SKRIPSI – TK141581

STUDI DESORPSI CO_2 MENGGUNAKAN KONTAKTOR MEMBRAN POLIPROPILEN *HOLLOW FIBER*

Oleh:

Yangki Aditya Djaya
NRP. 02211240000006

Pembimbing I
Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T
NIP. 1976 10 20 2005 01 2001

Pembimbing II
Siti Nurkhamidah, S.T., M.Sc., Ph.D
NIP. 1984 05 08 2009 12 2004

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA 2018

FINAL PROJECT – TK141581

STUDY OF CO_2 DESORPTION USING POLYPROPILENA HOLLOW FIBER MEMBRANE CONTACTOR

Proposed by:

Yangki Aditya Djaya

NRP. 02211240000006

Advisor I
Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T
NIP. 1976 10 20 2005 01 2001

Advisor II
Siti Nurkhamidah, S.T., M.Sc., Ph.D
NIP. 1984 05 08 2009 12 2004

CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA 2018

STUDI DESORPSI CO_2 MENGGUNAKAN KONTAKTOR MEMBRAN POLIPROPILEN *HOLLOW FIBER*

Disusun Oleh : Yangki Aditya Djaya
NRP : 02211240000006
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T.
2. Siti Nurkhamidah, S.T.,M.S.,Ph.D

ABSTRAK

Karbondioksida (CO_2) merupakan salah satu komponen yang perlu dipisahkan dari gas alam karena bersifat korosif apabila terdapat air dan dapat menyebabkan kerusakan pada sistem perpipaan pabrik karena pembekuan. Teknologi pemisahan menggunakan membran merupakan teknologi yang prospektif untuk pemisahan CO_2 karena memiliki keunggulan dalam efisiensi energi yang tinggi dibandingkan dengan proses pemisahan CO_2 dengan teknologi konvensional. Proses desorpsi menggunakan membran dilakukan karena masih jarang digunakan, oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh suhu dan jenis pelarut terhadap laju perpindahan massa (fluks) dan efisiensi desorpsi CO_2, dan juga untuk mebandingkan nilai fluks dan efisiensi desorpsi CO_2 dengan menggunakan proses *sweep gas* dan vakum. Adapun alur penelitian terdiri dari mengalirkan pelarut ke bagian *tube* modul membran kemudian N_2 dialirkan ke bagian *shell* modul membran untuk membantu proses regenerasi pelarut. Pada penelitian ini CO_2 *loading* dalam pelarut dianalisa menggunakan titrasi *chittick*. Hasil analisa CO_2 *loading* digunakan dalam perhitungan untuk menghitung fluks dan efisiensi desorpsi CO_2. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah suhu pelarut dan jenis pelarut. Penelitian ini menggunakan pelarut DEA dan DEA-Arginin. Pada penelitian ini akan digunakan gas nitrogen (N_2)

murni sebagai *sweep gas* yang berfungsi untuk menarik CO_2 dari pelarut. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa fluks desorpsi tertinggi dengan pelarut DEA-Arginin pada suhu 70^oC mencapai $14{,}39x10^{-4}$ mol/m^2.detik. Nilai efisiensi desorpsi CO_2 tertinggi dengan pelarut DEA-Arginin pada suhu 70^oC mencapai 69,73%. Fluks dan efisiensi desorpsi CO_2 meningkat seiring dengan meningkatnya suhu pelarut. Fluks dan desorpsi CO_2 dengan menggunakan pelarut dengan aktivator lebih tinggi daripada dengan menggunakan pelarut tanpa aktivator. Proses desorpsi CO_2 dengan menggunakan vakum lebih baik dibandingkan dengan menggunakan *sweep gas*.

Kata kunci : *kontaktor membran, hollow fiber, desorpsi, fluks, efisiensi CO_2*

STUDY OF CO_2 DESORPTION USING POLYPROPYLENE HOLLOW FIBER MEMBRANE CONTACTOR

Proposed by	:	Yangki Aditya Djaya
NRP	:	02211240000006
Advisor	:	1. Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T
		2. Siti Nurkhamidah, S.T., M.Sc., Ph.D

ABSTRACT

Carbon dioxide (CO_2) is one component that needs to be separated from natural gas because it is corrosive if there is water and can cause damage to the mill piping system due to freezing. Membrane separation technology is a prospective technology for CO_2 separation because it has advantages in high energy efficiency compared to conventional CO_2 separation process. The desorption process using membranes is done because it is rarely used, therefore the purpose of this study is to study the effect of temperature and type of solvent on the rate of mass transfer (flux) and CO_2 desorption efficiency, and also to compare the flux value and the CO_2 desorption efficiency by using the process sweep gas and vacuum. The step of this experiment consists of draining the solvent to the membrane tube section of the membrane then N_2 is passed to the shell part of the membrane module to assist solvent regeneration process. In this study CO_2 loading in the solvent was analyzed using chittick titration. The CO_2 loading analysis results are used in calculations to calculate the CO_2 desorption flux and CO_2 desorption efficiency. Variables used in this research are solvent temperature and solvent type. This study used DEA and DEA-Arginine solvents. In this research will be used nitrogen gas (N_2) pure as sweep gas that function to pull CO_2 from solvent.

From the results of the study it was concluded that the highest desorption flux with DEA-Arginine solvent at 70^{o}C reached 14.39x10-4 mol/m^{2}.second. The highest value of CO_2 desorption efficiency with DEA-Arginine solvent at 70^{o}C reached 69.73%. Flux and CO_2 desorption efficiency increase with increasing solvent temperature. Flux and desorption of solvent CO_2 with higher activator than solvent without activator. The process of CO_2 desorption using vacuum is better than using sweep gas.

Key words : membrane contactor, hollow fiber, desorption, flux, CO_2 efficiency

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul:

"STUDI DESORPSI CO_2 MENGGUNAKAN KONTAKTOR MEMBRAN POLIPROPILEN *HOLLOW FIBER*".

Keberhasilan penulisan skripsi ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T selaku dosen pembimbing satu atas pengarahan dan saran yang telah diberikan.
2. Siti Nurkhamidah, S.T., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing dua atas pengarahan dan saran yang telah diberikan.
3. Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.Sc. selaku Kepala Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa yang banyak memberikan masukan bagi kepada kami.
4. Dr. Lailatul Qadariyah, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi S1 Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS.
5. Juwari, S.T., M.Eng, Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
6. Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.S., Siti Zullaikah, ST., MT., Ph.D, dan Dr.Ir.Sri Rahmania Juliastuti,M.Eng selaku dosen penguji Seminar Skripsi.
7. Bapak dan Ibu dosen pengajar serta seluruh karyawan Departemen Teknik Kimia.
8. Orang Tua dan keluarga kami yang telah banyak memberikan dukungan baik moral maupun spiritual.
9. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa yang telah memberikan banyak dukungan
10. Semua pihak yang telah membantu penyelesaian skripsi ini.

Kami menyadari bahwa materi yang kami sajikan masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kami sangat mengharapkan saran dan masukan yang konstruktif dari pembaca.

Surabaya, 25 Juli 2018

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN
ABSTRAK i
ABSTRACT iii
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR TABEL xi
BAB I PENDAHULUAN
I.1 Latar belakang 1
I.2 Rumusan masalah 3
I.3 Batasan masalah 3
I.4 Tujuan penelitian 3
I.5 Manfaat penelitian 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA
II.1 Sifat Fisika dan Kelarutan Karbondioksida 5
II.2 Kontaktor Membran *Hollow Fiber* 6
II.3 Desorpsi 7
II.4 Parameter Operasi pada Kontaktor Membran .. 10
II.5 Material Membran 11
II.6 Pemilihan Pelarut 14
II.7 Penelitian Terdahulu 15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN
III.1 Garis Besar Penelitian 17
III.2 Bahan yang Digunakan 17
III.3 Variabel Penelitian 18
III.3.1 Kondisi yang Ditetapkan 18
III.3.2 Variabel Masukan 18
III.3.3 Variabel Respon 18
III.4 Rangkaian Alat Penelitian 19
III.5 Prosedur Penelitian 19
III.6 Prosedur Analisa Hasil Penelitian 21

III.6.1 Analisa Fluks Desorpsi dan % Efisiensi Desorpsi 21
III.6.2 Titrasi *Chittic* 22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN
IV.1 Pengaruh Suhu Pelarut terhadap Fluks Desorpsi CO_2 26
IV.2 Fluks Desorpsi CO_2 Proses *Sweep Gas* ……27
IV.3 Pengaruh Suhu Pelarut terhadap Efisiensi Desorpsi CO_2 28
IV.4 Efisiensi Desorpsi CO_2 Proses *Sweep Gas* 30
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN
V.1 KESIMPULAN..... 33
V.2 SARAN..... 33
DAFTAR PUSTAKA..... xiii
DAFTAR NOTASI xvii
APPENDIKS
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Kelarutan CO_2 dalam Air	5
Gambar II.2	Diagram Skematik Kontaktor Membran *Hollow Fiber*	7
Gambar II.3	Perpindahan Massa Komponen I (a) dari fasa gas ke fasa cairan (absorpsi); (b) dari fasa cairan ke fasa uap melalui pori membran (desorpsi)	8
Gambar II.4	Struktur Polipropilen (PP)	12
Gambar II.5	Struktur Polivinildenefluorid (PVDF)	13
Gambar II.6	Struktur Diethanolamin (DEA)	14
Gambar II.7	Struktur Arginin	15
Gambar III.1	Rangkaian Peralatan yang Digunakan pada Desorpsi CO_2	19
Gambar III.2	Diagram Alir Percobaan	20
Gambar III.3	Skema Alat Titrasi *Chittic*	22
Gambar IV.1	Pengaruh Suhu Pelarut terhadap Fluks Desorpsi CO_2 pada Pelarut DEA dan DEA-Arginin	27
Gambar IV.2	Pengaruh Suhu Pelarut terhadap Fluks Desorpsi CO_2 pada Pelarut (a) DEA dan (b) DEA-Arginin Menggunakan Proses *Sweep Gas* dan Vakum	28
Gambar IV.3	Pengaruh Suhu Pelarut terhadap Efisiensi Desorpsi pada Pelarut DEA dan DEA-Arginin	29
Gambar IV.4	Pengaruh Suhu Pelarut terhadap Efisiensi Desorpsi CO_2 pada Pelarut (a) DEA dan (b) DEA-Arginin Menggunakan Proses *Sweep Gas* dan Vakum	31

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Sifat Fisika Karbondioksida (CO_2).....	5
Tabel II.2	Temperatur Transisi Gelas (T_g) Polimer	12
Tabel II.3	Penelitian Terdahulu Mengenai Desorpsi CO_2 dengan Menggunakan Berbagai Macam Pelarut	15
Tabel III.1	Data Karakteristik Membran Polipropilen .	18

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

BAB 1

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Karbondioksida (CO_2) merupakan salah satu komponen yang sangat merugikan dalam gas alam karena bersifat korosif dan dapat merusak sistem perpipaan pabrik. Gas CO_2 akan bersifat korosif jika di dalam gas alam terkandung uap air yang dapat mengasamkan CO_2 menjadi H_2CO_3 dan dapat menurunkan tekanan dan temperatur pada bagian perpipaan, pendingin, dan injektor turbin. CO_2 juga dapat menurunkan nilai kalor pembakaran sehingga dapat mengurangi tegangan listrik yang dihasilkan oleh turbin. CO_2 juga merugikan pada proses pencairan gas alam karena CO_2 dapat mengalami pembekuan (*icing*) (Kartohardjono dkk, 2007).

