

**DAMPAK DEGRADASI SOLVEN TERHADAP KINERJA
PENYERAPAN CO₂ PADA TEMPERATUR DAN TEKANAN
RUANG**

ICE-410 Laporan Penelitian

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar
sarjana di bidang Ilmu Teknik Kimia

oleh:

**Michael Dannish Prihartoni (6213100)
Yudiyanto (6213088)**

Pembimbing:

**Dr. Antonius Indarto
Ratna Frida Susanti, Ph.D.**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

2017



LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL : **DAMPAK DEGRADASI SOLVEN TERHADAP KINERJA
PENYERAPAN CO₂ PADA TEMPERATUR DAN TEKANAN RUANG**

CATATAN :

karena beban penelitian ^{yang benar} maka rangkaian penelitian dan penulisan dilakukan dua orang

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Bandung, Juli 2017

Pembimbing Utama

Dr. Antonius Indarto

Pembimbing Kedua

Ratna Frida Susanti, Ph.D.

JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Michael Dannish Prihartoni

Nama : Yudiyanto

NRP : 6213100

NRP : 6213088

Dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul :

**DAMPAK DEGRADASI SOLVEN TERHADAP KINERJA PENYERAPAN CO₂ PADA
TEMPERATUR DAN TEKANAN RUANG**

adalah hasil pekerjaan saya, dan seluruh ide, pendapat, materi dari sumber lain, telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan maka saya bersedia menanggung sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, Juli 2017

Michael Dannish Prihartoni

(6213100)

Yudiyanto

(6213088)



LEMBAR REVISI

**JUDUL : DAMPAK DEGRADASI SOLVEN TERHADAP KINERJA
PENYERAPAN CO₂ PADA TEMPERATUR DAN TEKANAN RUANG**

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Bandung, Juli 2017

Penguji I

Tedi Hudaya, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.

Penguji II

Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan penyertaan-Nya sehingga laporan penelitian dengan judul “DAMPAK DEGRADASI SOLVEN TERHADAP KINERJA PENYERAPAN CO₂ PADA TEMPERATUR DAN TEKANAN RUANG” dapat terselesaikan dengan baik. Laporan penelitian ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat pendidikan sarjana Strata-1 Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

Dalam proses penyusunan proposal penelitian ini, penulis mendapat banyak bantuan dukungan dan ilmu pengetahuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Antonius Indarto dan Ratna Frida Susanti, Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, saran dan waktu selama penyusunan proposal penelitian ini.
2. Dr. Ing. Ir. Danu Ariono, DEA dan Prof. Dr. Ir. Mubiar Purwasasmita, DEA selaku Kepala Laboratorium Teknologi Pemisahan dan Pemurnian, Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung dan perwakilan kepala laborototium, atas izin kerja saat melakukan penelitian baik di dalam jadwal ataupun di luar jadwal jam kerja.
3. Dr. Anggit Raksajati, Kak Yestria, dan Mas Agus, yang telah membantu dan mendukung penulis maupun memberi masukan dalam melakukan penelitian.
4. PT Rekayasa Industri atas seluruh peralatan laboratorium yang disediakan.
5. Hans Kristianto, S.T., M.T. dan Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng., selaku koordinator proposal dan penelitian pada periode ganjil dan genap 2016 / 2017 yang telah memberi pengarahan dan saran selama penyusunan laporan penelitian ini.
6. Orang tua dan keluarga atas doa dan dukungan yang telah diberikan.
7. Teman – teman Teknik Kimia Unpar yang telah memberikan semangat dan dukungan.
8. Segenap civitas akademika teknik kimia Universitas Katolik Parahyangan dan Institut Teknologi Bandung yang telah mendukung penulis dalam melakukan penelitian.

