

PENANGKAPAN CO₂ DENGAN MENGGUNAKAN PELARUT KALIUM KARBONAT BERPROMOTOR ASAM BORAT

(CO₂ Capture Using Potassium Carbonate solvent with Boric Acid Promoter)

Dewi Istiyanie dan Ali Altway

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"
Jl. Ciledug Raya Kav.109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan
Telepon: +62-21-7394422, Fax.: +62-21-7246150

E-mail: dewi_istiyanie@lemigas.esdm.go.id; dewi_istiyanie@yahoo.com

Teregistrasi I tanggal 28 Juli 2016; Diterima setelah perbaikan tanggal 31 Oktober 2016;
Disetujui terbit tanggal: 30 Desember 2016.

ABSTRAK

Penangkapan CO₂ dengan menggunakan pelarut kalium karbonat sampai saat ini masih terdapat kelemahan, yaitu laju reaksi yang lambat. Pada penelitian ini untuk mengatasinya maka digunakan promotor asam borat karena lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Uji coba skala laboratorium dilakukan dengan sistem kontinu, yaitu dengan cara mengalirkan gas CO₂ (20%) ke dalam pelarut K₂CO₃ (30%) berpromotor H₃BO₃ (3%) di dalam absorber pada suhu 50-70°C. Pelarut yang sudah mengandung CO₂ akan dialirkan ke dalam desorber. Desorber dipanaskan hingga 70-90°C agar CO₂ yang terabsorpsi di dalam pelarut dapat dilepaskan kembali. Pelarut K₂CO₃ akan masuk kembali ke dalam Tangki Pelarut untuk digunakan kembali dalam proses absorpsi CO₂, dan seterusnya. Pada percobaan diukur konsentrasi gas CO₂ yang masuk ke dalam absorber, yang keluar dari absorber, dan yang tidak terserap oleh absorber dengan menggunakan CO₂ Analyzer. Sedangkan laju alir gas CO₂ yang masuk ke dalam absorber dan yang keluar dari absorber diukur dengan menggunakan Flowmeter Digital. Konsentrasi pelarut juga diukur pada titik-titik yang sama dengan menggunakan metode titrasi. Laju alir pelarut yang masuk ke dalam absorber pada percobaan ini adalah konstan, sedangkan laju alir gas CO₂ yang masuk ke dalam absorber divariasikan pada laju alir gas CO₂ sebesar 1,25 liter/menit, 1,5 liter/menit, dan 2 liter/menit. Hasil terbaik dicapai pada laju alir gas CO₂ sebesar 1,5 liter/menit dan diperoleh efisiensi penangkapan gas CO₂ sebesar 87,63%.

Kata kunci: pelarut kalium karbonat, promotor asam borat, efisiensi penangkapan CO₂

ABSTRACT

CO₂ capture using potassium carbonate solvent until now there are still weaknesses, namely the slow reaction rate. In this research, to overcome this weakness, boric acid promoter was used due to more economical and environmental friendly. Laboratory scale trial run was conducted with a continuous system, namely by bubbling CO₂ (20%) into K₂CO₃ solution (30%) promoted by H₃BO₃ (3%) in the absorber at a temperature of 50-70°C. Solvent already containing CO₂ would be transported into a desorber. The desorber was operated at temperature of 70-90°C causing the absorbed CO₂ in the solvent can be released again. K₂CO₃ solvent will go back into the solvent tank for reuse in the process of absorption of CO₂, and so on. In the experiment the concentration of CO₂ that goes into absorber, which came out of the absorber, and that is not absorbed by the absorber were measured using a CO₂ Analyzer. While the flow rate of CO₂ gas that goes into and out of the absorber were measured using Digital Flowmeter. The concentration of the solvent is also measured at the same points using titration method. The flow rate of solvent into the absorber in the experiment are constant, while the flow rate of CO₂ gas into the absorber was varied at a flow rate of 1.25 liters / min, 1.5 liters / minute, and 2 liters / minute, Best results are achieved in CO₂ gas flow rate of 1.5 liters / minute and acquired CO₂ capture efficiency of 87.63%.

