.9	15.2	21.1	21.1	21.2
	60	15.6	15.9	15.5	20.2	20.4	20.4
	65	15.4	15.7	15.7	20.4	20.1	20.2
	Amine strength	16.8	16.9	16.8	18.9	19.2	19.1
5%	30	12.9	12.8	12.9	18.6	18.7	18.7
	40	12.7	12.6	12.6	19	18.9	18.8
	50	12.4	12.5	12.4	19.6	19.4	19.6
	60	13.0	13.3	13.2	19	19.3	19.1
	Amine strength	14.9	14.9	14.9	15.7	15.7	15.7

Tabel B.2. Data pH monitoring untuk Analisa Absorpsi CO₂ dengan Promotor MSG

Konsentrasi promotor	Temperatur (°C)	pH								
		Sampel Awal			Indikator PP			Indikator MO		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1%	30	9.96	9.86	9.86	8.54	8.53	8.53	3.23	3.24	3.20
	40	9.93	9.93	9.93	8.53	8.54	8.53	3.26	3.26	3.23
	50	9.90	9.90	9.90	8.56	8.54	8.55	3.33	3.36	3.35
	60	9.92	9.92	9.92	8.57	8.52	8.56	3.29	3.31	3.35
	Amine strength	10.12	10.12	10.12	8.53	8.54	8.53	3.33	3.35	3.31
2%	30	9.81	9.69	9.69	8.56	8.54	8.54	3.48	3.44	3.29
	40	9.79	9.79	9.79	8.56	8.56	8.57	3.45	4.43	3.33
	50	9.69	9.69	9.69	8.53	8.54	8.54	3.47	3.45	3.28
	60	9.78	9.78	9.78	8.55	8.55	8.54	4.38	3.51	3.24
	Amine strength	10.05	10.05	10.05	8.49	8.44	8.45	3.38	3.36	3.23
3%	30	10.01	10.01	10.01	8.51	8.50	8.50	3.39	3.33	3.42
	40	9.94	9.94	9.94	8.51	8.52	8.51	3.36	3.28	3.31
	50	9.87	9.87	9.87	8.55	8.52	8.53	3.3	3.31	3.3
	60	9.92	9.92	9.92	8.57	8.53	8.55	3.29	3.35	3.32

Konsentrasi promotor	Temperatur (°C)	pH								
		Sampel Awal			Indikator PP			Indikator MO		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
	Amine strength	10.38	10.38	10.38	8.5	8.52	8.48	3.22	3.24	3.23
4%	30	9.48	9.48	9.48	8.56	8.46	8.58	3.31	3.32	3.29
	40	9.47	9.46	9.47	8.54	8.41	8.58	3.29	3.28	3.33
	50	9.37	9.37	9.37	8.54	8.54	8.58	3.24	3.28	3.28
	60	9.37	9.37	9.37	8.56	8.54	8.54	3.24	3.28	3.24
	Amine strength	9.98	9.98	9.98	8.49	8.54	8.55	3.36	3.36	3.23
5%	30	9.83	9.69	9.69	8.56	8.54	8.58	3.48	3.44	3.29
	40	9.82	9.82	9.82	8.58	8.56	8.55	3.45	3.43	3.33
	50	9.69	9.69	9.69	8.53	8.54	8.54	3.47	3.45	3.28
	60	9.79	9.79	9.79	8.55	8.58	8.56	3.38	3.31	3.34
	Amine strength	10.05	10.05	10.05	8.49	8.54	8.53	3.38	3.36	3.23

B. Perhitungan CO₂ Loading

CO₂ loading dihitung dengan persamaan dari Hatcher (2009) berikut:

$$\text{CO}_2 \text{ loading} = \frac{V_{MO} - V_{PP}}{V_{M\text{initial}}}$$

Ketentuan:

- $V_{MO\text{ initial}}$ adalah volume titran HCL pada indikator MO dari titrasi sampel liquid absorbent sebelum menyerap CO₂ (*amine strength*)
- V_{MO} dan V_{PP} yang dipakai pada perhitungan adalah hasil rata-rata dari 3 sampel yang dititrasi.

