

Tinjauan Proses Penyerapan Gas Karbon Dioksida (CO₂) Menggunakan Absorben Air (H₂O) pada Kolom Absorpsi Jenis *Packing*

Novi Sylvia^{*)}, Rahmad Zulhadika, Annisa Ginting, Lukman Hakim

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Kampus Bukit Indah, Lhokseumawe

^{*)}Email : nxsylvia@gmail.com

Abstrak

Absorpsi adalah proses penyerapan uap dari campuran dengan gas yang tidak aktif atau lembam (*inert gas*) dengan bantuan zat cair dimana gas terlarut (*solute gas*) dapat larut banyak atau sedikit. Proses absorpsi terbagi dua, yaitu absorpsi fisika (tidak ada reaksi kimia) dan absorpsi kimia (dikuti reaksi kimia). Pelarut (*solvent*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah air dan *solute gas* yang diserap adalah gas CO₂. Karbon dioksida (CO₂) adalah senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen terikat kovalen dengan atom karbon. Berbentuk gas pada temperatur dan tekanan standar dan berada di atmosfer. Penelitian ini menggunakan kolom absorpsi dengan jenis *packing rasching ring* dan tanpa *packing*. Variasi waktu kontak 25 menit, 50 menit dan 75 menit pada setiap run. Tinggi *packing rasching ring* 2 cm, 5 cm, 10 cm dan 15 cm. Laju alir *solvent* dan gas yang masuk ke dalam kolom ditetapkan yaitu 1 L/menit. Analisa kadar CO₂ terlarut dilakukan menggunakan analisa *volumetric* menggunakan titran NaOH 0,04 N. Dari hasil analisa diketahui bahwa waktu kontak, tinggi *packing* dan volume titran berbanding lurus dengan kadar CO₂ yang diserap oleh pelarut (*solvent*).

Kata kunci : *Absorpsi, Analisa Volumetric, Gas Terlarut (solute gas), Pelarut (solvent)*

Abstract

Absorption is the process of absorbing steam from a mixture with an inactive or inert gas with the help of a liquid where dissolved gas (solute gas) can dissolve a lot or a little. The absorption process is divided into two, namely physical absorption (no chemical reaction) and chemical absorption (followed by chemical reactions). The solvent used in this study is water and the solute of gas absorbed is CO₂ gas. Carbon dioxide (CO₂) is a chemical compound consisting of two oxygen atoms bound to covalently with carbon atoms. Gaseous at standard temperatures and pressures and in the atmosphere. This research uses absorption column with type of rasching ring packing and without packing. Variation of contact time is 25 minutes, 50 minutes and 75 minutes at each run. High rasching ring packing 2 cm, 5 cm, 10 cm and 15 cm. The solvent and gas flow rates that enter the column are set at 1 L / minute. Analysis of dissolved CO₂ levels was carried out using volumetric analysis using 0.04 N. NaOH titrant. From the results of the analysis, it was known that contact time, packing height and titrant volume were directly proportional to the level of CO₂ absorbed by the solvent.

Keywords : *Absorption, Solvent, Solute Gas, Volumetric Analys*

1. PENDAHULUAN

Karbon dioksida (CO₂) merupakan sumber masalah utama fenomena pemanasan global, yang kini merupakan tantangan terbesar yang dihadapi oleh seluruh masyarakat dunia. Salah satu usaha untuk mengendalikan emisi *greenhouse gas* yang populer dilakukan saat ini adalah penghilangan CO₂ dari *flue gas*, yang diharapkan dapat menjadi faktor penghambat pemanasan global. Di lain pihak, pemisahan CO₂ dari aliran gas merupakan langkah penting dalam beberapa proses industri dan dibutuhkan baik untuk alasan teknis, ekonomi maupun lingkungan. Pada industri pencairan gas alam (LNG), CO₂ harus dipisahkan untuk mencegah pembekuan pada *chiller* bersuhu rendah. Sedangkan pada aliran gas yang mengandung uap air, CO₂ akan menjadi