Teknologi membran merupakan teknologi yang prospektif untuk pemisahan CO_2 karena memiliki keunggulan dalam efisiensi energi yang tinggi dibandingkan dengan proses pemisahan CO_2 melalui proses absorpsi dengan menggunakan teknologi konvensional. Perpaduan antara teknologi membran dengan teknologi cairan absorbsi menghasilkan membran kontaktor cair-gas yang baik untuk pemisahan CO_2.

Kelebihan yang dimiliki teknologi kontaktor membran antara lain ukuran kontaktor relatif kecil dan dapat dibuat secara modular. Pada kontaktor membran gas dan cairan kontak bersamaan tanpa terdispersi di membran *porous*, sehingga menimbulkan kontak area yang lebih luas. Selain itu penelitian tentang desorpsi CO_2 menggunakan kontaktor membran masih sangat jarang dilakukan (Sisakht dkk, 2013).

Fang dkk (2012) melakukan penelitian mengenai desorpsi CO_2 dari larutan alkanolamine dengan menggunakan teknologi regenerasi membran vakum. Pada penelitian ini terdapat dua macam mode pengoperasian, yaitu cairan mengalir di bagian *tube*

(mode A) dan di bagian *shell* (mode B) dari kontaktor membran. Mode A memiliki performa yang lebih besar daripada mode B dalam hal desorpsi CO_2. baik mode A maupun mode B, tahanan cairan mendominasi seluruh tahanan dan menentukan rata-rata transfer massa dari CO_2 yang teregenerasi.

Sisakht dkk (2014) melakukan penelitian tentang *stripping* CO_2 dari air melalui kontaktor membran *hollow fiber* PVDF yang dimodifikasi. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa flux *stripping* dan fluks efisiensi meningkat seiring dengan meningkatnya laju alir cairan. Dengan meningkatkan kecepatan gas, fluks *stripping* CO_2 juga ikut meningkat tetapi hal ini tidak diperhitungkan karena efek dari tahanan transfer massa gas dapat diabaikan sehingga dapat disimpulkan bahwa fase cairan mengontrol transfer massa dari *stripping* dengan menggunakan kontaktor membran. Ismail dkk (2012) melakukan penelitian mengenai *stripping* CO_2 dari air melalui *porous polysulfone* (PS) kontaktor membran *hollow fiber*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan gas *stripping* memiliki efek yang kecil pada flux desorpsi CO_2, sementara peningkatan pada kecepatan cairan dapat menambah fluks desorpsi CO_2 pada *stripping* gas kontaktor membran. Dengan meningkatkan kecepatan laju alir cairan hingga 200 ml/menit, maksimum efisiensi *stripping* dari CO_2 adalah 66% dan fluks dari CO_2 meningkat sekitar 482%. Efisiensi *stripping* dapat ditingkatkan dengan cara meningkatkan laju alir cairan pada modul kontaktor membran.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Fang dkk (2012), dan Takahasi dkk (2013), kelajuan desorpsi CO_2 meningkat seiring dengan mengecilnya ukuran pori. Membran yang lebih tebal menunjukkan kemampuan desorpsi CO_2 yang lebih baik. Namun terdapat resiko yang dapat terjadi yaitu membran dapat menjadi semakin basah seiring dengan meningkatnya ukuran pori dan meningkatnya suhu akibat dari pengurangan viskositas dan tekanan permukaan.

I.2 Rumusan Masalah

Penelitian pemisahan CO_2 terdahulu dengan menggunakan kontaktor membran *hollow fiber polysulfone* memberikan hasil yaitu efisiensi desorpsi CO_2 yang dihasilkan adalah 66% pada kecepatan laju alir cairan hingga 200 ml/menit. Maka dari itu penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan kontaktor membran *hollow fiber* polipropilena. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh parameter operasi terhadap efisiensi desorpsi CO_2 dengan menggunakan modul kontaktor membran dan juga untuk melakukan uji kinerja kontaktor membran terhadap efisiensi desorpsi CO_2.

I.3 Batasan Masalah

1. kontaktor membran yang digunakan terbuat dari membran polipropilena (PP).
2. proses desorpsi CO_2 menggunakan nitrogen (N_2) sebagai *sweep gas*.
3. suhu pelarut yang masuk ke dalam modul

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. mempelajari pengaruh suhu pelarut dan jenis pelarut (DEA dan DEA-Arginin) terhadap laju perpindahan massa (fluks) CO_2 dan efisiensi desorpsi CO_2 menggunakan modul kontaktor membran.
2. membandingkan nilai fluks dan efisiensi desorpsi CO_2 dengan menggunakan proses *sweep gas* dan vakum.

I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. dapat dijadikan referensi dalam pengaplikasian kontaktor membran pada industri gas alam

2. keberhasilan penelitian ini bermanfaat dalam upaya meningkatkan efisiensi pemisahan CO_2 pada industri gas alam.

BAB II

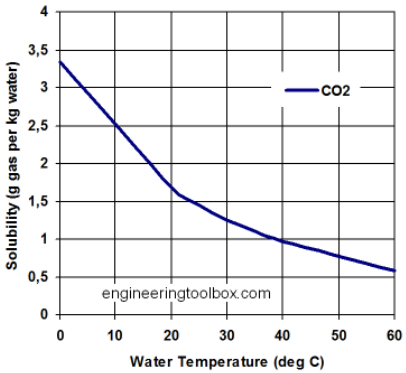
TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Sifat Fisika dan Kelarutan Karbondioksida (CO_2)

Karbondioksida (CO_2) merupakan sebuah gas yang tidak bernyawa, tidak berbau, dan tidak mudah terbakar. Karbondioksida merupakan senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen dengan sebuah atom karbon.

Tabel II.1 Sifat Fisika Karbondikosida (CO_2)

Sifat	Nilai
Titik didih	-57,5 ^oC
Titik beku normal	-78,4 ^oC
Temperatur kritis	38 ^oC
Tekanan kritis	0,6 $Kg/cm^2.G$
Panas peleburan	1900 Kal/mol
Panas penguapan	6030 Kal/mol

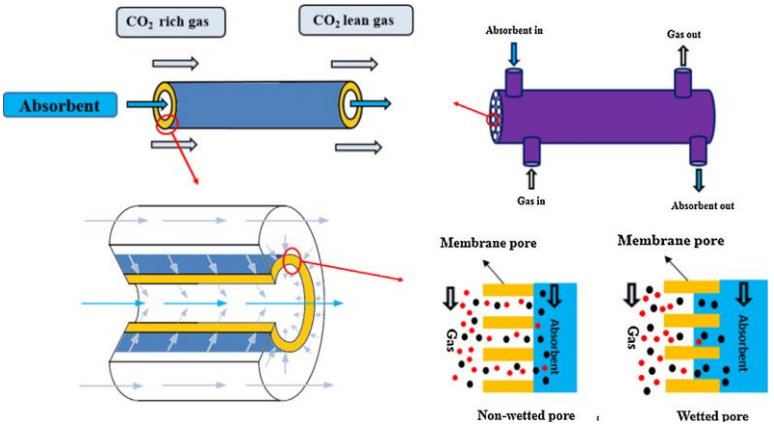


Gambar II.1 Kelarutan CO_2 dalam Air
(www.engineeringtoolbox.com)

Karbondioksida (CO_2) merupakan salah satu komponen yang sangat merugikan dalam gas alam karena bersifat korosif dan dapat merusak sistem perpipaan pabrik. Gas CO_2 akan bersifat korosif jika di dalam gas alam terkandung uap air yang dapat mengasamkan CO_2 menjadi H_2CO_3 dan dapat menurunkan tekanan dan temperatur pada bagian perpipaan, pendingin, dan injektor turbin. CO_2 juga dapat menurunkan nilai kalor pembakaran sehingga dapat mengurangi tegangan listrik yang dihasilkan oleh turbin. CO_2 juga merugikan pada proses pencairan gas alam karena CO_2 dapat mengalami pembekuan (*icing*) (Kartohardjono dkk, 2007).

II.2 Kontaktor Membran *Hollow Fiber*

Secara umum terdapat tiga metode dasar untuk memisahkan karbondioksida, termasuk pemisahan dengan membran, *cyrogenics*, dan pelarut atau absorber. Secara normal kemurnian karbondioksida adalah diatas 99.9% pada *chemical* proses. Metode pemisahan dengan menggunakan membran merupakan metode yang dapat menghemat energi lebih besar. Teknologi absorbsi gas membran yang menggabungkan pemisahan gas membran dengan absorpsi adalah cara baru untuk mengkontakkan cairan dan gas untuk pemisahan gas. Metode ini lebih diminati oleh para peneliti dibandingkan dengan metode konvensional yang dapat menimbulkan *foaming*, *channeling*, *flooding*, dan *entrainment* (Zhang, 2014).



Gambar II.2 Diagram Skematik Kontaktor Membran *Hollow Fiber*

Berdasarkan **Gambar II.2**, kontaktor membran *hollow fiber* memiliki tiga bagian, yaitu *shell*, membran, dan *tube*. Pada aliran *co-current* paralel, campuran gas dan cairan absorben memasuki kontaktor dari akhir yang sama. Karbondioksida kemudian terpisah dari fase gas, melewati membran, dan berkontak dengan cairan absorben.

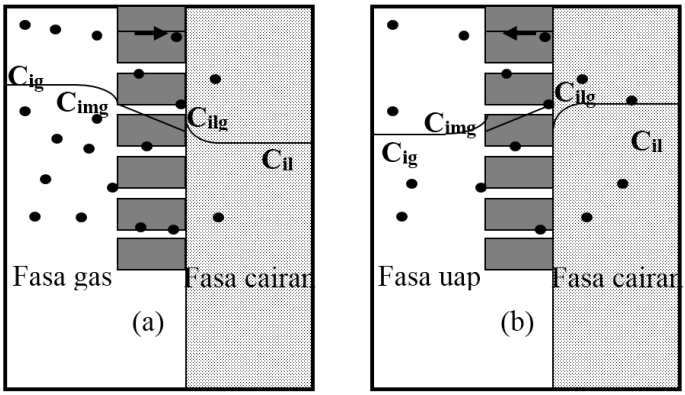
Teknologi kontaktor membran untuk pemisahan CO_2 merupakan pengembangan membran poros hidrofobik sebagai media pembatas yang membantu kontak dua fluida untuk tujuan perpindahan massa tanpa terjadi dispersi dari satu fasa ke fasa lainnya. Kelebihan teknologi ini dibanding teknologi absorpsi konvensional adalah luas permukaan per volume tinggi sehingga kemungkinan untuk terjadinya perpindahan massa lebih besar.