9. Semua pihak yang secara langsung dan tidak langsung telah membantu dalam penyusunan proposal penelitian sehingga dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari jika laporan penelitian ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun dari pembaca sehingga dapat menjadi bekal dalam perbaikan laporan penelitian ini. Penulis berharap semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandung, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
LEMBAR REVISI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
INTISARI	xvii
ABSTRACT	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tema Sentral Masalah.....	2
1.3 Identifikasi Masalah.....	2
1.4 Premis.....	3
1.5 Hipotesis.....	7
1.6 Tujuan Penelitian	7
1.7 Manfaat Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Karbon Dioksida (CO ₂).....	9
2.2 Gas CO ₂ pada Stasiun Pembangkit Listrik (<i>Power Plant</i>)	9
2.3 Teknik Penangkapan Gas CO ₂ pada Stasiun Pembangkit Listrik	10
2.3.1 <i>Pre – Combustion Capture</i>	10

2.3.2 <i>Post – Combustion Capture</i>	11
2.3.3 <i>Oxy – Fuel Combustion Capture</i>	11
2.4 Pemisahan Gas CO ₂ pada Stasiun Pembangkit Listrik.....	12
2.4.1 Absorpsi	12
2.4.2 Adsorpsi	14
2.4.3 Distilasi Kriogenik	14
2.4.4 Membran	14
2.5 Gas CO ₂ pada Proses Pengilangan Gas Alam	15
2.6 Degradasi Solven Berbasis Amina.....	18
2.7 Analisis Kuantitatif Menggunakan <i>Online Weight Measurement</i>	18
2.8 Analisis Kualitatif Menggunakan FTIR (<i>Fourier Transform Infrared</i>)	19
2.9 Analisis dengan <i>Gaussian09.d01</i>	19
2.10 Penelitian Terkait	20
2.10.1 Pemisahan H ₂ S – CO ₂ dengan [BMIM][Br] pada Temperatur dan Tekanan Ruang (Handy, dkk., 2014).....	20
2.10.2 Degradasi Oksidatif Alkaloamina pada Proses Penyerapan CO ₂ (Lee, I. Y., dkk., 2013).....	21
2.10.3 Degradasi Larutan Metildietanolamin (MDEA) dengan Oksigen dan Panas (Closmann, F. dan Rochelle, T., 2011)	22
2.10.4 Degradasi Termal Larutan Monoetanolamin (MEA) pada Kondisi <i>Stripper</i> (Davis, J. dan Rochelle G., 2009)	23
2.10.5 Degradasi Metildietanolamin (MDEA) - Kinetika dan Mekanisme (Meisen, A. dan Chakma, A., 1997)	24

BAB III BAHAN DAN METODE PENELITIAN	26
3.1 Bahan – Bahan Penelitian.....	26
3.2 Peralatan – Peralatan Penelitian.....	26
3.3 Metode Penelitian.....	27
3.4 Prosedur Penelitian.....	30
3.4.1 Pembuatan dan Penyediaan Solven.....	30
3.4.2 Penentuan Kelarutan CO ₂ dalam Berbagai Solven pada Temperatur dan Tekanan Ruang.....	31
3.4.3 Penentuan Kelarutan CO ₂ dalam Berbagai Solven pada Temperatur dan Tekanan Ruang Setelah Pemanasan Temperatur Tinggi.....	32
3.4.4 Penentuan Kelarutan CO ₂ dalam Berbagai Solven pada Temperatur dan Tekanan Ruang Setelah Dikontakkan dengan O ₂	33
3.4.5 FTIR.....	34
3.4.5 <i>Gaussian09.d01</i>	34
3.5 Analisis dan Pengolahan Data.....	35
3.5.1 Metode Analisis <i>Online Weight Measurement</i>	35
3.5.2 Perhitungan Laju Degradasi.....	35
3.5.3 Metode Analisis Kualitatif FTIR.....	36
3.6 Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian.....	36
BAB IV PEMBAHASAN	37
4.1 Uji Kelarutan.....	37
4.1.1 MDEA.....	39
4.1.2 Campuran 1.....	39