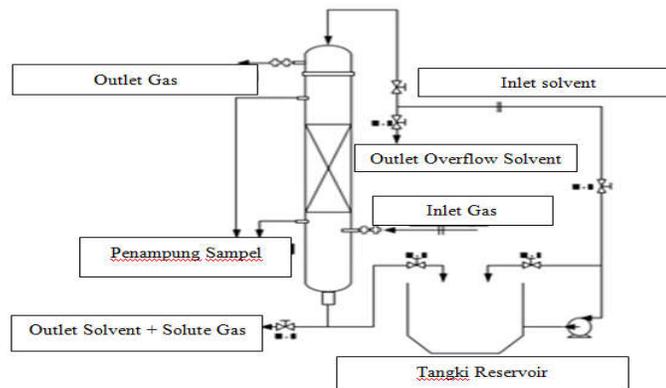
gas asam yang menyebabkan korosi pada peralatan proses. Selain itu, kehadiran CO₂ pada aliran gas alam menurunkan nilai kalor aliran gas dan menyebabkan penurunan kapasitas pemipaan (Takeya, 1952).

Hingga saat ini, teknologi yang paling banyak digunakan dalam pemisahan CO₂ adalah absorpsi menggunakan larutan alkanolamin pada peralatan kontak konvensional berupa kolom unggun tetap maupun *tray*. Namun, selain membutuhkan ruang yang luas, proses ini memerlukan *initial investment cost* yang tinggi dikarenakan pelarut yang digunakan (alkanolamin) untuk proses ini mahal. Sementara itu, pemisahan CO₂ menggunakan unggun tetap merupakan proses yang mudah untuk dijalankan, tidak memerlukan ruang yang luas dan biaya yang digunakan tidak terlalu mahal (lebih ekonomis) apabila *solvent* yang digunakan lebih murah seperti air (Servatius, 2012). Penelitian kali ini dilakukan dengan variasi tinggi isian kolom, jenis isian kolom dan waktu kontak antara gas dan pelarut (*solvent*). Pelarut (*solvent*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah air keran yang terlebih dahulu akan diukur kandungan CO₂ terlarutnya sebelum digunakan sebagai *solvent*. Pengukuran terhadap CO₂ terlarut sebelum dan sesudah penyerapan dalam kolom absorber dilakukan dengan metode titrasi untuk memperoleh volume titran yang dihabiskan sampai dicapai titik akhir (titik ekuivalen). Hasil pengukuran tersebut digunakan untuk menghitung konsentrasi CO₂ yang terlarut dalam air pada kondisi awal (C₀) dan kondisi akhir (C₁).

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Variabel Penelitian

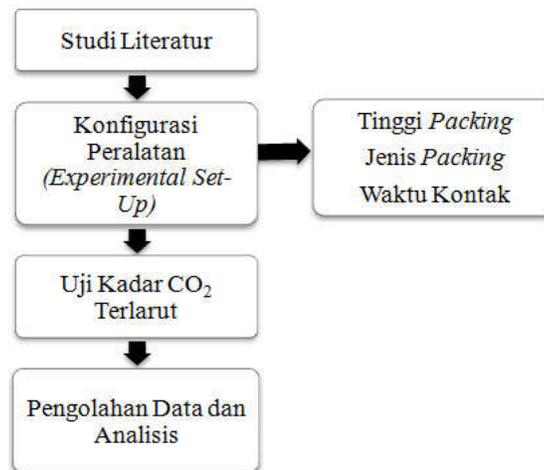
Variabel proses dalam penelitian ini terdiri dari variabel bebas, variabel tetap dan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah tinggi isian kolom (*packing*), jenis isian kolom dan waktu kontak dalam menit. Tinggi isian kolom 2 cm, 5 cm, 10 cm dan 15 cm. Absorber menggunakan *packing* dan tanpa *packing*. Waktu kontak yang digunakan 25 menit, 50 menit dan 75 menit. Variabel tetap adalah laju alir air (*solvent*) 1000 ml/menit dan laju alir gas karbon dioksida (*solute gas*) 1000 ml/menit. Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kadar gas karbon dioksida (CO₂) yang terserap dan penurunan tekanan (*pressure drop*).