II.3 Desorpsi

Proses pemisahan CO_2 melibatkan dua hal penting, yaitu absorpsi dan desorpsi. Desorpsi umunya dilakukan dengan menggunakan kolom konvensional yang pada saat pengoperasian muncul berbagai macam masalah seperti *flooding*, *channeling*, dan *entrainment* (Khaisri dkk, 2011). Teramoto dkk pada tahun

2004 melakukan percobaan dengan modul membran transport yang terfasilitasi untuk absorpsi dan desorpsi CO_2. Dari penelitian tersebut didapat bahwa konsumsi energi yang diperlukan jauh lebih kecil dibandingkan dengan proses konvensional. Kumazawa dkk pada tahun 2000 melakukan percobaan desorpsi CO_2 dengan menggunakan membran politetrafluoroetilen (PTFE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses desorpsi dikontrol oleh difusi dan reaksi kimia sehingga koefisien transfer massa meningkat.

Proses perpindahan massa suatu komponen dari fasa gas ke dalam fasa cairan melewati pori membran terdiri dari tiga tahap, yaitu perpindahan komponen terlarut dalam fasa badan gas ke permukaan membran, perpindahan gas melewati pori membran ke permukaan cairan, dan perpindahan gas dari permukaan cairan ke fasa badan cairan (Rahmawati dkk, 2014). Peristiwa perpindahan massa ini berlaku sebaliknya untuk proses desorpsi seperti disajikan pada **Gambar II.3**.



Gambar II.3 Perpindahan Massa Komponen i (a) dari fasa gas ke fasa cairan (absorpsi); (b) dari fasa cairan ke fasa uap melalui pori membran (desorpsi).

Gambar di atas menjelaskan fluks pada keadaan tunak dari komponen i melalui lapisan gas sama dengan fluks melalui membran, dan sama dengan fluks melalui lapisan cairan yang didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut.

$$J_i = k_{ig}\left(C_{ig} - C_{img}\right) = k_{im}\left(C_{img} - C_{i\,\mathrm{lg}}\right) = k_{il}\left(C_{i\,\mathrm{lg}} - C_{il}\right) \text{..(II.1)}$$

Dimana:

k_{ig} = koefisien perpindahan massa dalam fasa gas komponen i (m/det)

k_{im} = koefisien perpindahan massa dalam membran komponen i (m/det)

k_{il} = koefisien perpindahan massa dalam fasa cairan komponen i (m/det)

C_{ig} = konsentrasi komponen i dalam fasa gas (mol/L)

C_{img} = konsentrasi komponen i pada antarfasa gas-membran (mol/L)

C_{ilg} = konsentrasi komponen i pada antarfasa gas-cairan (mol/L)

C_{il} = konsentrasi komponen i dalam fasa cairan (mol/L)

Untuk proses desorpsi, perpindahan massa komponen i terjadi dari fasa cairan ke fasa uap dapat menggunakan persamaan yang sama dengan merubah tanda dalam masing-masing fluks.

Koefisien perpindahan massa keseluruhan tergantung pada koefisien perpindahan massa individu yaitu di bagian fasa gas ($1/k_{ig}$), membran ($1/k_{im}$), dan fasa cairan ($1/k_L$) dengan persamaan teoritis hambatan seri sebagai mana ditunjukkan pada persamaan (II.2).

$$\frac{1}{K_l} = \frac{1}{k_{il}E} + \frac{1}{k_{im}H} + \frac{1}{k_{ig}H} \text{ ……..(II.2)}$$

(Kreulen dkk., 1993)

Ketika menggunakan membran *hollow fiber* dengan cairan di bagian *shell* dan gas mengalir di sisi lumen, dengan daerah antarfasa gas-cairan berada pada diameter luar lumen (*nonwetted mode*), maka persamaan II.2 adalah sebagai berikut:

$$\frac{1}{K_l} = \frac{1}{k_{il}E} + \frac{d_o}{k_{im}Hd_{im}} + \frac{d_o}{k_{ig}Hd_i} \quad \text{.....(II.3)}$$

H adalah konstanta hukum Henry tak berdimensi yang merupakan perbandingan konsentrasi gas pada keadaan setimbang terhadap konsentrasi pelarut (Qi dan Cussler, 1985), E adalah faktor hambatan yang merupakan perbandingan dari fluks absorpsi dengan adanya reaksi kimia terhadap fluks absorpsi dengan tidak ada reaksi kimia (Khaisri dkk., 2010), d_i, d_o, dan d_{im} adalah berturut-turut diameter dalam, diameter luar dari *fiber*, dan diameter rata-rata di bagian membran (d_o-d_i/ln(d_o/d_i)). Persamaan koefisien perpindahan massa di atas menggunakan asumsi ukuran pori dan karakteristik pembasahan membran seragam.

II.4 Parameter Operasi pada Kontaktor Membran

Dalam pengoperasian kontaktor membran untuk pemisahan CO_2**,** ada beberapa variabel operasi yang dapat mempengaruhi proses pemisahan berdasantara lain:

1. Konsentrasi Pelarut
   Kumar dkk., 2002 melakukan penelitian bahwa pemisahan CO_2 semakin meningkat dengan meningkatnya konsentrasi pelarut dan dengan jangka waktu tertentu, pelarut menjadi jenuh sehingga kemampuan menyerap CO_2 berkurang. Kinerja pemisahan ditunjukkan sebagai persen pemisahan CO_2, dimana persen pemisahan CO_2 akan optimal (mendekati 100%) pada konsentrasi pelarut tertentu.

2. Tekanan Parsial CO_2
   Feron dan Jansen (1995) melaporkan bahwa pada temperatur ruang, fluks merupakan fungsi rata-rata logaritmik tekanan parsial CO_2. Pada tekanan parsial CO_2 yang rendah, fluks CO_2 meningkat hampir linear dengan meningkatnya tekanan parsial CO_2.
3. Temperatur
   Temperatur absorpsi memberikan pengaruh terhadap kinerja perpindahan massa. Pada temperatur yang tinggi, laju reaksi dan laju difusi lebih tinggi, sehingga dapat meningkatkan koefisien perpindahan massa (Feron dkk, 2002). Khaisri dkk. (2011) melaporkan bahwa laju perpindahan massa pada proses desorpsi CO_2 dari pelarut MEA mengalami peningkatan seiring dengan naiknya temperatur.

II.5 Material Membran

Dalam pemilihan material membran, ada beberapa kriteria dari material yang harus diperhatikan yaitu:

- Stabilitas kimia
  Stabilitas kimia dari material membran, memberikan efek terhadap stabilitas jangka panjangnya. Setiap reaksi yang terjadi antara solven dengan material fiber membran dapat mempengaruhi integritas dan struktur permukaan membran. Agar stabilitas kimia terjamin, bahan pelarut yang digunakan harus kompatibel dengan material membran.
- Stabilitas termal
  Pada temperatur tinggi, material membran dapat mengalami dekomposisi atau degradasi. Kecenderungan perubahan membran tergantung pada temperatur transisi gelas (T_g) polimer untuk polimer amorf atau temperatur leleh (T_m) untuk polimer kristalin. Jika melewati temperatur tersebut, sifat polimer akan berubah secara drastis. Temperatur transisi gelas polimer ditentukan oleh struktur

kimia seperti fleksibilitas dan interaksi ikatan rantai. Polimer yang mempunyai T_g lebih tinggi cenderung lebih stabil. Dalam **Tabel II.2** ditunjukkan bahwa PP memiliki T_g lebih tinggi dibandingkan PVDF dan PE sehingga sifatnya lebih stabil.

Tabel II.2 Temperatur transisi gelas (T_g) polimer

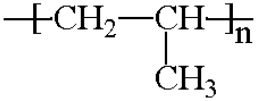
Polimer	T_g (°C)
Politetrafluoroetilena (PTFE)	126
Polipropilena (PP)	-15
Polietilena (PE)	-120
Polieter sulfon (PES)	230
Polisulfon (PS)	190
Polivinildenefluorid (PVDF)	-40
Polidimetilsiloksana (PDMS)	-123

(*Sumber:Mulder,1996*)

Beberapa material membran yang umum untuk digunakan pada pemisahan CO_2 dengan kontaktor membran antara lain :

1. Polipropilen (PP)

   Polipropilen juga bersifat hidrofobik, tetapi memiliki T_g yang rendah, sehingga kurang stabil dibanding PTFE dan rentan terhadap pembasahan. Kelebihannya yaitu harganya jauh lebih murah dibanding PTFE.



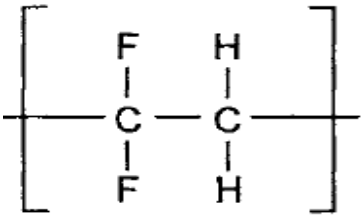
Gambar II.4 Struktur Polipropilena (PP)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wang dkk (2006), pada beberapa jam pertama fluks CO_2 cenderung turun hingga bernilai konstan. Hal ini menunjukkan bahwa membran mengalami pembasahan

awal dan kemudian stabil. Pada tahun 2014, Wang dkk juga melakukan penelitian tentang *stripping* CO_2 dengan menggunakan kontaktor membran *hollow fiber* polivinilidenefluroid (PVDF) dan polipropilen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran PVDF melakukan desorpsi CO_2 lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan membran polipropilen, namun membran polipropilen menunjukkan efisiensi regenerasi yang lebih tinggi dan lebih stabil dalam pemakaian jangka lama. Hal ini menunjukkan bahwa membran polipropilen merupakan pilihan yang lebih baik dibandingkan dengan membran PVDF.

2. Polivinilidenefluroid (PVDF)

PVDF memiliki hambatan kimia dan termal yang sangat bagus dan stabil pada kebanyakan senyawa kimia dan organik yang bersifat korosif, seperti asam, alkalin, oksidan, dan halogen. PVDF memiliki kinerja yang stabil terbukti dengan nilai fluksnya yang konstan setelah dioperasikan selama rentang waktu tertentu..



Gambar II.5 Struktur Polivinildenefluorid (PVDF**)**

3. Polietilena (PE)

Nishikawa dkk. (1995) melakukan perlakuan permukaan dengan material fluorokarbonik untuk meningkatkan hidrofobisitas membran. Namun, membran PE yang telah dimodifikasi tersebut memiliki

kecenderungan untuk terdegradasi sehingga kinerjanya makin lama makin menurun.