4.1.3 MEA.....	40
4.2 Degradasi Termal.....	46
4.2.1 MDEA dan Campuran 1.....	49
4.2.2 MEA.....	52
4.3 Degradasi Oksidatif.....	53
4.3.1 MDEA dan Campuran 1.....	55
4.3.2 MEA.....	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	59
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....	60
LAMPIRAN A <i>Material Safety Data Sheet</i>.....	64
A.1 MEA (<i>Science-Lab</i>).....	64
A.2 MDEA (<i>The Dow Chemical Company</i>).....	65
A.3 Campuran 1 (<i>The Dow Chemical Company</i>).....	66
A.4 Campuran 2 (<i>Merck</i>).....	67
A.5 CO ₂ (<i>Air Liquide</i>).....	68
A.6 O ₂ (<i>Praxair</i>).....	68
LAMPIRAN B DATA PERCOBAAN DAN HASIL ANTARA.....	70
B.1 Uji Kelarutan CO ₂	70
B.2 Degradasi Termal.....	78
B.3 Degradasi Oksidatif.....	85
B.4 Laju Degradasi Termal.....	92
B.5 Laju Degradasi Oksidatif.....	95

LAMPIRAN C GRAFIK	99
C.1 Uji Kelarutan CO ₂	99
C.2 Kelarutan CO ₂ Setelah Degradasi Termal	100
C.3 Kelarutan CO ₂ Setelah Degradasi Oksidatif	101
C.4 Analisis FTIR	102
LAMPIRAN D CONTOH PERHITUNGAN	105
D.1 Kandungan CO ₂ dalam Solven	105
D.2 Laju Degradasi	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Teknik Penangkapan Gas CO ₂ (IPCC, 2005)	12
Gambar 2.2	Diagram Skematik Proses Pemisahan <i>Flue Gas</i> dengan Solven Berbasis Amina (IPCC, 2005).....	13
Gambar 2.3	Diagram Skematik Proses Pemisahan Gas Pengasam dengan Solven Berbasis Amina (Kohl & Nielsen, 1997).....	16
Gambar 2.4	Grafik Konsentrasi Relatif MEA dan MDEA akibat degradasi O ₂ (Lee, I. Y., dkk., 2013).....	22
Gambar 2.5	Grafik Laju Pembentukan Produk Degradasi MDEA akibat Degradasi O ₂ dan Panas (Closmann, F. dan Rochelle T., 2011).....	23
Gambar 2.6	Grafik Laju Penurunan MEA dan Produk Samping yang Terbentuk (Davis J. dan Rochelle G., 2009).....	24
Gambar 2.7	Grafik Fungsi Konsentrasi MDEA Terhadap Waktu dan Temperatur (Meisen, A. dan Chakma, A., 1997).....	25
Gambar 3.1	Skema Rangkaian Alat Penyerapan Gas CO ₂ dan Degradasi Solven secara Oksidatif dan Termal.....	27
Gambar 3.2	Diagram Alir Metode Penelitian.....	30
Gambar 3.3	Diagram Alir Penentuan Kelarutan CO ₂ dalam Berbagai Solven pada Temperatur dan Tekanan Ruang.....	31
Gambar 3.4	Diagram Alir Penentuan Kelarutan CO ₂ dalam Berbagai Solven pada Temperatur dan Tekanan Ruang Setelah Dikontakkan dengan O ₂	32

Gambar 3.5	Diagram Alir Penentuan Kelarutan CO ₂ dalam Berbagai Solven pada Temperatur dan Tekanan Ruang Setelah Dipanaskan dengan Temperatur Tinggi.....	38
Gambar 4.1	Kelarutan CO ₂ dalam Berbagai Solven pada Tekanan dan Temperatur Ruang (700 mmHg dan 26 °C).....	38
Gambar 4.2	Struktur Kimia dari MEA (Kohl & Nielsen, 1997).....	41
Gambar 4.3	Struktur Kimia dari MDEA (Kohl & Nielsen, 1997).....	42
Gambar 4.4	Struktur Kimia Piperazin (Alvis, dkk., 2012).....	43
Gambar 4.5	Struktur Atom dari Sulfolan (Stewart dan Minnear, 2010).....	46
Gambar 4.6	Kelarutan CO ₂ Setelah Degradasi Termal dalam Berbagai Solven pada Tekanan dan Temperatur Ruang (700 mmHg dan 26 °C).....	47
Gambar 4.7	Mekanisme Degradasi Termal MDEA.....	51
Gambar 4.8	Profil Energi Degradasi Termal MDEA.....	51
Gambar 4.9	Spektrum FTIR MDEA dan MEA Sebelum dan Sesudah Didegradasi Termal.....	53
Gambar 4.10	Kelarutan CO ₂ Setelah Degradasi Oksidatif dalam Berbagai Solven pada Tekanan dan Temperatur Ruang (700 mmHg dan 26 °C).....	54
Gambar 4.11	Spektrum FTIR MDEA dan MEA Sebelum dan Sesudah Didegradasi Oksidatif.....	58
Gambar C.1	Kelarutan CO ₂ dalam Berbagai Solven pada Tekanan dan Temperatur Ruang (700 mmHg dan 26 °C).....	99
Gambar C.2	Kelarutan CO ₂ Setelah Degradasi Termal dalam Berbagai Solven pada Tekanan dan Temperatur Ruang (700 mmHg dan 26 °C).....	100