Gambar 1. Skema Peralatan Percobaan

2.2 Alur Penelitian

Secara garis besar, penelitian ini dilakukan dalam empat tahap utama yaitu studi literatur, experimental set up, uji perpindahan massa, pengolahan data dan analisa hasil. Diagram alur penelitian yang dilakukan diperlihatkan pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Hasil yang diperoleh pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel.1 untuk hasil absorpsi dengan *packing* dan tabel 2 untuk absorpsi tanpa *packing*. Selengkapnya dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

Tabel 1. Hasil Pengamatan Menggunakan Kolom Jenis *Packing*

Tinggi <i>Packing</i> (cm)	Run	Waktu Kontak (menit)	ΔP (kg/cm ²)	Volume titran (ml)	Kadar CO ₂ (mg/L)
2	1	25	0,232	2,8	12,32
	2	50		3,4	14,96
	3	75		3,5	15,4
5	1	25	0,696	2,9	12,76
	2	50		3,6	15,84
	3	75		4,3	18,92
10	1	25	1,3	3,2	14,08
	2	50		4,1	18,04
	3	75		5,3	23,32
15	1	25	2,03	3,5	15,4
	2	50		5,1	22,44
	3	75		7,7	33,88

Tabel 2. Hasil Pengamatan dengan Kolom Tanpa *Packing*

Tinggi <i>Packing</i> (cm)	Run	Waktu Kontak (menit)	ΔP (kg/cm ²)	Volume titran (ml)	Kadar CO ₂ (mg/L)
-	1	25	0,232	2,6	11,44
	2	50		3,1	13,64
	3	75		3,3	14,52

Absorpsi gas karbon dioksida (CO₂) menggunakan kolom absorpsi jenis *packing rasching ring* dan tanpa *packing* dilakukan menggunakan pelarut (*solvent*) air kran yang telah diukur kadar CO₂ terlarut sebelum digunakan sebagai pelarut (*solvent*). Penelitian ini dilakukan dengan variasi tinggi *packing rasching ring* 2 cm, 5 cm, 10 cm dan 15 cm dengan 3 kali run pada setiap tinggi *packing*. Sedangkan kolom tanpa *packing* dilakukan

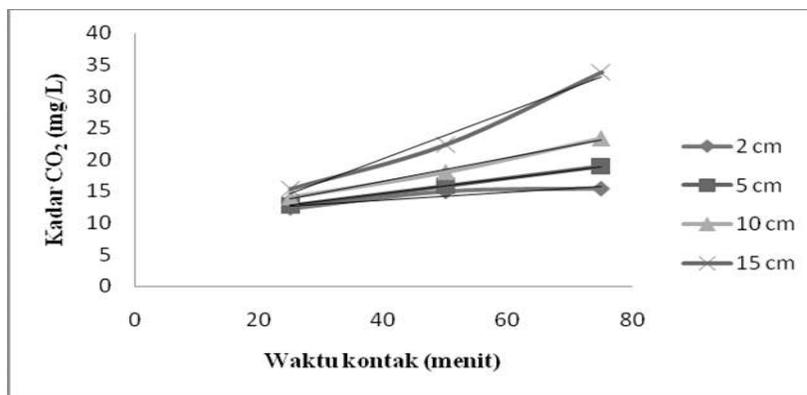
sampai 3 kali run dengan variasi waktu yang sama dengan kolom *packing rasching ring* 25 menit, 50 menit dan 75 menit.