Pada penelitian ini akan digunakan kontaktor membran polipropilena (PP) karena membran PP bekerja lebih baik dibandingkan dengan PVDF dan PE. Selain itu membran PP bekerja lebih stabil dan juga memiliki refisiensi regenerasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan PVDF dan PE.

II.6 Pemilihan Pelarut

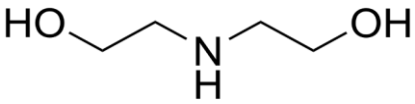
1. Diethanolamine (DEA)

Dalam memilih pelarut untuk proses desorpsi, pelarut harus memenuhi kriteria sebagai berikut :

a. Reaktivitas gas yang tinggi
b. Performasi regenerasi terhadap CO_2
c. Tegangan permukaan yang tinggi
d. Viskositas yang rendah
e. Kompabilitas terhadap material membran

(Yan dkk, 2014)

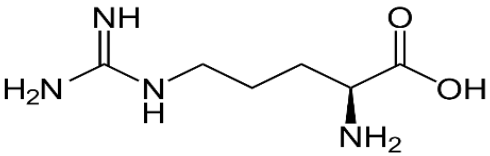
Pada penelitian ini akan digunakan DEA yang memiliki tingkat reaktivitas terhadap CO_2 yang cukup baik namun kurang baik dalam regenerasi CO_2. Oleh karena itu, penambahan aktivator seperti arginin dan piperazin pada DEA diperlukan supaya CO_2 memiliki tingkat reaktivitas yang lebih baik terhadap CO_2 dan dapat meningkatkan proses regenerasi CO_2. DEA memiliki tekanan uap yang lebih rendah dibandingkan dengan MEA sehingga mengurangi kehilangan massa saat regenerasi. Namun, DEA dapat bereaksi dengan CO2 secara *irreversible*.



Gambar II.6 Struktur Diethanolamin (DEA)

2. Arginin

Arginin adalah suatu asam amino esensial yang memiliki kelompok guanidium bermuatan positif. Arginin mengandung grup amino primer dan guanidium grup pada rantai sampingnya. Amino grup primer (arginin) dan amino sekunder (DEA) dapat bereaksi dengan cara sama. Berikut adalah struktur kimia dari Arginin ($C_6H_{14}N_4O_2$) :



Gambar II.7 Struktur Arginin

II.7 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdauhulu mengenai proses desorpsi dengan menggunakan berbagai macam pelarut disajikan pada **Tabel II.3**

Tabel II.3 Penelitian Terdahulu Mengenai Desorpsi CO_2 dengan Menggunakan Berbagai Macam Pelarut

No	Pelarut	Hasil	Referensi
1	Larutan MEA	Kontaktor membran tidak mengalami *flooding* dan *loading.* Fase liquid dan gas terpisah sempurna oleh membran *hollow fiber*	Koonaphapdeelert dkk, 2009
2	Air	Efisiensi *stripping* CO_2 dari pelarut air meningkat seiring dengan meningkatnya suhu pelarut.dan	Mansourizadeh dkk, 2011.

		maksimum efisiensi *stripping* CO_2 yang didapat adalah 32% pada suhu 60^oC	
3	Air	Eksperimen *stripping* CO_2 dengan menggunakan PVDF dimodifikasi lebih baik dibandingkan dengan PVDF standar. Fluks *stripping* CO_2 meningkat seiring dengan meningkatnya suhu pelarut.	Sisakht dkk, 2014
4	Larutan MDEA	Nilai fluks desorpsi meningkat seiring dengan meningkatnya suhu pelarut	Liu dkk, 2017
5	Larutan DEA dan DEA teraktivasi	Pelarut DEA teraktivasi merupakan pelarut terbaik untuk proses desorpsi CO2 dengan perbandingan efisiensi pemisahan 1,9 kali lebih tinggi dibandingkan dengan pelarut tidak teraktivasi.	Hafan dan Yusuf, 2017

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Garis Besar Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh suhu pelarut terhadap fluks CO_2 dan efisiensi desorpsi CO_2 menggunakan modul kontaktor membran. Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa, jurusan Teknik Kimia, ITS. Penelitian ini akan menggunakan proses desorpsi CO_2 dalam beberapa pelarut seperti DEA dan DEA-Arginin. Pada percobaan ini, CO_2 dalam pelarut dialirkan di bagian tube dari modul kontaktor membran. Sedangkan N_2 murni sebagai *sweep gas* yang berfungsi untuk menarik CO_2 dari pelarut dialirkan di bagian *shell* dari modul kontaktor membran. Adapun variabel yang digunakan adalah variasi suhu pelarut. Untuk mengetahui konsentrasi gas CO_2 yang berada dalam keluaran *liquid* dianalisa dengan menggunakan titrasi *chittick*. Hasil analisa CO_2 *loading* digunakan untuk mengetahui efisiensi desorpsi CO_2 dan fluks.

III.2 Bahan yang Digunakan

Dalam penelitian ini, material membran yang digunakan adalah membran hidrofobik polipropilena dengan spesifikasi disajikan dalam **Tabel III.1**.

Tabel III.1 Data Karakteristik Membran Polipropilen

Parameter	Keterangan
Diameter dalam (d_i) (mm)	0,35
Diameter luar (d_o) (mm)	0,5
Diameter pori (d_p) (μm)	0,2
Porositas	0,65
Panjang modul (mm)	250
Jumlah *fiber*	40
Luas area kontak (mm^2)	7000

III.3 Variabel Penelitian

III.3.1 Kondisi yang Ditetapkan

1. CO_2 *loading* dalam pelarut DEA 30% dan DEA-Arginin 30% (29:1) yang masuk ke modul.

III.3.2 Variabel Masukan

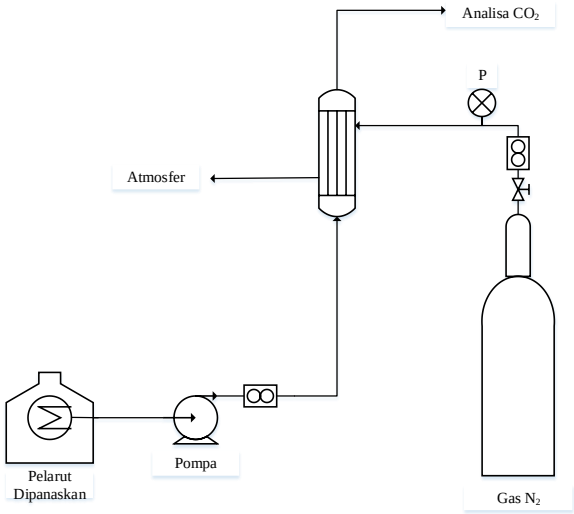
1. Suhu pelarut masuk : 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, dan 70°C
2. Laju alir gas N_2 murni (*sweep gas*) (Q_G) : 400 ml/menit.
3. Laju alir pelarut (Q_L) : 100 ml/menit.
4. CO_2 loading = 0,22 mol CO_2/mol pelarut

III.3.3 Variabel Respon

1. Laju Perpindahan massa CO_2 (fluks)
2. Efisiensi desorpsi CO_2

III.4 Rangkaian Alat Penelitian

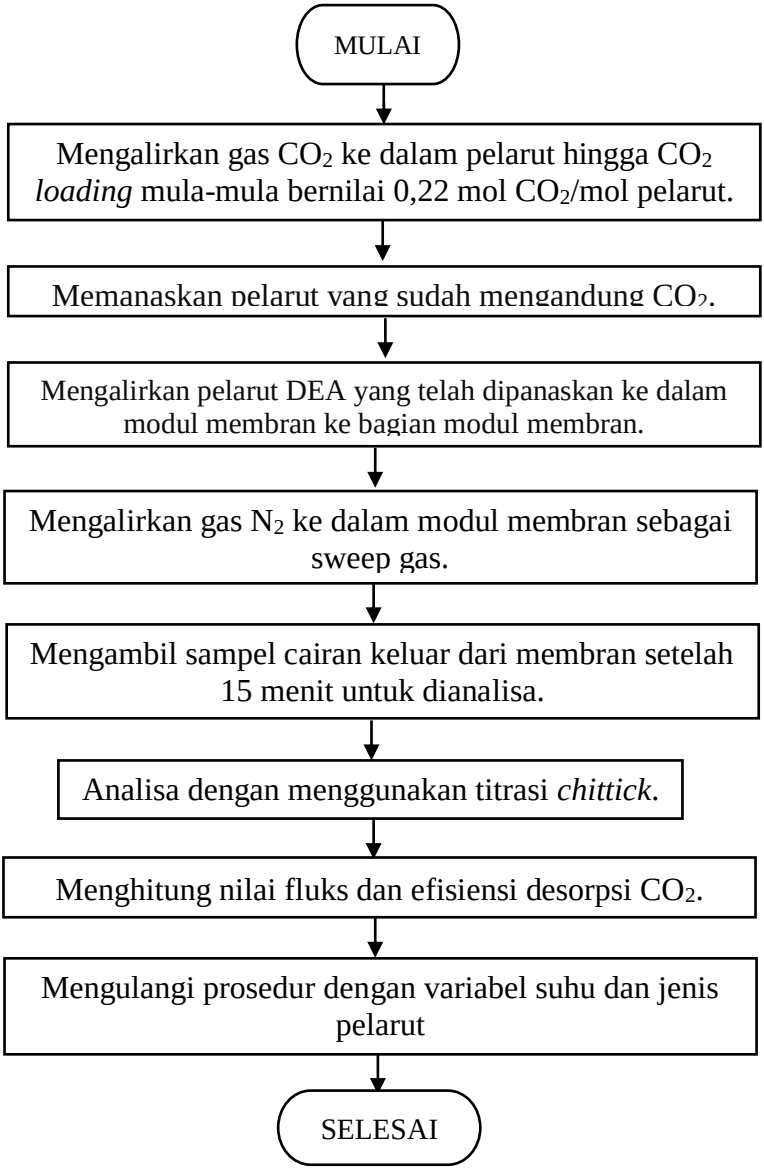
Dalam penelitian ini modul kontaktor membran akan dibuat sesuai konsep berikut



Gambar III.1 Rangkaian Peralatan yang Digunakan pada Desorpsi CO_2

III.5 Prosedur Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh suhu pelarut terhadap fluks dan efisiensi desorpsi CO_2. Pada proses desorpsi, CO_2 yang terlarut dalam pelarut di bagian *tube* berdifusi melewati pori membran yang dibantu dengan *sweep gas* (N_2 murni) untuk membantu proses regenerasi pelarut. CO_2 *loading* dalam pelarut dianalisa dengan menggunakan titrasi *chittick*. Adapun untuk diagram alir penelitian akan disajikan dalam **Gambar III.2**.