Gambar C.3	Kelarutan CO ₂ Setelah Degradasi Oksidatif dalam Berbagai Solven pada Tekanan dan Temperatur Ruang (700 mmHg dan 26 °C).....	101
Gambar C.4	Hasil Analisis FTIR MDEA Standar.....	102
Gambar C.5	Hasil Analisis FTIR MDEA Setelah Degradasi Termal.....	102
Gambar C.6	Hasil Analisis FTIR MDEA Setelah Degradasi Oksidatif.....	103
Gambar C.7	Hasil Analisis FTIR MEA Standar.....	103
Gambar C.8	Hasil Analisis FTIR MEA Setelah Degradasi Termal.....	104
Gambar C.9	Hasil Analisis FTIR MEA Setelah Degradasi Oksidatif.....	104

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat Fisik CO ₂ (Sujatnika & Awalia, 2013).....	9
Tabel 2.2	Perbandingan Pelarut Berbasis Amin (Patria, 2011 dan Maddox, 1982).....	17
Tabel 3.1	Jenis Solven yang Digunakan.....	28
Tabel 3.2	Jadwal Kerja Penelitian.....	36
Tabel 4.1	Kelarutan CO ₂ dan Laju Degradasi Termal Tiap Solven saat Mulai Jenuh.....	48
Tabel 4.2	Kelarutan CO ₂ dan Laju Degradasi Oksidatif Tiap Solven saat Mulai Jenuh.....	55
Tabel B.1	Uji Kelarutan CO ₂ Pada MDEA Murni.....	70
Tabel B.2	Uji Kelarutan CO ₂ Pada Campuran 1 Murni.....	71
Tabel B.3	Uji Kelarutan CO ₂ Pada MEA Murni.....	72
Tabel B.4	Uji Kelarutan CO ₂ Pada MDEA 20 % - w.....	74
Tabel B.5	Uji Kelarutan CO ₂ Pada Campuran 1 20 % - w.....	75
Tabel B.6	Uji Kelarutan CO ₂ Pada MEA 20 % - w.....	76
Tabel B.7	Uji Kelarutan CO ₂ Pada Campuran 2.....	77
Tabel B.8	Degradasi Termal Pada MDEA Murni.....	78
Tabel B.9	Degradasi Termal Pada Campuran 1 Murni.....	79
Tabel B.10	Degradasi Termal Pada MEA Murni.....	80
Tabel B.11	Degradasi Termal Pada MDEA 20 % - w.....	82
Tabel B.12	Degradasi Termal Pada Campuran 1 20 % - w.....	83
Tabel B.13	Degradasi Termal Pada MEA 20 % - w.....	84

Tabel B.14	Degradasi Oksidatif Pada MDEA Murni.....	85
Tabel B.15	Degradasi Oksidatif Pada Campuran 1 Murni.....	86
Tabel B.16	Degradasi Oksidatif Pada MEA Murni.....	87
Tabel B.17	Degradasi Oksidatif Pada MDEA 20 % - w.....	88
Tabel B.18	Degradasi Oksidatif Pada Campuran 1 20 % - w.....	90
Tabel B.19	Degradasi Oksidatif Pada MEA 20 % - w.....	91
Tabel B.20	Laju Degradasi Termal MDEA 20 % - w.....	92
Tabel B.21	Laju Degradasi Termal Campuran 1 20 % - w.....	93
Tabel B.22	Laju Degradasi Termal MEA 20 % - w.....	94
Tabel B.23	Laju Degradasi Oksidatif MDEA 20 % - w.....	95
Tabel B.24	Laju Degradasi Oksidatif Campuran 1 20 % - w.....	96
Tabel B.25	Laju Degradasi Oksidatif MEA 20 % - w.....	98