Ditinjau dari hasil penelitian, diketahui bahwa tinggi *packing* sangat mempengaruhi penurunan tekanan (*pressure drop*) pada masing-masing aliran yang masuk ke dalam kolom absorpsi. Semakin tinggi *packing* yang digunakan maka *pressure drop* juga akan semakin tinggi. Begitu juga dengan proses penyerapan CO₂, dengan semakin tinggi *packing* maka kadar CO₂ yang terserap juga akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan, *packing* di dalam kolom absorpsi akan menghambat laju alir masing-masing fluida sehingga akan terjadi kontak yang lebih lama antara pelarut dan gas terlarut dengan kata lain luas permukaan masing-masing fluida akan semakin besar. Hal ini akan menyebabkan semakin tingginya kadar gas karbon dioksida yang terserap ke dalam pelarut.

3.2 Hubungan variabel bebas terhadap CO₂ yang terabsorpsi

Adapun kadar CO₂ yang terabsorpsi oleh *solvent* air dengan lama waktu kontak 25 menit, 50 menit dan 75 menit dilakukan menggunakan *packing* dan tanpa *packing*

- **Penyerapan CO₂ Menggunakan Packing**

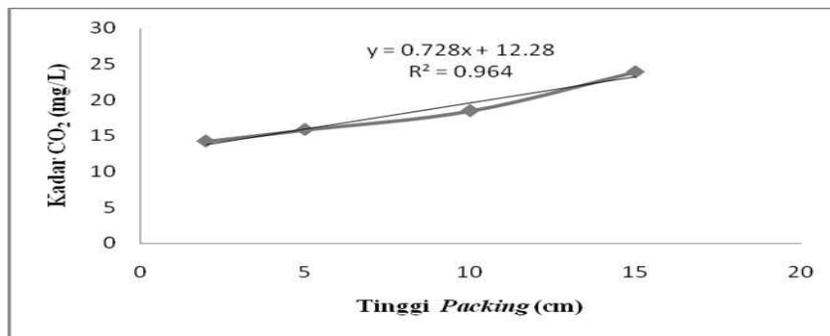


Gambar 3. Hubungan antara waktu kontak dengan kadar CO₂

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara waktu kontak dengan kadar CO₂ yang diperoleh pada setiap run untuk setiap tinggi *packing*. Semakin lama waktu kontak maka semakin tinggi kadar gas CO₂ yang terserap oleh *solvent*. Pada setiap waktu kontak kadar CO₂ terabsorpsi tertinggi diperoleh pada waktu kontak terlama yaitu 75 menit. Hal ini dikarenakan *solvent* akan lebih sering bersentuhan dengan *solute* gas sehingga difusi gas ke dalam *solvent* akan lebih baik menyebabkan kadar CO₂ di dalam *solvent* semakin tinggi.

Selain itu, pada grafik juga dapat dilihat bahwa pada tinggi *packing* 15 cm dengan waktu kontak 50 menit memiliki perbedaan yang cukup signifikan disebabkan hasil yang diperoleh pada waktu tersebut untuk setiap tinggi *packing* cukup jauh berbeda yaitu 22,44 mg/L, sementara pada tinggi *packing* 2 cm, 5 cm dan 10 cm secara berturut-turut adalah 14,96 mg/L, 15,84 mg/L dan 18,04 mg/L. Perbedaan signifikan tersebut terjadi karena pada waktu 50 menit kontak yang terjadi antara *solvent* dan *solute* gas adalah terjadi secara keseluruhan. Hal ini menyebabkan naiknya kadar CO₂ pada titik tersebut secara signifikan. Titik akhir pada setiap tinggi *packing* yang memiliki perbedaan cukup jauh dengan tinggi *packing* yang lain juga terjadi pada tinggi *packing* 15 cm yaitu 33,88 mg/L. Sementara pada titik akhir untuk tinggi *packing* yang lain 2 cm, 5 cm dan 10 cm tidak menunjukkan perbedaan yang terlalu signifikan. Secara berturut-turut nilai yang diperoleh 15,4 mg/L, 18,92 mg/L dan 23,32 mg/L. Dengan demikian diketahui bahwa tinggi *packing* berbanding lurus dengan kadar gas karbon dioksida yang terserap.

Berikut ini merupakan gambar 4 yang menampilkan hubungan tinggi *packing* terhadap kadar gas CO₂ terserap pada kolom dengan jenis *packing rasching ring*.