Gambar III.2 Diagram Alir Penelitian

III.6 Prosedur Analisa Hasil Penelitian

III.6.1 Analisa Fluks Desorpsi dan % Efisiensi Desorpsi

Analisa hasil pada percobaan ini adalah analisa CO_2 *loading* dengan menggunakan titrasi *chittick* pada pelarut yang telah didesorpsi. Kandungan CO_2 dalam sampel liquid digunakan untuk menentukan fluks CO_2.

CO_2 *loading* dalam pelarut masuk dan keluar modul membran dianalisa dengan menggunakan titrasi *chittick* dengan menggunakan NaCl. Dari analisa ini dapat diketahui konsentrasi gas CO_2, yang nantinya digunakan untuk menghitung fluks atau laju perpindahan massa CO_2 (J_{CO2}) dengan menggunakan persamaan yang digunakan oleh (Rahim, 2015) :

$$J'_{CO_2} = \frac{\left(C'_{in} - C'_{out}\right) \times 273{,}15 \times Q_l}{0{,}0224 \; x \; T_g \; x \; A} \quad \text{..... (III.1)}$$

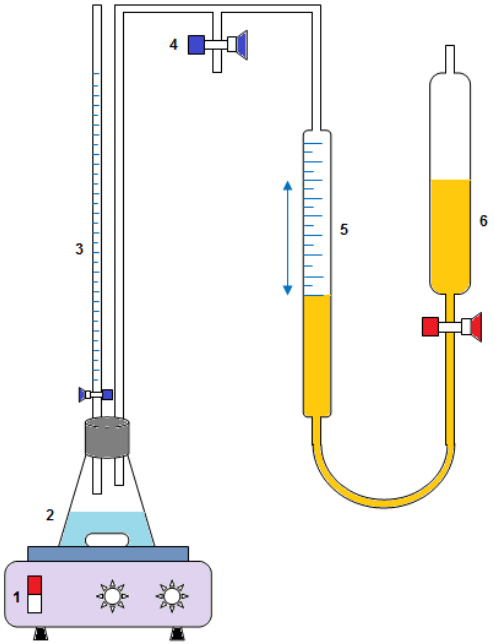
Q_{liquid} adalah laju alir *liquid* (m^3/s), C'_{in} dan C'_{out} adalah konsentrasi CO_2 *inlet* dan *outlet* dalam fase liquid (mol/m^3), A adalah luas kontak membran *hollow fiber* (m^2), dan Tg adalah temperatur transisi gelas polimer (^oC)

Sedangkan untuk menghitung nilai efisiensi desorpsi CO_2 (η) dapat menggunakan persamaan yang digunakan oleh (Zhen Wang, dkk. 2014) :

$$\eta = \left(1 - \frac{\alpha \; lean}{\alpha \; rich}\right) x100\% \text{.....(III.2)}$$

α adalah CO_2 *loading* di dalam pelarut (mol CO_2/mol pelarut). α_{rich} adalah CO_2 *loading* pada pelarut masuk kontaktor membran, α_{lean} adalah CO_2 loading pada pelarut keluar kontaktor membran..

III.6.2 Titrasi *Chittic*



Keterangan

1 : pengaduk magnetik
2 : labu erlenmeyer berisi sampel
3 : buret
4 : valve release gas
5 : *measurring burette*
6 : *levelling bulb*

Gambar III.3 Skema Alat Titrasi *Chittic*

Konsentrasi CO_2 di dalam pelarut ditentukan dengan analisa titrasi chittick, skema alat ditunjukkan oleh **Gambar III.3**. Labu erlenmeyer berisi sampel pelarut dengan indikator (*methyl orange*) dihubungkan dengan dua saluran. Sambungan pertama dihubungkan dengan buret untuk titrasi dan sambungan kedua dihubungkan dengan U-*tube* manometer. Sampel pelarut ditrasi dengan larutan HCl (1 M) dari tabung buret hingga warna sampel pelarut berubah dari kuning menjadi merah. CO_2 yang terlepas dari sampel ditangkap oleh larutan garam NaCl jenuh yang ada di *levelling bulb* melalui U-*tube*. Jumlah CO_2 yang terlepas tersebut dapat diketahui berapa jumlahnya dari perubahan volume yang ditunjukkan oleh *measuring burette*.

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

$$\alpha = \frac{mol(CO_2)}{mol(pelarut)} = \left[\frac{\frac{(V_{gas} - V_{HCl})(P)(273K)}{(101325\,Pa)(T)(22{,}4L/mol)}}{C_1 V_1} \right] \quad \text{.....(III.3)}$$

(Rahim, dkk. 2015

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

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh suhu pelarut, pengaruh penambahan activator, dan pengaruh penggunaan *sweep gas* N_2 terhadap fluks dan efisiensi desorpsi CO_2. Material membran yang digunakan adalah membran polipropilena *hollow fiber*.

Prinsip dari proses desorpsi adalah adanya perbedaan konsentrasi sehingga mendorong difusi gas CO_2 dari konsentrasi tinggi menuju konsentrasi rendah, yang kemudian CO2 yang terlepas dari pelarut akan dibawa oleh *sweep gas* N_2. Respon yang diukur untuk kedua tujuan penelitian ini adalah fluks desorpsi CO_2 serta efisiensi pemisahan CO_2.

Variabel yang diperhitungkan untuk mendapatkan variabel respon adalah suhu pelarut. Variabel yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah CO_2 *loading* dalam pelarut yang masuk ke dalam modul membran, laju alir *sweep gas*, dan laju alir pelarut. Sedangkan variabel masukan dalam penelitian ini adalah suhu pelarut. Tekanan yang digunakan dalam keseluruhan penelitian ini adalah tekanan atmosfer 1 atm dan suhu ruangan yang berkisar pada suhu 30^{o}C.

Selain itu, hasil dalam penelitian ini akan dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya (Hafan dan Yusuf, 2017) yang menggunakan tekanan vakum untuk proses desorpsi CO_2 menggunakan modul kontaktor membran. Sehingga akan diketahui bagaimana pengaruh penggunaan *sweep gas* dan tekanan vakum untuk proses desorpsi CO_2 dengan menggunakan modul kontaktor membran.

Penelitian diawali dengan mengalirkan gas CO_2 ke dalam pelarut selama beberapa saat hingga tercapai CO_2 *loading* dalam pelarut sesuai dengan yang diinginkan. Pengambilan sampel setiap variabel pada penelitian ini dilakukan setelah penelitian berjalan

selama 15 menit. Perhitungan waktu 15 menit dimulai ketika pelarut keluar dari modul membran menuju tempat penampungan. Setelah 15 menit, pelarut yang berada di keluaran ditampung dan kemudian konsentrasi CO_2 yang berada pada sampel dianalisa dengan menggunakan analisa *chittick.*

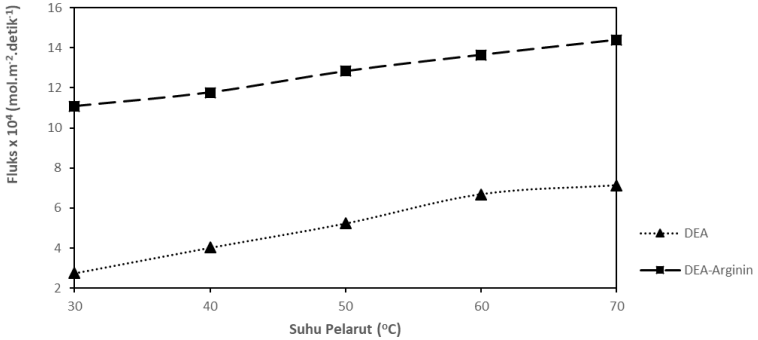
IV.1 Pengaruh Suhu Pelarut terhadap Fluks Desorpsi

Proses desorpsi merupakan proses regenerasi terhadap pelarut dimana gas CO_2 yang terikat di dalam pelarut terlepas sehingga pelarut dapat digunakan kembali sebagai absorben. Dalam penelitian ini proses desorpsi dilakukan dengan variasi suhu pelarut masuk kontaktor membran desorpsi antara 30-70 ^oC. Pemanasan dilakukan bertujuan supaya CO_2 yang larut dalam fasa cairan mudah terlepas dari pelarut sehingga gas CO_2 dapat berdifusi melewati pori membran dan berpindah ke sisi fasa gas.

Pengaruh suhu pelarut terhadap fluks desorpsi CO_2 yaitu fluks semakin meningkat dengan bertambahnya suhu pelarut. Hasil ini ditunjukkan oleh **Gambar IV.1**. Hal ini dikarenakan suhu pelarut menghasilkan panas yang dibutuhkan untuk melepas CO_2 dari pelarut. Selain itu panas yang berasal dari suhu pelarut menghasilkan energi yang digunakan untuk melepas CO_2 dari pelarut. Semakin tinggi suhu pelarut, maka kelarutan CO_2 menurun sehingga CO_2 mudah terlepas dari pelarut dan terlepas ke udara bebas (Anoar Ali Khan, 2017).

Jika dibandingkan dengan dua jenis pelarut yang digunakan, DEA tanpa aktivator dan DEA-Arginin, adanya aktivator arginin memberikan hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan DEA tanpa aktivator. Nilai fluks desorpsi tertinggi untuk DEA adalah $7{,}13 \times 10^{-4}$ mol/m^2.detik pada suhu 70^oC dan untuk DEA-Arginin adalah $14{,}39 \times 10^{-4}$ mol/m^2.detik pada suhu 70^oC. sehingga fluks DEA-Arginin adalah 2 kali dari DEA tanpa aktivator. Pengaruh arginin sebagai aktivator terhadap nilai fluks desorpsi CO_2 yaitu aktivator bergerak bebas antara lapisan batas cairan dengan fasa cairan sebagai pembawa CO_2 yang akan meningkatkan laju perpindahan massa CO_2 (Lu, dkk. 2007). Selain

itu dapat juga terjadi karena adanya pengaruh jumlah grup amin (NH_2) dalam struktur molekul aktivator terhadap kinerja efisiensi CO_2.