Keywords: Potassium Carbonate Solvent, Boric Acid Promoter, Capture CO₂ Efficiency

I. PENDAHULUAN

Penangkapan CO₂ adalah salah satu usaha untuk mengurangi beban emisi CO₂ yang berada di atmosfer dan menjadi salah satu bagian dari mekanisme *Carbon Capture Storage* (CCS). Gas CO₂ adalah salah satu emisi gas rumah kaca yang terbesar dengan konsentrasi sebesar 77% dan memiliki *Global Warming Potential* (GWP) sebesar 1 (*IPCC's Fifth Assessment Report*, 2014). Ada beberapa metode penangkapan CO₂ yang berasal gas buang maupun gas alir, di antaranya adalah dengan menggunakan metode pelarut kimia, pelarut fisika, dan membran. Pelarut yang biasa digunakan berasal dari Kelompok Amina (MEA, DEA, MDEA, dan lain-lain) dan dari Kelompok Karbonat. Pelarut dari kelompok amina masih memiliki beberapa kekurangan. Kekurangan-kekurangan itu antara lain lebih mudah terdegradasi oleh O₂, SO_x dan NO_x, degradasi produk akibat dari korosi, volatilitas yang cukup tinggi, rentang temperatur operasi yang tidak terlalu tinggi (Kentish, *et al*, 2010) dan konsumsi energi yang cukup tinggi, yakni hampir 25-35% dari energi yang diproduksi oleh pembangkit.

Pelarut kalium karbonat memiliki beberapa keunggulan antara lain tidak mudah menguap, tidak beracun, *biodegradable*, resisten terhadap degradasi oleh O₂, SO_x dan NO_x, murah, ramah lingkungan dan dapat dioperasikan pada temperatur yang tinggi (Rochelle 2007). Bagaimanapun juga kemampuan pelarut Kalium karbonat untuk menyerap CO₂ dari aliran gas menurun dengan meningkatnya tingkat SO₂ yang diserap (Wappel *et al.* 2009). Meskipun K₂CO₃ memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan pelarut berbasis amina, salah satu tantangan utamanya adalah laju reaksi yang lambat sehingga membutuhkan peralatan yang besar dan mahal (Raksajati *et al.* 2013). Untuk mengatasi laju reaksi yang lambat, maka diperlukan promotor. Gosh, dkk. (2009) mempelajari absorpsi CO₂ dengan absorben K₂CO₃ dan promotor H₃BO₃ yang menghasilkan bahwa penambahan sedikit H₃BO₃ dapat meningkatkan daya absorpsi CO₂. Ujjal dkk (2009) juga menggunakan promotor H₃BO₃ untuk meningkatkan daya serap larutan potasium karbonat terhadap gas karbon dioksida. Selain itu, promotor Asam Borat (H₃BO₃) termasuk bahan yang tidak berbahaya dan lebih ekonomis (Kentish *et al.* 2012). Itulah sebabnya pada penelitian ini untuk menangkap gas CO₂ digunakan promotor Asam Borat.

Permasalahan emisi CO₂ yang berasal dari PLTU Batubara di Indonesia sampai saat ini belum

teratasi. Penelitian ini difokuskan pada emisi CO₂ yang sesuai dengan kisaran emisi PLTU Batubara di Indonesia, yaitu sekitar 20%. Nilai 20% tersebut menjadi keunggulan dari penelitian ini. Berdasarkan rumusan permasalahan di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan efisiensi penangkapan CO₂ terbaik pada laju alir gas CO₂ tertentu.

II. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen yang akan mempelajari dan mencari data kondisi operasi yaitu laju alir gas CO₂ yang masuk ke dalam absorber dan yang keluar absorber, konsentrasi gas CO₂ yang masuk dan keluar Absorber, konsentrasi pelarut yang masuk dan keluar absorber, dan tekanan di titik masuk dan keluar absorber. Pada titik di mana gas CO₂ tidak terserap di absorber juga diamati kondisi operasinya.