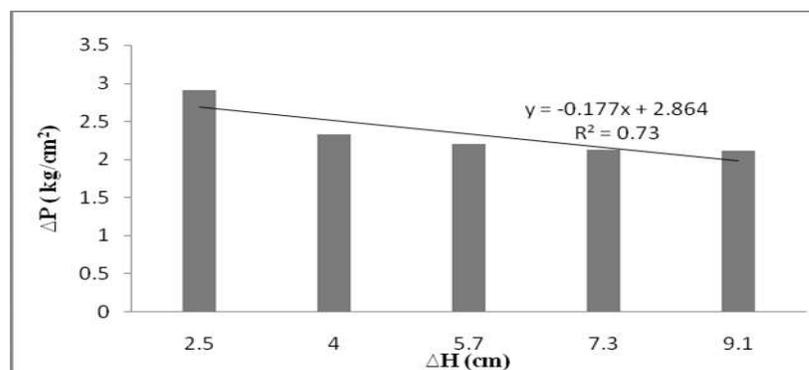
Gambar 4 menampilkan hubungan antara tinggi *packing* dengan kadar CO₂ rata-rata yang diserap oleh pelarut (*solvent*) air.

Pada tinggi *packing* 2 cm kadar CO₂ rata-rata yang diserap oleh *solvent* sebesar 14,23 mg/L, pada tinggi *packing* 5 cm kadar CO₂ yang diserap 15,84 mg/L, pada tinggi 10 cm kadar CO₂ terserap 18,48 mg/L dan pada tinggi *packing* 15 cm kadar CO₂ rata-rata yang diserap oleh *solvent* adalah 23,91 mg/L. Berdasarkan hasil yang diperoleh, diketahui bahwa kadar CO₂ terserap berbanding lurus dengan tinggi *packing*. Hal ini disebabkan oleh hambatan yang akan dilalui masing-masing fluida semakin besar. Dimana, semakin tinggi *packing* maka waktu kontak aliran fluida semakin lama sehingga proses penyerapan semakin baik atau CO₂ yang berdifusi ke dalam *solvent* semakin banyak. Semakin banyak laluan *packing* yang harus dilalui oleh fluida maka waktu tinggal di dalam kolom absorpsi semakin lama dan proses penyerapan semakin baik.

Tabel 3. Hasil Pengamatan dengan Kolom Tanpa *Packing*

Delta H (cm)	Delta P (kg/cm ²)
2,5	2,9
4	2,32
5,7	2,204
7,3	2,12
9,1	2,1112

Selanjutnya nilai kalibrasi penurunan tekanan pada kolom absorpsi jenis *packing* diperoleh pada gambar 5 berikut:



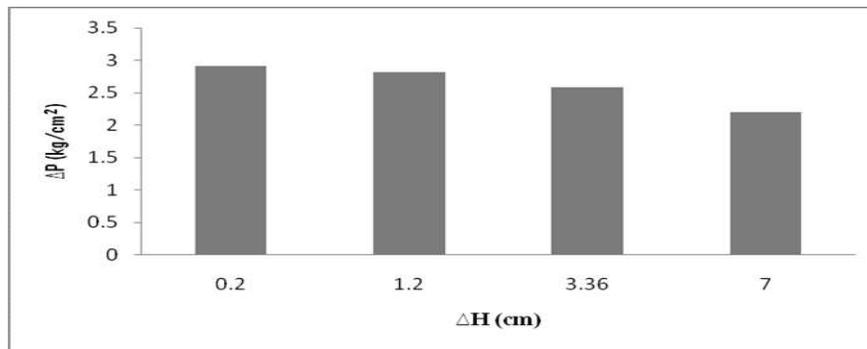
Gambar 5. Persamaan regresi linear

Berdasarkan pada gambar di atas, dapat diketahui persamaan regresi linear yaitu = $-0,1778x + 2,8643$ sehingga hasil ekstrapolasi dapat dilihat pada tabel 4 berikut:

Tabel 4 Data Hasil Kalibrasi Penurunan Tekanan

Delta H (cm)	delta P (kg/cm ²)
0,2	2,915904
1,2	2,80995
3,36	2,581091
7	2,195419

Berdasarkan tabel diperoleh grafik penurunan tekanan pada kolom absorpsi jenis *packing* pada gambar 6 berikut:

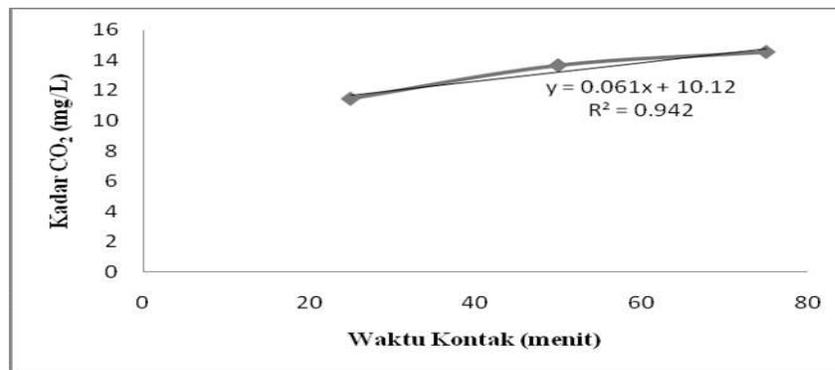


Gambar 6 Hubungan antara tinggi air (ΔH) pada pipa U terhadap penurunan tekanan

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara perbedaan tinggi air (ΔH) pada pipa U terhadap penurunan tekanan (*pressure drop*) pada kolom absorpsi dengan jenis *packing rasching ring*. Nilai tersebut diperoleh dari hasil ekstrapolasi penurunan tekanan pada gambar 5 kalibrasi penurunan tekanan. Kalibrasi penurunan tekanan dilakukan pada tinggi *packing* maksimal yaitu 15 cm tanpa dilakukan kalibrasi pada tinggi *packing* yang lain. Nilai penurunan tekanan dengan delta H 0,2 cm yaitu sebesar 2,915904 kg/cm², pada delta H 1,2 cm *pressure drop* yang terjadi sebesar 2,80995 kg/cm² dan pada delta H 3,36 cm *pressure drop* 2,581091 kg/cm² serta pada delta H 7 cm *pressure drop* yang terjadi yaitu sebesar 2,195419 kg/cm². Dari hasil tersebut diketahui bahwa semakin tinggi *packing* dan delta H yang terjadi maka *pressure drop* semakin rendah. Hal ini disebabkan karena ketinggian *packing* yang digunakan tetap pada tinggi *packing* maksimal 15 cm sehingga pada saat tekanan dari kompresor udara dinaikkan pada ketinggian *packing* yang konstan, maka bisa terjadi penurunan tekanan secara signifikan yang menyebabkan *pressure drop* semakin kecil bukan semakin besar. Selain itu, *packing* yang terdapat di dalam kolom akan memberikan hambatan terhadap fluida yang masuk ke dalam kolom. Hal ini akan bertentangan apabila *pressure drop* diukur pada ketinggian *packing* yang berbeda. *Packing* yang terdapat di dalam kolom akan memberikan hambatan kepada aliran fluida yang masuk ke dalam kolom absorpsi yang menyebabkan tekanan aliran fluida masuk ke dalam kolom akan turun dan tekanan yang diterima fluida pada pipa 1 akan semakin besar yang menyebabkan perbedaan ketinggian pada pipa U semakin besar.