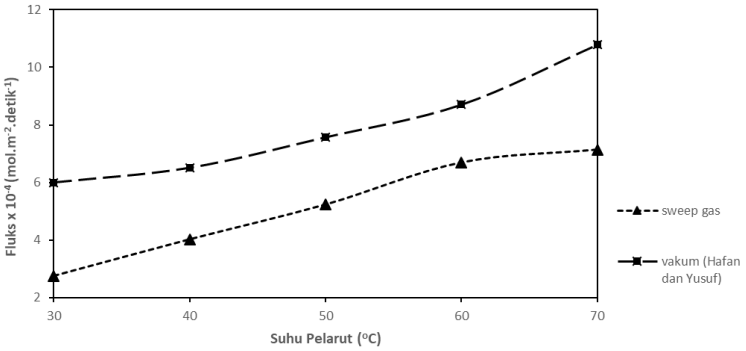
Gambar IV.1 Pengaruh suhu pelarut terhadap fluks desorpsi CO_2 pada pelarut DEA dan DEA-Arginin

IV.2 Fluks Desorpsi CO_2 Proses *Sweep Gas*

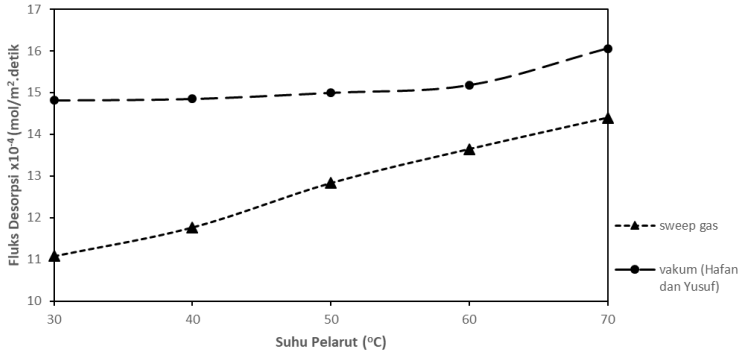
Pada **Gambar IV.2** terlihat bahwa fluks desorpsi CO_2 yang dihasilkan dengan menggunakan proses vakum lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan proses *sweep gas*. Hal ini juga telah dibuktikan dalam beberapa penelitian sebelumnya bahwa hanya dengan teknologi vakum, gaya pendorong perpindahan massa CO_2 dapat ditingkatkan. Selain itu fluks desorpsi CO_2 yang meningkat menyebabkan laju perpindahan massa CO_2 semakin cepat berdifusi melalui pori membran ke sisi fasa gas dan menyebabkan jumlah CO_2 yang berhasil terlepas dari pelarut serta terikut dalam aliran vakum semakin besar (Wang, dkk. 2013).

Nilai fluks desorpsi CO_2 menggunakan pelarut DEA pada suhu 70^{o}C dengan menggunakan proses *sweep gas* adalah $7{,}13 \times 10^{-4}$ mol/m^2.detik, sedangkan dengan pelarut dan suhu pelarut yang sama nilai fluks desorpsi CO_2 dengan menggunakan proses vakum adalah $10{,}78 \times 10^{-4}$ mol/m^2.detik. Nilai fluks desorpsi CO_2 menggunakan pelarut DEA-Arginin pada suhu 70^{o}C dengan menggunakan proses *sweep gas* adalah $14{,}39 \times 10^{-4}$ mol/m^2.detik,

sedangkan dengan pelarut dan suhu yang sama nilai fluks desorpsi CO_2 dengan menggunakan proses vakum adalah $16{,}05 \times 10^{-4}$ mol/m^2.detik.



(a)



(b)

Gambar IV.2 Pengaruh suhu pelarut terhadap fluks desorpsi CO_2 pada pelarut (a) DEA dan (b) DEA-Arginin menggunakan proses *sweep gas* dan vakum

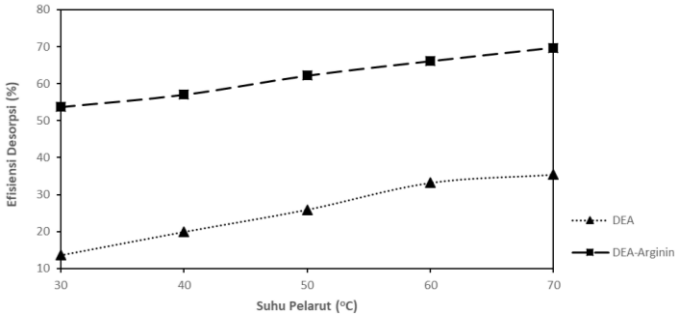
IV.3 Pengaruh Suhu Pelarut terhadap Efisiensi Desorpsi CO_2

Pada keadaan operasi yang sama, efisiensi desorpsi CO_2 meningkat dengan meningkatnya suhu pelarut. Seperti yang ditunjukkan **Gambar IV.3** hal tersebut disebabkan oleh pengaruh

dari panas yang dihasilkan oleh suhu pelarut yang menghasilkan energi untuk memisahkan CO_2 dari pelarut. Energi yang dihasilkan oleh panas akan semakin besar jika suhu pelarut meningkat (Khan, 2017).

Yan, dkk. melakukan penelitian desorpsi CO_2 dengan menggunakan kontaktor membran polipropilen dan variasi suhu pelarut. Yan, dkk. menyatakan bahwa seiring naiknya suhu pelarut, efisiensi kinerja regenerasi semakin meningkat. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi suhu, maka kinetika reaksi kimia dan koefisien difusi CO_2 juga meningkat yang menyebabkan konsentrasi CO_2 terlarut yang berkesetimbangan dalam pelarut akan berpindah ke sisi yang konsentrasinya rendah sehingga mengakibatkan gaya pendorong terjadinya perpindahan massa CO_2 bertambah besar. Koefisien difusi dan *enhancement factor* yang meningkat juga dapat menyebabkan penurunan viskositas larutan yang akan meningkatkan laju perpindahan massa CO_2.

(Wang, dkk. 2012) melakukan desorpsi CO_2 dengan menggunakan kontaktor membran teknologi regenerasi vakum dan disimpulkan bahwa pelarut yang memiliki jumlah grup amin paling banyak akan menghasilkan efisiensi desorpsi CO_2 yang paling tinggi. Hal ini terjadi karena grup amin yang banyak akan membuat pelarut lebih reaktif sehingga mendorong terjadinya pelepasan CO_2 dalam pelarut.



Gambar IV.3 Pengaruh suhu pelarut terhadap efisiensi desorpsi pada pelarut DEA dan DEA-Arginin.

Gambar IV.3 menunjukkan pengaruh perubahan suhu terhadap efisiensi desorpsi pada pelarut DEA dan DEA-Arginin. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pelarut DEA-Arginin menghasilkan efisiensi desorpsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan pelarut DEA. Terlihat pada suhu 70^{o}C efisiensi desorpsi yang dihasilkan pelarut DEA-Arginin adalah 69,73% sedangkan pada suhu 70^{o}C pelarut DEA menghasilkan efisiensi desorpsi sebesar 35,41%. Hal ini dikarenakan pH pelarut yang lebih rendah akan lebih mudah meningkatkan tekanan parsial CO_2 sehingga CO_2 akan mudah terlepas dari pelarut.

Dalam proses desorpsi mekanisme reaksi yang dapat terjadi selama regenerasi pelarut dan pelepasan CO_2 adalah sebagai berikut :

$HNCHR'COOHCOO^- + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2NCHR'COOH + OH^-$ ……..…….....(IV.1)

$HCO_3^- \leftrightarrow CO_2 + OH^-$……..... (IV.2)

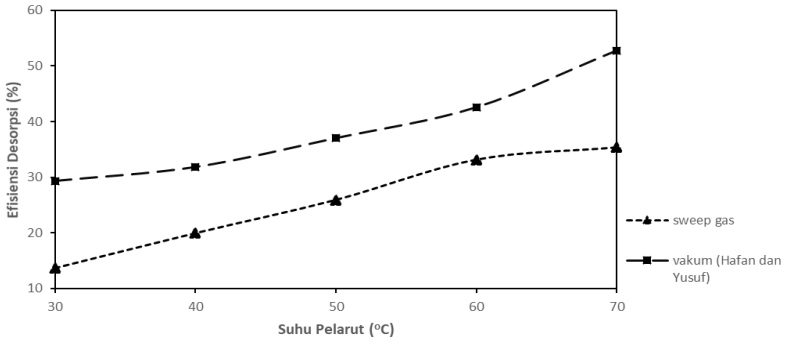
$CO_3^{2-} + H_2O \leftrightarrow CO_2 + 2OH^-$..... (IV.3)

Dalam reaksi (IV.1) terlihat bahwa karbamat terhidrolisa menjadi amin dan CO_2. Kestabilan karbamat dalam reaksi tersebut menentukan entalpi penguraian karbamat untuk pelepasan CO_2 (Jordan. dkk, 2017)

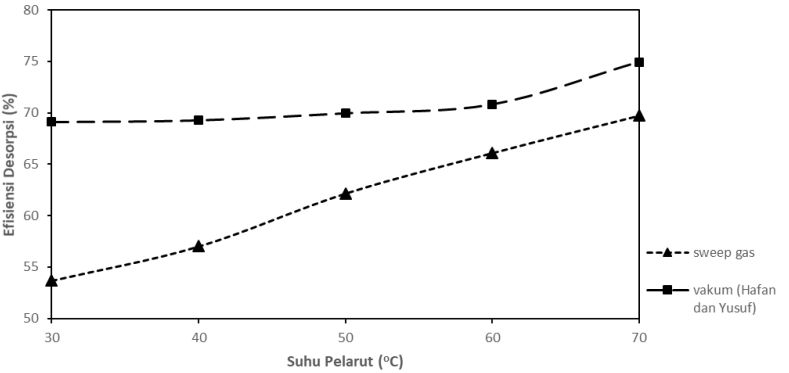
IV.4 Efisiensi Desorpsi CO_2 Proses *Sweep Gas*

Gambar IV.4 menunjukkan bahwa efisiensi desorpsi yang dihasilkan dengan menggunakan proses vakum lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan proses *sweep gas*.

Berdasarkan hasil percobaan, nilai efisiensi desorpsi CO_2 menggunakan pelarut DEA pada suhu 70^{o}C menggunakan proses *sweep gas* adalah 35,41%, sedangkan dengan pelarut dan suhu yang sama efisiensi desorpsi CO_2 menggunakan proses vakum adalah 52,77%. Nilai efisiensi desorpsi CO_2 menggunakan pelarut DEA-Arginin pada suhu 70^{o}C menggunakan proses *sweep gas* adalah 69,73%, sedangkan dengan pelarut dan suhu yang sama efisiensi desorpsi CO_2 menggunakan proses vakum adalah 74,91%.



(a)



(b)

Gambar IV.4 Pengaruh suhu pelarut terhadap efisiensi desorpsi CO_2 pada pelarut (a) DEA dan (b) DEA-Arginin menggunakan proses *sweep gas* dan vakum

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

1. Nilai fluks dan efisiensi desorpsi CO_2 meningkat seiring dengan meningkatnya suhu pelarut 30-70 ^oC terhadap proses desorpsi. Nilai fluks desorpsi tertinggi adalah $16{,}05x10^{-4}$ mol/m^2.detik pada suhu 70^oC, sedangkan efisiensi desorpsi tertinggi adalah 74,91% pada suhu 70^oC.