INTISARI

Penyerapan CO₂ menggunakan pelarut amina adalah teknologi yang paling banyak digunakan dalam aplikasi pemisahan CO₂ komersial. Emisi gas CO₂ paling banyak dihasilkan dari sektor pembangkitan listrik dan sektor industri (pengilangan gas alam). Pelarut berbasis amina, seperti monoetanolamina (MEA), metil dietanolamina (MDEA), atau campuran amina, adalah pelarut yang paling banyak digunakan dalam aplikasi pemisahan CO₂ atau gas asam seperti H₂S komersial. Pelarut komersial ini memiliki berbagai kelemahan, seperti adanya kemungkinan pelarut terdegradasi secara termal akibat suhu tinggi ataupun secara oksidatif akibat adanya gas O₂.

Penelitian ini menguji dampak degradasi termal dan degradasi oksidatif terhadap kinerja penyerapan CO₂ dengan menggunakan pelarut amina. Dampak degradasi termal dilakukan dengan mengukur kelarutan CO₂ pelarut yang telah dipanaskan sampai 120 ° C selama dua jam. Sementara dampak degradasi oksidatif dilakukan dengan mengukur kelarutan CO₂ pelarut yang telah dialirkan gas O₂ sambil dipanaskan pada temperatur 60 ° C selama 2 jam. Sebagai perbandingan hasil kinerja penyerapan CO₂ sesudah perlakuan degradasi akan dibandingkan dengan uji kelarutan CO₂ larutan berbasis amina yang belum didegradasi. Uji kelarutan akan dilakukan dengan penimbangan pelarut sambil mengumpalkan gas CO₂. Selanjutnya hasil percobaan akan dianalisa dengan FTIR dan kemungkinan mekanisme maupun produk degradasi untuk hasil degradasi termal akan dimodelkan dengan *Gaussian09.d01* dengan menggunakan *Density Functional Theory* (DFT) dengan metode M062X dan *basis - set* 6-31G(d) melalui perhitungan energi bebas Gibbs.

Secara umum perlakuan degradasi termal maupun oksidatif terhadap performansi pelarut yang digunakan mengalami perubahan namun perbedaan yang terdeteksi tidak terlalu signifikan signifikan saat pelarut mulai jenuh. Hasil FTIR dan *Gaussian09.d01* menunjukkan produk yang diduga dari degradasi termal MDEA adalah MEA dan aseton sementara produk yang diduga dari degradasi termal MEA adalah amonia dan asetaldehid. Sedangkan hasil FTIR dari degradasi oksidatif MDEA dan MEA menunjukkan timbulnya gugus – gugus fungsi baru.

Kata kunci : pemisahan gas asam, penyerapan CO₂, pelarut berbasis amina, degradasi pelarut

ABSTRACT

The absorption of CO₂ using amine solvents is the most widely used technology in commercial CO₂ separation applications. CO₂ emissions are mostly generated from power generation and industrial sectors (natural gas refineries). Amine-based solvents, such as monoethanolamine (MEA), methyl diethanolamine (MDEA), or amine mixtures, are the most widely used solvents in CO₂ or acid gas separations such as commercial H₂S. These commercial solvents have various disadvantages, such as the possibilities of the solvents to be degraded due to high temperature operations (thermal degradation) or in the presences of O₂ gas (oxidative degradation).