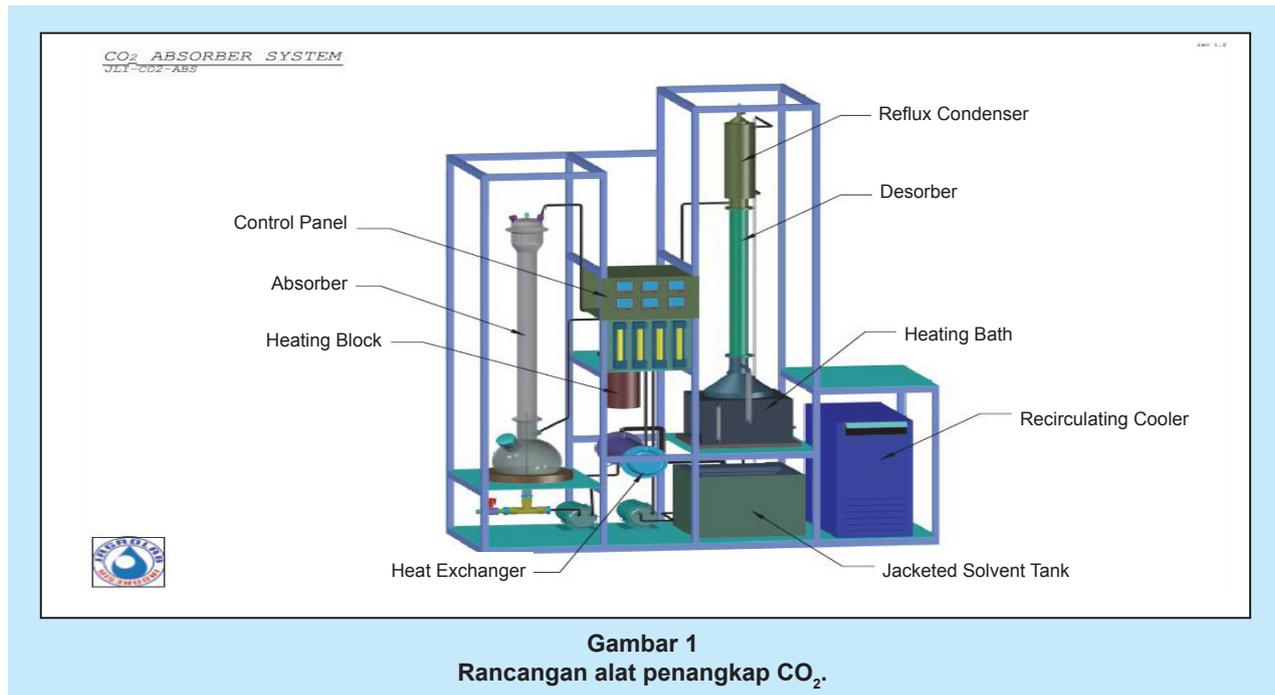
A. Preparasi Bahan

Bahan penelitian terdiri dari campuran gas yang mengandung 20% CO₂ dan 80% N₂, larutan K₂CO₃ (30%) yang berfungsi sebagai pelarut serta H₃BO₃ (3%) sebagai promotor. Pembuatan pelarut K₂CO₃ (30%) dan promotor H₃BO₃ (3%) dilakukan berdasarkan pengembangan dari US Patent no 3.907.969.

B. Preparasi peralatan

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan alat penangkap CO₂. Susunan peralatan alat penangkap CO₂ ditunjukkan pada Gambar 1. Rancangan alat penangkap CO₂ terdiri dari 2 komponen utama yaitu Kolom Absorber dan Kolom Desorber. Material dari Kolom Absorber adalah gelas dengan diameter efektif kolom sebesar 60 mm dan panjang efektif kolom sebesar 750 mm, sedangkan kapasitas labu adalah 5000 mL. Tidak terdapat pemanas pada Kolom Absorber tetapi dilengkapi dengan temperatur indikator. Untuk memperluas bidang penyerapan antara pelarut dan gas CO₂ dimasukkan *Pro-Pak Packing* dengan ukuran diameter 0,24 inch dan panjang 0,24 inch yang terbuat dari *metal ribbon* dengan lebar 3/8 inch dan tebal 0,003 inch. Kolom Desorber terbuat dari *Stainless Steel* dengan diameter efektif kolom adalah sebesar 60 mm dan panjang efektif kolom adalah 650 mm.

Kolom Absorber berfungsi sebagai sistem utama di mana proses reaksi penyerapan material terhadap gas terjadi. Sedangkan Kolom Desorber merupakan unit pelepasan gas yang terserap/terikat oleh material pelarut, dalam proses ini terjadi regenerasi material



pelarut yang kemudian disirkulasikan kembali ke dalam sistem.

Eksperimen dilakukan dalam beberapa tahapan sebagai berikut:

- Uji Hidrodinamika, yaitu pengujian yang dilakukan untuk mencari rejim aliran *fluida* di mana terjadi kontak yang terbaik antara gas dan cairan.
- Pembuatan Pelarut.
- Pemeriksaan karakteristik pelarut.
- Proses eksperimen dengan cara mengalirkan gas CO₂ ke dalam pelarut K₂CO₃ pada alat penangkap CO₂ pada beberapa variasi laju alir gas CO₂.

1. Uji Hidrodinamika

Pengujian hidrodinamika dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Pengamatan secara visual, terdapat gelembung-gelembung gas.
- Pengukuran *pressure drop* (perbedaan tekanan) kolom pada tiap variasi laju alir gas dan cairan.

Pengukuran *pressure drop* atau penentuan fraksi cairan yang tertahan ini dilakukan dengan cara menutup aliran gas dan cairan masuk secara serentak, mendiamkannya selama beberapa menit, dan kemudian membaca tinggi kolom yang terisi cairan diam ini. Besaran *hold up* cairan ini diukur bersamaan dengan pengukuran beda tekan pada debit gas dan cairan tertentu. Fraksi cairan yang tertahan ini dinyatakan sebagai

perbandingan volume cairan tertahan terhadap volume total kolom.