- **Penyerapan CO₂ Pada Kolom Absorpsi Tanpa Menggunakan Packing**

Hasil penelitian yang diperoleh terhadap penyerapan gas CO₂ dengan air menggunakan kolom tanpa *packing* dapat dilihat pada gambar 7 di bawah ini:



Gambar 7 Hubungan antara waktu kontak terhadap kadar CO₂ pada kolom absorpsi tanpa *packing*

Gambar 7 menampilkan hubungan antara waktu kontak terhadap kadar CO₂ yang diperoleh pada kolom absorpsi tanpa *packing*. Berdasarkan hasil analisa volumetri yang dilakukan menunjukkan kadar CO₂ yang diserap ke dalam *solvent* meningkat dengan semakin lama waktu kontak. Hal ini memiliki alasan yang sama dengan kolom absorpsi menggunakan *packing*. Namun, penyerapan yang terjadi tidak sebaik kolom absorpsi jenis *packing*. Disebabkan oleh waktu kontak antara aliran *solvent* yang masuk dan aliran gas CO₂ yang masuk semakin rendah di dalam kolom. Dengan tidak adanya *packing*, maka hambatan aliran di dalam kolom semakin kecil sehingga waktu kontak antara aliran *solute* gas dan *solvent* di dalam *packing* berlangsung cepat dan difusi gas ke dalam *solvent* tidak baik atau kadar CO₂ yang diserap sedikit. Kadar gas CO₂ yang diserap pada waktu kontak tertinggi 75 menit hanya mencapai 14,52 mg/L. Sedangkan pada waktu kontak terendah yaitu 25 menit, kadar CO₂ yang diserap hanya mencapai 11,44 mg/L.

Hubungan antara penurunan tekanan (*pressure drop*) terhadap kadar CO₂ yang diserap dalam kolom absorpsi tanpa *packing*. Apabila ditinjau dari proses yang terjadi menggunakan kolom tanpa *packing*, maka *pressure drop* pada kolom ini tidak akan terjadi. Namun pada penelitian ini diperoleh *pressure drop* sebesar 0,232 kg/cm². Hal ini dikarenakan pertemuan masing-masing laju alir fluida di dalam kolom yang menyebabkan penurunan tekanan tersebut. Gas masuk dengan laju alir 1 L/menit dan *solvent* masuk dengan laju alir 1 L/menit, ketika terjadi pertemuan masing-masing fluida di dalam kolom maka aliran gas masuk akan menghambat aliran *solvent* demikian juga sebaliknya. Selain itu, di dalam kolom absorpsi juga terdapat sekat penghalang antara aliran *solvent* yang masuk dengan kolom tempat *packing*. Sehingga walaupun kolom tersebut tidak diisi dengan *packing*, maka juga akan terjadi penurunan tekanan di dalam kolom walaupun kecil.

4 SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Dari data hasil penelitian dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya, semakin tinggi *packing* yang digunakan dalam kolom absorpsi maka penurunan tekanan akan semakin besar. Semakin lama waktu kontak maka semakin tinggi kadar gas CO₂ yang terserap. Demikian juga pada kolom absorpsi tanpa *packing*. Pada kolom tanpa *packing* terjadi *pressure drop* sebesar 0,232 kg/cm². Penyerapan CO₂ di dalam kolom absorpsi tanpa *packing* tidak sebaik penyerapan menggunakan *packing*. Semakin tinggi *packing* maka perbedaan ketinggian air pada pipa U akan semakin besar. *Pressure drop* pada ketinggian *packing* yang konstan akan semakin kecil apabila tekanan udara pada kompresor udara dinaikkan.

4.2 Saran

Penulis menyarankan untuk penelitian absorpsi CO₂ menggunakan *solvent* air berikutnya agar melakukan variasi terhadap jenis *packing* yang digunakan sehingga diketahui jenis *packing* yang efektif untuk proses penyerapan gas CO₂.

5 DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, Hiskia dan Lubna Baradja. 2014. Stoikiometri. PT Citra Aditya Bakti. Bandung.
- Arsyad, S. 1989. Konversi Tanah dan Air. IPB Press. Bogor.