This study examined the impact of thermal degradation and oxidative degradation on the absorption performance of CO₂ by using various amine solvents. The impact of thermal degradation is done by measuring CO₂ solubilities in the solvents that has heated to 120 °C for two hours. While the impact of oxidative degradation is done by measuring CO₂ solubilities in the solvents that has bubbled O₂ gas while heated at 60 °C for 2 hours. For benchmarking, the results of CO₂ absorption performance after degradation treatment will be compared with fresh solvents absorption performance before the degradation treatment. The solubility test will be carried out by weighing the solvent while bubbling CO₂ gas. Further experimental results will be analyzed with FTIR and possible mechanisms and degradation products for thermal degradation results will be modeled with *Gaussian09.d01* by using Density Functional Theory (DFT) with M062X and basis-set method 6 - 31G (d) through Gibbs free energy calculation.

In general, thermal and oxidative degradation treatments on the solvent performance used to changed but the detected differences were not significant when the solvent started to saturate. FTIR and *Gaussian09.d01* results show suspected products of thermal degradation of MDEA are MEA and acetone, otherwise The suspected products of thermal degradation of MEA are amonia and acetaldehyde. While FTIR results from oxidative degradation of MDEA and MEA indicate the emergence of new functional groups.

Keyword : acid gas removal, CO₂ absorption, amine-based solvents, solvent degradation

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyerapan CO₂ menggunakan pelarut amina adalah teknologi yang paling banyak digunakan dalam aplikasi pemisahan CO₂ komersial. Emisi gas CO₂ dapat dihasilkan melalui banyak sektor seperti, sektor pembangkitan listrik, sektor transportasi, sektor industri, maupun hasil dari respirasi makhluk hidup. Sektor penyumbang emisi CO₂ terbesar di Indonesia dihasilkan oleh pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil dan industri pengolahan minyak dan gas bumi dengan total emisi sebesar 17,5 juta ton per tahun (Best, D., dkk., 2011).

Dalam aplikasi pengolahan gas alam, CO₂ perlu dipisahkan untuk mencapai spesifikasi gas jual (*sales gas*) dengan batas konsentrasi CO₂ di bawah rentang 4 – 6 %. Selain itu, dengan mengurangi kandungan CO₂ dalam gas alam, energi pemanasan gas dapat diturunkan sekaligus mengurangi laju korosi pada pipa dan fasilitas lainnya. Sementara dalam penangkapan CO₂ dari *flue gas* yang dihasilkan dari sektor pembangkit listrik, CO₂ dipisahkan dari sumber emisi untuk selanjutnya diinjeksikan ke tempat penyimpanan di dalam lapisan perut bumi (*Carbon Capture Storage / CCS*). Hal ini dilakukan untuk menurunkan tingkat emisi CO₂ dari pembangkit listrik tenaga bahan bakar fosil skala besar atau proses industri lainnya.

Pelarut cair yang umum digunakan untuk memisahkan CO₂ adalah pelarut berbasis amina seperti monoetanolamina (MEA), metil dietanolamina (MDEA), maupun campuran berbagai amina lainnya. MEA adalah pelarut yang paling banyak digunakan dalam aplikasi industri karena pelarut ini dapat digunakan untuk kondisi tekanan rendah dan memiliki harga yang relatif lebih murah dibanding pelarut lainnya (Islam, M. S., 2010). Sementara itu, MDEA biasa digunakan untuk memisahkan gas alam yang mengandung pengotor H₂S yang relatif besar, karena MDEA memiliki selektifitas penyerapan H₂S / CO₂ yang tinggi dan kapasitas penyerapan CO₂ yang besar (Kohl & Nielsen, 1997). Dalam praktiknya, pelarut ini memiliki beberapa kelemahan yaitu adanya degradasi pada pelarut berbasis amina akibat dari

temperatur operasi tinggi ataupun karena adanya agen pengoksidasi seperti oksigen dalam campuran gas (Islam, M. S., 2010). Penurunan performa pelarut berbasis amina akibat temperatur operasi yang tinggi biasa disebut degradasi termal sementara penurunan performa pelarut akibat adanya kandungan oksigen disebut degradasi oksidatif. Operasi pada temperatur tinggi tidak dapat dihindari karena proses ini bertujuan untuk melepaskan CO₂ yang diserap dari pelarut dalam unit regenerator. Sementara pengotor seperti oksigen, merupakan kandungan campuran gas yang terbawa akibat karakteristik gas umpan masuk dalam pengolahan gas alam ataupun merupakan sisa reaktan yang tidak habis bereaksi dalam industri pembangkit listrik.