Contoh Perhitungan:

CO₂ loading yang dihitung adalah untuk variabel temperatur 30°C dan konsentrasi MSG 1%.

$$\text{CO}_2 \text{ loading} = \frac{V_{MO} - V_{PP}}{V_{M\text{initial}}} = \frac{18.133 - 15.333}{14.9} = 0.188$$

Tabel B.3 Hasil Perhitungan CO₂ Loading

Konsentrasi promotor	Temperature (°C)	CO ₂ loading (α)
0%	30	0.144
	40	0.176
	50	0.248
	60	0.196
1%	30	0.188
	40	0.215
	50	0.282
	60	0.219
2%	30	0.195
	40	0.223
	50	0.304
	60	0.236
3%	30	0.198

Konsentrasi promotor	Temperature (°C)	CO ₂ loading (α)
	40	0.255
	50	0.344
	60	0.272
4%	30	0.254
	40	0.318
	50	0.391
	60	0.301
5%	30	0.369
	40	0.402
	50	0.449
	60	0.382

C. Perhitungan % Recovery

% Recovery dari proses absorpsi CO₂ ke dalam larutan MDEA berpromotor MSG menggunakan *tray column* ini dihitung dengan persamaan dan ketentuan berikut ini:

$$\% Recovery = \frac{mol\ CO_2\ terabsorb}{mol\ CO_2\ masuk}$$

Ketentuan: - Mol CO₂ masuk = 0.496 $\frac{mol}{menit}$

(Appendiks A)

- Mol CO₂ terabsorb dihitung dengan persamaan berikut:
 $CO_2\ terabsorb = CO_2\ loading \times mol\ MDEA$
 Dengan mol MDEA untuk setiap variabel seperti ditunjukkan pada Appendiks A.

Contoh Perhitungan:

- Mol CO₂ terabsorb yang dihitung adalah untuk variabel temperatur 30°C dan konsentrasi MSG 1%.

$$\begin{aligned}
 CO_2 \text{ terabsorb} &= CO_2 \text{ loading} \times \text{mol MDEA} \\
 &= 0.188 \frac{\text{mol } CO_2}{\text{mol MDEA}} \times 0.235922 \frac{\text{mol MDEA}}{\text{menit}} \\
 &= 0.04433 \text{ mol } CO_2/\text{menit}
 \end{aligned}$$

- % Recovery yang dihitung adalah untuk variabel temperatur 30°C dan konsentrasi MSG 1%.

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Recovery} &= \frac{\text{mol } CO_2 \text{ terabsorb}}{\text{mol } CO_2 \text{ masuk}} \\
 &= \frac{0.04433 \text{ mol } CO_2/\text{menit}}{0.496 \frac{\text{mol } CO_2}{\text{menit}}} \\
 &\times 100 \% \\
 &= 8.95 \%
 \end{aligned}$$

Tabel B.4 Hasil Perhitungan % *Recovery*

Konsentrasi promotor	Temperature (°C)	mol Amine (mol /min)	mol CO ₂ terabsorb (mol/min)	% <i>Recovery</i>
0%	30	0.235	0.034	6.82
	40	0.235	0.042	8.37
	50	0.235	0.058	11.78
	60	0.235	0.046	9.30
1%	30	0.236	0.044	8.95
	40	0.236	0.051	10.22
	50	0.236	0.067	13.42
	60	0.236	0.052	10.44
2%	30	0.237	0.046	9.34
	40	0.237	0.053	10.66
	50	0.237	0.072	14.51
	60	0.237	0.056	11.26
3%	30	0.238	0.047	9.52
	40	0.238	0.061	12.23
	50	0.238	0.082	16.52
	60	0.238	0.065	13.07
4%	30	0.239	0.061	12.23
	40	0.239	0.076	15.34
	50	0.239	0.093	18.86
	60	0.239	0.072	14.51
	65	0.239	0.071	14.41
5%	30	0.240	0.089	17.88
	40	0.240	0.096	19.42
	50	0.240	0.108	21.73
	60	0.240	0.092	18.49

APPENDIKS C

A. Hasil Analisa Gas Chromatography (GC)

Sampel yang dianalisa diambil pada kondisi temperature 50°C. Data dari hasil Analisis Laboratorium Energi LPPM ITS untuk kandungan CO₂ :

Tabel C.1. Hasil Analisa GC

Nama Sample	% Area CO ₂	% Area udara
Inlet Gas	21.56	78.44
Outlet Gas 1%	18.53	81.47
Outlet Gas 5%	17.77	82.23
CO ₂ Standar	94.69	5.31