- B.A, Servatius. 2012. Absorpsi Gas CO₂ Melalui Kontaktor Membran Serat Berongga Menggunakan Larutan Penyerap Tunggal dan Campuran Senyawa Amina: Pengaruh Laju Alir CO₂. Universitas Indonesia. Depok.
- Basset, J. Denney, R.C., Jeffrey, G.H., dan Mendham, J. 1994. Buku Ajar Vogel: Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik. Alih Bahasa A. Hadnyana P. Dan L. Setiono. Vogel's Textbook of Quantitative Inorganic Analysis Including Elementary Instrumental Analysis, Fourth Edition. 1991. Jakarta: EGC
- Chang, Raymond. 2003. Kimia Dasar: Konsep-Konsep Inti. Alih Bahasa Departemen Kimia ITB. General Chemistry: The Essential Concepts Third Edition. 2003. Jakarta: Erlangga.
- Danckwets, P.V., 1970, "Gas Liquid Reactions" 1st edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York.
- Dortmundt, D. dan Doshi Kishore, 1999. "Recent Development in CO₂ Removal Membrane Technology". UOP Journal.
- E-Modul Laboratorium Operasi Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala.
- Gabelman, A. dan Sun-Tak Hwang, 1999. "Hollow Fiber Membran Contactors". Journal of Membran Science, 159:61-106.
- Geankoplis, C.J., 2003, Transport Processes and Unit Operations, 4nd ed., Prentice Hall International, Tokyo.
- Gong, Yanwen; Zhi Wang; Shichang Wang, 2006. "Experiments and simulation of CO₂ removal by mixed amines in a hollow fiber membrane module". Chemical Engineering and Processing.
- Jian-gang, Lu; Cheng Min-dong, Ji Yan, Zhang Hui, 2009. "Membrane-based CO₂ absorption into blended amine solutions". Journal of Fuel Chemistry and Technology, 37:6.
- Justiana, Sandri dan Muchtaridi. 2009. Kimia 2. Jakarta:Yudhistira
- Kim, Young-Seok dan Seung-Man Yang, 2000. "Absorption Of Carbon Dioxide Through Hollow Fiber Membranes Using Various Aqueous Absorbent". Separation and Purification Technology.
- Kumoro, Andri Cahyo dan Hadiyanto. 2000. Absorpsi Gas Karbon Dioksida Dengan Larutan Soda Api Dalam Kolom Unggun Tetap. Yogyakarta: UGM. Forum Teknik Jilid 24.
- Lin, Su-Hsia; Kuo-Lun Tung; Wei-Jie; Hao Chang, 2009. "Absorption of carbon dioxide by mixed piperazine-alkanolamine absorbent in a plasma-modified polypropylene hollow fiber contactor". Elsevier, Journal of Membrane Science, 333: 30-37.
- Meldon, J., 1999,"Simplify Calculation Chemical Reactions", Hydrocarbon Processing,8, 87-91
- Naibaho, Antonius Eriek Afindo. 2012. Absorpsi CO₂ Melalui Kontaktor Membran Serat Berongga Menggunakan Larutan Penyerap Campuran Senyawa Amina (MEA/DEA); Variasi Komposisi Amina. Universitas Indonesia. Depok.
- Perry, R.H. and Green, D.W., 1984,"Chemical Engineering Handbook",6th edition,p.p.14-31 - 14-36, Mc Graw-Hill Book Co., Singapore
- Setyawan, Budhi, Husin Bugis dan Basori. 2012. Analisa Penggunaan Air Sebagai Media Penyerap Emisi NO_x Pada Gas Buang Sepeda Motor Honda Supra X 125 Tahun 2012. Prodi Pendidikan Teknik Mesin: UNS.
- Surakarta, I Nyoman. 1999. Penggunaan Ekstrak Bunga Angsoka Merah (*Ixora gandiflora*) Sebagai Indikator Alternatif dalam Titrasi Asam-Basa. Skripsi (tidak diterbitkan). Program Studi Pendidikan Kimia, Jurusan Pendidikan MIPA, STKIP Singaraja.
- Takeya, Gen. 1952. Absorption Of Carbon Dioxide By Water Under Pressure In A Packed Tower. Hokkaido University.
- Ulrich,G.D, (1984), A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics, 1st edition Willey and Sons, United States of America.