1.2 Tema Sentral Masalah

Degradasi amina selama proses pengolahan gas CO₂ adalah fenomena kompleks yang menghasilkan sejumlah produk berbeda dan belum sepenuhnya dapat dikarakterisasi maupun dikuantifikasi. Pada fenomena degradasi termal pelarut berbasis amina, proses degradasi dihasilkan dari gabungan dari temperatur operasi yang tinggi dan akibat adanya kandungan CO₂ dalam pelarut. Meskipun demikian degradasi pada temperatur tinggi tanpa adanya kandungan CO₂ dalam pelarut, memiliki dampak dalam proses degradasi termal yang terjadi (Chakma, A. dan Meisen, A., 1997).

Sejauh ini belum ada penelitian yang mengilustrasikan dampak degradasi termal tanpa adanya kandungan CO₂ terhadap pelarut berbasis amina pada performa penyerapan CO₂. Selain itu dalam bagian degradasi termal juga akan dilakukan pemodelan secara struktur untuk memprediksi jalur reaksi serta kemungkinan produk samping yang terbentuk secara komputasi.

Sementara pada bagian degradasi oksidatif pada pelarut berbasis amina, akan dilangsungkan dengan mengumpankan O₂ tanpa adanya kandungan CO₂. Performa pelarut berbasis amina ini akan ditinjau sebelum dan sesudah mengalami proses degradasi. Penelitian ini dilangsungkan pada kondisi temperatur dan tekanan ruang sebagai pertimbangan aplikasi penggunaan absorpsi CO₂ pada proses *post – combustion* dalam industri pembangkit listrik.

1.3 Identifikasi Masalah

Berdasarkan tema sentral masalah, beberapa hal yang dapat diidentifikasi pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana kelarutan CO₂ dalam masing – masing solven (MEA, MDEA, dan campuran amina) pada temperatur dan tekanan ruang ?
2. Bagaimana performansi penyerapan CO₂ dalam masing – masing solven (MEA, MDEA, dan campuran amina) pada temperatur dan tekanan ruang setelah masing – masing solven mengalami degradasi termal tanpa CO₂ selama waktu tertentu ?
3. Bagaimana performansi penyerapan CO₂ dalam masing – masing solven (MEA, MDEA, dan campuran amina) pada temperatur dan tekanan ruang setelah masing – masing solven mengalami degradasi oksidatif selama waktu tertentu ?

1.4 Premis

Melalui hasil studi literatur dari beberapa penelitian terdahulu yang terkait, dapat ditarik beberapa premis sebagai berikut.

Sumber	Degradasi	Solven	Kondisi Operasi	Hasil dan Analisis
Handy, dkk. (2014)	-	MDEA MDEA dengan Aktivator [BMIM][Br]	Temperatur 26 °C, Tekanan 700 mmHg, Laju Alir CO ₂ 100 ± 5 mL / menit	Kelarutan CO ₂ dalam MDEA, MDEA dengan aktivator, dan [BMIM][Br] masing - masing 0.1392; 0.0313 dan 0.0090 mol/mol solven berturut - turut
Lee, I. Y., dkk. (2013)	Oksidatif	30% (w) MEA 30% (w) MDEA	Temperatur 60 °C Laju Alir 100 mL / menit O ₂ dan CO ₂ (98% / 2 %)	Laju degradasi tertinggi ditunjukkan oleh MEA dan yang terendah MDEA dengan konsentrasi relatif berturut – turut 53.5% dan 96 % selama 1400 jam