Perhitungan untuk konversi komposisi gas CO₂ dari %Area menjadi % Berat:

$$\%Berat_i = \frac{\%Area_i}{\%Area\ CO_2\ standar} \times 100\%$$

Contoh perhitungan untuk sampel inlet gas:

$$\%Berat_{inlet\ gas} = \frac{21.56\ \%}{94.67\ \%} \times 100\% = 22.8\ \%$$

Perhitungan untuk konversi komposisi gas CO₂ dari % Berat menjadi % volume:

$$\%volume_i = \frac{\%Berat\ CO_{2i}/44}{\%Berat\ CO_{2i}/44 + (100\% - \%Berat\ CO_{2i}/29.9)} \times 100\%$$

Contoh perhitungan untuk sampel inlet gas:

$$\%volume_{inlet\ gas} = \frac{22.8\ \%/44}{22.8\ \%/44 + (77.2\ \%/29.9)} \times 100\% = 16.72\ \%$$

Tabel C.2. Hasil Analisa GC dalam % volume

Nama Sample	% Berat	% Volume
Inlet Gas	22.80	16.72
Outlet Gas 1%	19.57	14.18
Outlet Gas 5%	18.76	13.57

- Perhitungan % recovery:

$$\% \text{ CO}_2 \text{ terabsorb} = \% \text{inlet} - \% \text{outlet}$$

$$\% \text{ Recovery} = \frac{\% \text{CO}_2 \text{ terabsorb}}{\% \text{inlet}} \times 100\%$$

Contoh perhitungan untuk sampel Outlet Gas 1%:

$$\begin{aligned} \% \text{ Recovery} &= \frac{\% \text{CO}_2 \text{ terabsorb}}{\% \text{inlet}} \times 100\% = \frac{16.72 - 14.18}{16.72} \times 100\% \\ &= 15.14 \% \end{aligned}$$

Tabel C.3 % Recovery

Nama Sample	% recovery
Outlet Gas 1%	15.14
Outlet Gas 5%	18.83

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Ilham Dito Prasetyawan, lahir di Jakarta pada tanggal 12 September 1995. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuhnya yaitu SDI Al-Azhar 9 Kemang Pratama, SMP N 109 Jakarta, dan SMA N 81 Jakarta. Pada jenjang perkuliahan melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember jurusan Teknik Kimia angkatan 2013. Penulis memilih bergabung dalam Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa dan selanjutnya melakukan penelitian dengan judul **“Penangkapan CO₂ dari Flue Gas dengan Metode Absorpsi Reaktif ke dalam Larutan MDEA Berpromotor *Monosodium Glutamate* (MSG) menggunakan Tray Column”**. Selama kuliah, penulis aktif sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (HIMATEKK) ITS sebagai *staff of Entrepreneurship Development Department* (2014/2015) dan *Secion Head of Fundraising-Entrepreneurship Development Department* (2015/2016). Penulis pernah meraih prestasi sebagai Juara Pertama dan *Best Maket Presentation* dalam ajang *Smart Innovation of Writing, Engineering Physics Week 2017*.

Data Pribadi Penulis:

Nama : Ilham Dito Prasetyawan

Alamat : Jln.Pulo Sirih Barat 8 FE 442 Taman Galaxy, Bekasi

Telp : +62812 8894 8636

Email : ilhamdito@gmail.com

LinkedIn Akun: Ilham Dito Prasetyawan

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Rika Dwi Nanda, lahir di Kota Samarinda, Kalimantan Timur pada 07 Juli 1995. Anak kedua dari dua bersaudara ini pernah menempuh pendidikan formal di SD N 026 Samarinda, SMP N 15 Samarinda, SMA N 1 Samarinda, dan melanjutkan jenjang perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember jurusan Teknik Kimia angkatan 2013. Penulis memilih bergabung dalam Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa untuk melakukan penelitian dengan judul **“Penangkapan CO₂ dari Flue Gas dengan Metode Absorpsi Reaktif ke dalam Larutan MDEA Berpromotor *Monosodium Glutamate* (MSG) menggunakan Tray Column”**. Selama kuliah, penulis aktif sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (HIMATEKK) ITS sebagai *staff of Education and Student Proseprity Department* (2014/2015) dan *General Secretary* (2015/2016). Penulis pernah meraih prestasi sebagai Juara Pertama dan *Best Maket Presentation* dalam ajang *Smart Innovation of Writing*, Engineering Physics Week 2017.

Data Pribadi Penulis:

Nama : Rika Dwi Nanda

Alamat : Jln.Soekarno-Hatta RT.12 No.13, Samarinda

Telp : +62822 4519 0338

Email : rikadwinanda@gmail.com

LinkedIn Akun: Rika Dwi Nanda