2. Berdasarkan kedua proses, yaitu *sweep gas* dan vakum, proses vakum memberikan hasil yang lebih baik. Fluks desorpsi CO_2 untuk proses *sweep gas* adalah $14{,}39x10^{-4}$ mol/m^2.detik pada suhu 70^oC, sedangkan fluks desorpsi CO_2 untuk proses vakum adalah $16{,}05x10^{-4}$ mol/m^2.detik pada suhu 70^oC. Nilai efisiensi desorpsi CO_2 untuk proses *sweep gas* adalah 69,73% pada suhu 70^oC, sedangkan efisiensi desorpsi CO_2 untuk proses vakum adalah 74,91% pada suhu 70^oC.

V.2 Saran

1. Memastikan supaya tidak terjadi kebocoran pada setiap sambungan atau selang pada rangkaian alat percobaan supaya sampel yang diambil bisa menghasilkan data yang lebih akurat saat dianalisa.
2. Menutup rapat tempat pelarut saat dilakukan proses *bubbling* supaya gas CO_2 yang di*bubbling* tidak lepas ke udara yang dapat mengakibatkan proses analisa menjadi tidak akurat.

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

DAFTAR PUSTAKA

A. A. Khan, A. K. Saha. 2017. *Experimental investigation on efficient carbon dioxide piperazine (PZ) activated aqueous methyldiethanolamine (MDEA) solution in a packed column*. International Journal of Greenhouse Gas Control, 64, 163-173

Fang. M, Wang. Z, Yan. S, Cen. Q, dan Luo, Z. 2012. *CO_2 desorption from rich alkanolamine solution by using membrane vacuum regeneration technology*. International Journal of Greenhouse Gas Control

Feron, dan A.E. Jansen. 1995. *Capture of Carbon Dioxide using Membrane Gas Absorption and Reuse in the Horticultural Industry*. Energy Covers. vol 36, no 6-9, pp 411-414

Liu, H., Yao, C., Zhao, Y., Chen, G. 2017. *Desorption of carbon dioxide from aqueous MDEA solution in a microchannel reactor*. Chemical Engineering Journal 307, 776-784

Kartohardjono, S., Anggara, Subihi, dan Yuliusman. 2007. *Absorpsi CO_2 dari Campurannya dengan CH_4 atau N_2 melalui Kontaktor Membran Serat Berongga Menggunakan Pelarut Air*. 11(2) : 97–102.

Khaisri, S., deMontigny, D., Tontiwachwuthikul, P., dan Jiraratananon, R. 2011. *CO_2 stripping fropm monoethanolamine using a membrane contactor*. Journal of Membrane Science, vol 376, 110-118, 2011.

K. Sujatha, dan K.K. Sirkar. 1993. *Gas Absroption Studies in Microporous Hollow Fiber Membrane Modules*. New

Jersey: Department of Chemistry and Chemical Engineering.

K. Sutrasno, Anggara, Subihi, dan Yuliusman. 2007. *Absorpsi CO_2 Dari Campurannya Dengan CH_4 Atau N_2 Melalui Kontaktor Membran Serat Berongga Menggunakan Pelarut Air*. Universitas Indonesia: Depok.

Kidnay, Arthur J. 2006. *Fundamentals of Natural Gas Processing*. New York: CRC Press

Kohl, Arthur & Richard Nielsen. 1997. *Gas Purification*. Texas: Gulf Publishing.

Koonaphapdeelert, S., Wu, Z. 2009. *Carbon dioxide stripping in ceramic hollow fibre membrane contactors.* Chemical Engineerig Science 64, 1-8

Kumar, J. A., Hogendoorn, P.H.M. Feron, and G.F Versteeg. 2002. *New absorption liquids for the removal of CO_2 from dilute gas streams using membrane contactors*. Chemical Engineering Science

Kumazawa. 2000. *Absorption and desorption of CO_2 by aqueous solution of sterically hindered 2-amino-2-methyl-1-propanol in hydropobic microporous hollow fiber contained contactors*. Chem. Eng. Commun, vol 182, 163-179

Lu Gang-Jing. 2007. *Effect of Activators on Mass Transfer Enhancement in a Hollow Fiber Contactor using Activated Alkanolamine Solutions.* Nanjing University: China

MacInnes, Jordan M. 2017. *CO_2 absorption using diethanolamine-water solutions in a rotating spiral contactor*. Chemical Engineering Journal 307, 1084-1091

Mansourizadeh, dan Ismail, A. F. 2009. *Hollow fiber gas-liquid membrane contactors for acid gas capture: A review*. Journal of Hazardous Materials.

Mansourizadeh, A., dan Ismail, A. F. 2011. *CO_2 Stripping from Water Through Porous PVDF Holow Fiber Membrane Contactor*. Desalination. 273, 386–390.

M. Teramoto, Ohnishi, Takeuchi, Kitada, Matsuyama, and Mano. 2004. *Separation and enrichment of carbon dioxide by capillary membrane module with permeation of carrier solution*. Separation and Purification Technology, vol 30, no 3, 215-227

M. Sara, M.R. Rahimpour, dan M. Mehdipour. 2016. *Removal of cabon dioxide by aqueous amino acid salts using hollow fiber membrane contactors*. Journal of CO_2 Utilization.

P. I. Ardiyanto. 2016. *Kontaktor Membran Cair-Gas untuk Pemisahan Gas CO_2.* Institut Teknologi Bandung: Bandung.

Q. Zhang, and E.L. Cussler. 1985. *Microporous Hollow Fibers for Gas Absorption*. Journal of Membrane Science.

Rahim, Nihmiya Abdul. 2015. *Absorption of CO_2 from Natural Gas Using Different Amino Acid Salt Solutions and Regenerations Using Hollow Fiber Membrane Contactors.* Journal of Natural Gas Science and Engineering, 26, 108-117.

S. Michael, S.E. Kentish, dan G.W. Stevens. 2011. *Membrane stripping: Desorption of carbon dioxide from alkali solvents*. Journal of Membrane Science.

Sisakht. M. R, A.F. Ismail, D. Rana, T. Matsuura, dan D. Emadzadeh. 2013. *Carbon dioxide stripping from water through porous polysulfone hollow fiber membrane contactor*. Separation and Purification Technology.

Sisakht. M. R, A.F. Ismail, D. Rana, T. Matsuura, dan D. Emadzadeh. 2014. *Study on CO_2 stripping from water through novel surface modified PVDF hollow fiber membrane contactor*. Chemical Engineering Journal.

Takahasi, N., Matsuzaki, K., Funai, T., Wada, T., Fukunaga, H., Takatsuka, T., dan Mano, H. 2013. *Effects of membrane properties on CO2 desorption from chemical absorbents using a membrane flash process.* Energy Procedia, 37, 1060-1066.

W. Zhen, M. Fang, Q. Ma, Z. Zhao, T. Wang, Z. Luo. 2014. *membrane stripping technology for CO_2 desorption from CO_2-rich absorbents with low energy consumption*. Elsevier. LTD.

W. Zhen. 2013. *Membrane Stripping Technology for CO2 Desorption from CO_2-Rich Absorbent with Low Energy Consumption.* Energy Procedia, 63, 765-772

Zhang, Yan, Zhang, L., dan Ju. 2014. *Hollow Fiber Membrane Contactor Absorption of CO_2 from the Flue Gas: Review and Perspective*. Global Nest Journal, vol 16, no 2, pp 354-373.

DAFTAR NOTASI

BM	Berat molekul	(gr/mol)
C	Konsentrasi gas	(mol/L)
d_i	Diameter dalam membran	(mm)
d_o	Diameter luar membran	(mm)
d_p	Diameter pori membran	(mm)
J	Laju perpindahan massa	(mol/s.m^2)
Q_L	Laju Alir Pelarut	(ml/menit)
Q_G	Laju Alir gas	(ml/menit)
A	Luas kontak gas-cair	(m^2)
T_g	Temperatur gas	(K)
η	Persentase CO_2 yang terambil	(%)
α	CO_2 *loading*	-

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

APPENDIKS

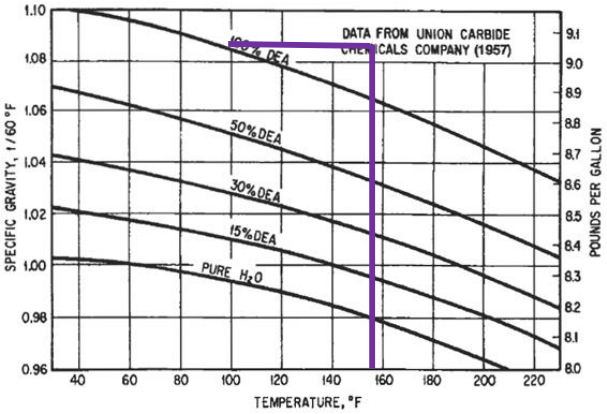
I. Perhitungan Kebutuhan Pelarut

I.1 Pembuatan Larutan DEA 30% Berat

Larutan DEA diencerkan dari konsentrasi 98% berat menjadi 30% berat. Perhitungan pengencerannya adalah sebagai berikut.

BM $_{DEA}$ = 105,14

Suhu air = 30^{o}C = 86^{o}C



(Sumber : Kohl & Nielsen, 1997)

Gambar I.1 Grafik *Specific Gravity* Pelarut DEA

s.g. $_{DEA}$ = 1,088 (dari grafik 100% DEA)

ρ $_{air}$ = 0,995 g/cm^3 (Geankoplis, 2003)

= 0,995 kg/L

ρ $_{DEA\ 98\%}$ = *s.g.* $_{DEA\ 98\%}$ x ρ $_{air}$

= 1,088 x 0,995 g/cm^3

= 1,083 g/cm^3

= 1,083 kg/L

$M_{DEA\ 98\%} = \frac{\rho \text{ x } \%massa\ \%\ 10}{BM}$

$= \frac{1{,}083\ x\ 98\ x\ 10}{105{,}14}$

$= 10{,}095$ M

$\rho_{DEA\ 30\%} = s.g._{DEA\ 30\%}\ x\ \rho_{air}$

$= 1{,}033\ x\ 0{,}995$ g/cm^3

$= 1{,}028$ g/cm^3

$M_{DEA\ 30\%} = \frac{\rho\ x\ \%massa\ x\ 10}{BM}$

$= \frac{1{,}028\ x\ 30\ x\ 10}{105{,}14}$

$= 2{,}933$ M

Ditentukan :
Laju alir pelarut masuk kontaktor membran = 100 ml/menit
Waktu operasi = 15 menit
Maka olume larutan yang dibutuhkan :
$V_{larutan}$ = 100 ml/menit *x* 15 menit
= 1500 ml

Dikarenakan terdapat 5 variasi suhu pelarut masuk, maka
$V_{larutan}$ = 1500 ml *x* 5
= 7500 ml
= 7,5 L

Larutan DEA 98% berat diencerkan menjadi 30% berat dengan volume 1 L. Pengenceran:
$M_1\ x\ V_1 = M_2\ x\ V_2$

$V_1 = \frac{M2\ x\ V2}{M1}$

$V_1 = \frac{2{,}933M\ x\ 1L}{10{,}095M}$

V_1 = 0,2905 L
= 290,5 ml

Sehingga untuk membuat 1 L DEA 30% berat dibutuhkan 290,54 ml DEA 98% berat.