Sumber	Degradasi	Solven	Kondisi Operasi	Hasil dan Analisis
Closmann, F. dan Rochelle, T. (2011)	Oksidatif dan Termal (Absorpsi dan Regenerasi)	MDEA 7m PZ	Temperatur 55 °C (Absorber) dan 120 °C (Stripper), Tekanan Stripper 58 psig, Laju Alir O ₂ dan CO ₂ (98% / 2 %) 100 cc / menit dan Laju Alir Solven 200 mL/menit dengan pengadukan 1.440 rpm	Produk dari degradasi solven menghasilkan DEA, bicine, format, dan formida dalam waktu lebih dari 400 jam
Davis, J. dan Rochelle, G. (2009)	Termal	30 % (w) MEA CO ₂ loading 0.3 dan 0.4 mol	Temperatur 100 - 150 °C Tekanan atmosferik	10 % solven mengalami degradasi dan membentuk N,N '-di(2-hidroksiethyl)urea (MEA Urea), 1-(2-hidroksietil)-2-imidazolidon (HEIA), dan N-(2-hidroksietil)-etilendiamin (HEEDA)

Sumber	Degradasi	Solven	Kondisi Operasi	Hasil dan Analisis
Meisen, A. dan Chakma, A. (1997)	Termal	4.28 M MDEA	Temperatur 100 - 200°C CO ₂ 2.59 MPa	MDEA akan mulai menunjukkan proses degradasi pada temperatur 120°C . MDEA yang terdegradasi akan menunjukkan penurunan konsentrasi dan dihasilkan produk berupa metanol, etilen oksida, trimethylamin, N, N-dimetiletanamin, dietanolamin (DEA), etilen glikol, 2-(dimeilamino)etanol, 4-metilmorfolin, 1,4-dimetilpiperazin, HEP, THEED, trietanolamin (TEA), turunan piperazin

1.5 Hipotesis

Berdasarkan premis – premis sebelumnya, melalui hasil studi literatur, dapat ditarik beberapa hipotesis sebagai berikut.

1. Pada temperatur dan tekanan ruang, amina tersier akan memiliki kelarutan CO_2 yang paling tinggi dibandingkan dengan solven lainnya.
2. Pada temperatur dan tekanan ruang, performa penyerapan CO_2 pada masing – masing solven akan mengalami perubahan akibat terjadinya degradasi secara termal oleh temperatur tinggi tanpa adanya CO_2 .
3. Pada temperatur dan tekanan ruang, performa penyerapan CO_2 pada masing – masing solven akan mengalami perubahan akibat terjadinya degradasi secara oksidatif oleh O_2 .

1.6 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kelarutan CO_2 dalam masing – masing solven (MEA, MDEA, dan campuran amina) pada temperatur dan tekanan ruang.
2. Mengetahui performansi penyerapan CO_2 dalam masing – masing solven (MEA, MDEA, dan campuran amina) pada temperatur dan tekanan ruang setelah mengalami degradasi termal tanpa adanya CO_2 selama waktu tertentu.
3. Mengetahui performansi penyerapan CO_2 dalam masing – masing solven (MEA, MDEA, dan campuran amina) pada temperatur dan tekanan ruang setelah mengalami degradasi oksidatif selama waktu tertentu.

1.7 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Bagi mahasiswa

Mempelajari performansi absorpsi CO_2 dalam berbagai solven serta pengaruh dari degradasi akibat oksidator (O_2) maupun termal pada solven terhadap kelarutan CO_2 .

2. Bagi dunia industri

Performansi absorpsi CO_2 dalam berbagai solven serta pengaruh dari degradasi oksidatif akibat oksigen (O_2) maupun termal tanpa adanya CO_2 pada temperatur ruang dapat digunakan sebagai masukan bagi industri untuk menentukan solven yang digunakan berdasarkan performansi penyerapan CO_2 sebelum dan sesudah mengalami degradasi.

3. Bagi para ilmuwan

Menambah pengetahuan mengenai performansi absorpsi CO_2 dalam berbagai solven serta pengaruh dari degradasi akibat oksidator (O_2) maupun termal pada berbagai solven terhadap kelarutan CO_2 pada temperatur ruang dengan harapan hasil penelitian dapat menjadi pertimbangan jika dilanjutkan ke skala industri.

4. Bagi para pemerintah

Membantu merealisasikan program pengurangan emisi CO_2 dengan menguji performansi absorpsi CO_2 dalam berbagai solven serta pengaruh dari degradasi akibat oksidator (O_2) maupun termal pada berbagai solven terhadap kelarutan CO_2 pada temperatur ruang.