I.2 Pembuatan Larutan DEA-Arginin 30% Berat

Ditentukan :

Laju alir pelarut masuk kontaktor membran = 100 ml/menit

Waktu operasi = 15 menit

Maka olume larutan yang dibutuhkan :

$V_{larutan}$ = 100 ml/menit *x* 15 menit

= 1500 ml

Dikarenakan terdapat 5 variasi suhu pelarut masuk, maka

$V_{larutan}$ = 1500 ml *x* 5

= 7500 ml

= 7,5 L

Misal membuat 1 L DEA-Arginin 30% berat dengan perbandingan DEA 29% berat dan Arginin 1% berat, maka

DEA = 290 gram = 0,29 kg

Arginin = 10 gram = 0,01 kg

Akuades = 700 gram = 0,7 kg

Sehingga volume yang dibutuhkan :

$V_{DEA\ 29\%} = \frac{m}{\rho}$

$= \frac{0{,}29\ kg}{1{,}083\frac{kg}{L}}$

= 0,2677 L

$V_{Arginin} = \frac{m}{\rho}$

$= \frac{0{,}01\ kg}{1{,}3\frac{kg}{L}}$

= 0,0077 L

$V_{Akuades} = \frac{m}{\rho}$

$= \frac{0{,}7\ kg}{0{,}995\ kg/L}$

= 0,7035 L

$\rho_{larutan} = \frac{m_{DEA}+m_{Arginine}+m_{air}}{V_{DEA}+V_{Arginine}+V_{air}}$

$= \frac{0{,}29\ kg+0{,}01\ kg+0{,}7\ kg}{0{,}2677\ L+0{,}0077\ L+0{,}7035\ L}$

= 1,0215 kg/L

Misal ingin dibuat volume campuran DEA-Arginin 30% sebanyak 1 L, maka

$m_{campuran}$ = $\rho_{campuran} \times v_{campuran}$
= 1,0215 kg/L *x* 1 L
= 1,0215 kg

Sehingga dibutuhkan :

$m_{DEA\ 29\%}$ = $\rho_{campuran} \times v_{DEA\ 29\%}$
= 1,0215 kg/L *x* 0,29 kg
= 0,29624 kg

$m_{Arginin\ 1\%}$ = $\rho_{campuran} \times v_{Arginin\ 1\%}$
= 1,0215 kg/L *x* 0,01 kg
= 0,01022 kg

$m_{Akuades}$ = $\rho_{campuran} \times v_{Akuades}$
= 1,0215 kg/L *x* 0,7 kg
= 0,71505 kg

Konsentrasi larutan DEA-Arginin adalah:

$$Molaritas = \frac{(m_{DEA}/BM_{DEA}) + (m_{Arginine}/BM_{Arginine})}{V_{larutan}}$$

$$= \frac{\frac{296{,}24\ g}{105{,}14\ g/gmol} + \frac{10{,}22\ g}{174{,}2\ g/gmol}}{1\ L}$$

= 2,8762 mol/L

II. Uji Pengaruh Parameter Operasi

II.1 Data Hasil Percobaan

II.1.1 Proses Desorpsi CO_2

No	Variabel		Pengolahan Data							
	Pelarut	Suhu (°C)	CO_2 di *rich solvent*		CO_2 di *lean solvent*		Fluks Desorpsi (mol/m^2.s)	CO2 *loading* di *rich solvent*	CO2 *loading* di *lean solvent*	Efisiensi Desorpsi (%)
			m (gram)	vol (ml)	m (gram)	vol (ml)				
1	DEA	30	0,281	141,85	0,242	122,46	0,000275	0,2176	0,188	13,67
		40			0,225	113,52	0,000402		0,174	19,97
		50			0,208	105,03	0,000523		0,161	25,96
		60			0,188	94,75	0,00067		0,145	33,21
		70			0,181	91,62	0,000713		0,14	35,41
2	DEA-Arginin	30	0,287	144,8	0,133	67,05	0,00111	0,2265	0,105	53,69
		40			0,123	62,23	0,00117		0,097	57,02
		50			0,108	54,78	0,00128		0,086	62,16
		60			0,097	49,08	0,00136		0,077	66,1
		70			0,087	43,83	0,00144		0,068	69,73

II.2 Metode dan Perhitungan

- Fluks Desorpsi

Laju perpindahan massa (fluks) desorpsi CO_2 dihitung dengan menggunakan persamaan yang digunakan oleh Rahim dkk, (2015). Rumus fluks desorpsi adalah sebagai berikut :

$$J'_{CO_2} = \frac{\left(C'_{in} - C'_{out}\right) \times 273{,}15 \times Q_l}{0{,}0224 \; x \; T_g \; x \; A}$$

……(1)

dimana :

C'$_{in}$ dan C'$_{out}$: konsentrasi CO_2 *inlet* dan *outlet* dalam fase liquid (mol/m^3)

Q_l : laju alir pelarut (m^3/s).

Tg : suhu lingkungan (^{0}C)

A : luas kontak gas-liquid (m^2)

Contoh perhitungan fluks desorpsi

Data hasil percobaan :

T_g = 30^{o}C = 302,15 K

A = 0,05107 m^2

$$J'_{CO_2} = \frac{\left(C'_{in} - C'_{out}\right) \times 273{,}15 \times Q_l}{0{,}0224 \; x \; T_g \; x \; A}$$

$$= \frac{\left(141{,}85 - 122{,}46\right)10 - 6 \times 273{,}15}{0{,}0224 \; x \; 303 \, x \; 0{,}04127871 \, x 60}$$

= 2,75 x 10^{-4} mol/m^2.s

Jadi fluks desorpsinya sebesar 2,75 x 10^{-4} mol/m^2.s

- Efisiensi Desorpsi

  Efisiensi Desorpsi CO_2 dihitung dengan menggunakan persamaan yang digunakan oleh Zhen Wang, dkk (2014). Rumus efisiensi desorpsi adalah sebagai berikut :

$$\eta = \left(1 - \frac{\alpha\ lean}{\alpha\ rich}\right) x100\%$$

……...(2)

dimana :
α adalah CO_2 *loading* di dalam pelarut (mol CO_2/mol pelarut).

Contoh perhitungan efisiensi desorpsi

Data hasil percobaan :

$\alpha\ rich$ = 0,2176

$\alpha\ lean$ = 0,188

$$\eta = \left(1 - \frac{0{,}188}{0{,}2176}\right) x100\%$$

= 13,67%

Jadi efisiensi desorpsinya sebesar 13,67%

- CO_2 *loading*

Contoh perhitungan CO_2 loading

Data hasil percobaan :

V_{gas} : 27,4 ml
P : 101,325 Pa
T : 303 K
C_1 : 2,933 mol/L
V_1 : 2 ml

Dimana :

V_{gas} : perubahan volume NaCl pada *measuring burette* (ml)
P : tekanan atmosfer (Pa)

T : suhu ruangan (K)
C_1 : konsentrasi Pelarut (mol/L)
V_1 : volume sampel (ml)

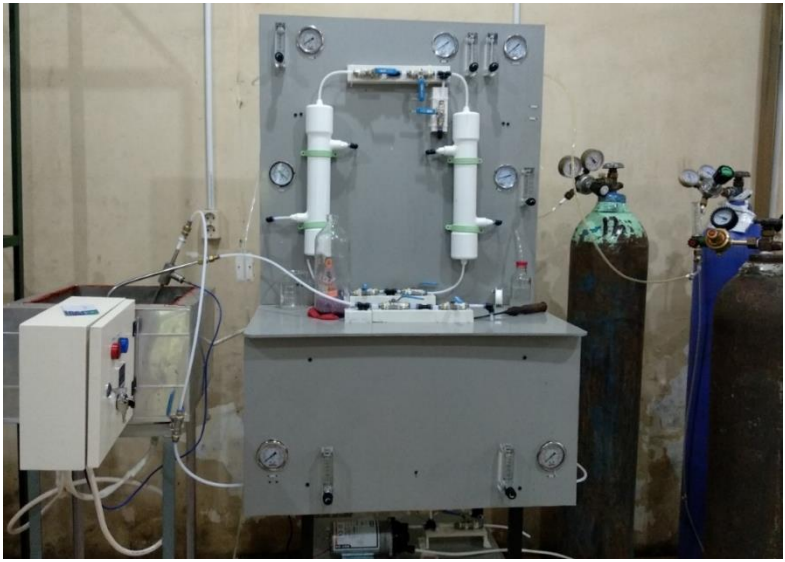
$$\alpha = \frac{mol(CO_2)}{mol(pelarut)} = \left[\frac{\frac{(V_{HCl})(P)(273K)}{(101325\,Pa)(T)(22{,}4L/mol)}}{C_1 V_1} \right]$$

$$\alpha = \frac{\frac{(27{,}4)\times 101{,}325 \times 273}{101325 \times 303 \times 22{,}4}}{2{,}933 \times 2}$$

$$\alpha = 0{,}188 \frac{mol(CO_2)}{mol(pelarut)}$$

LAMPIRAN

GAMBAR ALAT PENELITIAN



Gambar Rangkaian Alat Desorpsi CO_2

Gambar Rangkaian Alat Titrasi *Chittick*

RIWAYAT HIDUP PENULIS

Yangki Aditya Djaya

Yangki Aditya Djaya lahir di Pekanbaru, Riau pada tanggal 30 Agustus 1994. Menempuh pendidikan formal di SD Bopkri Gondolayu Yogyakarta tahun 2000-2006, kemudian melanjutkan pendidikan tingkat menengah di SMP Stella Duce 1 Yogyakarta tahun 2006-2009 dan melanjutkan pendidikan menegah atas di SMA Kristen Petra 5 Surabaya tahun 2009-2012. Setelah lulus dari pendidikan SMA, penulis melanjutkan ke tingkat sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Kimia pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 2312100006. Di jurusan teknik kimia, penulis mengambil tugas akhir bidang perpindahan panas dan massa dengan spesialisasi teknologi aplikasi membran di bawah bimbingan Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T. dan Siti Nurkhamidah, S.T., M.Sc., Ph.D.. Selain aktif di bidang akademis penulis juga pernah menjadi pengurus Persekutuan Doa Kristen Katolik (PDKK) Teknik Kimia ITS tahun 2014-2015. Penulis pernah mendapatkan kesempatan untuk kerja praktek di Chandra Asri Petrochemical, Cilegon, Banten tahun 2015.