2. Pembuatan Pelarut

Pelarut yang digunakan pada percobaan ini adalah pelarut K₂CO₃ dengan konsentrasi 30%. Pembuatan pelarut K₂CO₃ (30%) dan promotor H₃BO₃ (3%) dibuat berdasarkan pengembangan dari US Patent no 3.907.969. Konsentrasi pelarut diukur dengan metode titrasi.

3. Pemeriksaan Karakteristik Pelarut

Pemeriksaan karakteristik terhadap pelarut sebelum proses penangkapan gas CO₂ adalah sebagai berikut:

- Konsentrasi K₂CO₃ (metode titrasi, APHA *Standard Methods for the examination of water and wastewater* 2320-B),
- Viscositas (ASTM D 445),
- Titik Didih (ASTM D 86),
- pH (SNI 06-6989.11-2004).

4. Proses Eksperimen

Proses eksperimen dilakukan dengan cara mengalirkan gas CO₂ ke dalam pelarut K₂CO₃ pada alat penangkap CO₂ pada beberapa variasi laju alir gas CO₂. Data yang diperoleh pada penelitian ini didapat berdasarkan hasil eksperimen di laboratorium dengan cara mengalirkan Gas CO₂ ke dalam pelarut K₂CO₃ (30%) berpromotor H₃BO₃ (3%) ke dalam Absorber pada temperatur 50-70 °C.

Pelarut yang sudah mengandung CO₂ akan dialirkan ke dalam Desorber. Pada Desorber temperatur dinaikkan hingga temperatur 70-90°C agar CO₂ yang terabsorb di dalam pelarutnya dapat dilepaskan kembali. Pelarut K₂CO₃ akan masuk kembali ke dalam Tangki Pelarut untuk digunakan kembali dalam proses Absorpsi CO₂, dan seterusnya. Gas CO₂ yang dikeluarkan dari Desorber selanjutnya akan ditampung sementara untuk kemudian dimasukkan ke dalam formasi geologis.

Pengukuran laju alir gas CO₂ yang masuk ke dalam absorber dan yang keluar absorber dilakukan dengan menggunakan *flowmeter digital*, konsentrasi gas CO₂ yang masuk dan keluar Absorber menggunakan CO₂ Analyzer, pengukuran konsentrasi pelarut yang masuk dan keluar absorber menggunakan metode titrasi, dan tekanan di titik masuk dan keluar absorber menggunakan alat barometer. Pada titik di mana gas CO₂ tidak terserap di absorber juga diamati kondisi operasinya.

5. Perhitungan Efisiensi Penangkapan CO₂

Efisiensi Penangkapan CO₂ dihitung berdasarkan perbandingan antara konsentrasi gas CO₂ yang terabsorb dibandingkan dengan konsentrasi gas CO₂ yang masuk ke dalam absorber berdasarkan persamaan (1):

$$\% \text{ Penangkapan } CO_2 = \frac{\text{Konsentrasi gas } CO_2 \text{ yang terabsorb}}{\text{Konsentrasi gas } CO_2 \text{ yang masuk ke absorber}} \times 100$$

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Uji Hidrodinamika

Berdasarkan beberapa kali uji hidrodinamika, maka diperoleh laju alir fase gas yang menghasilkan rejim aliran yang baik pada beberapa laju alir gas yaitu 1,25 liter/menit, 1,5 liter/menit, dan 2 liter/menit, sedangkan laju alir pelarut yang masuk kolom Absorber dan yang keluar dari kolom Absorber dibuat konstan yaitu sebesar 1 liter/menit. Pada

laju alir gas CO₂ sebesar 2,5 liter/menit terjadi *flooding* (air meluap melalui bagian atas Absorber). Berdasarkan ketiga kondisi percobaan di atas dengan laju alir pelarut yang sama, maka semakin meningkat laju alir gas, semakin meningkat pula ketinggian fase gas dan cairan yang tertahan, tetapi waktu tinggal fase gas dan cairan semakin kecil.

B. Pembuatan Pelarut

Tangki pelarut yang harus terisi untuk melaksanakan eksperimen adalah ± 20 liter. Untuk mendapatkan pelarut K₂CO₃ (30%) berdasarkan hasil pengembangan dari US Patent no 3.907.969, maka dibutuhkan KHCO₃ sebesar 14,5% berat dan K₂CO₃ sebesar 20% berat. Berdasarkan perhitungan maka H₃BO₃ yang ditambahkan ke dalam pelarut K₂CO₃ (30%) untuk menghasilkan H₃BO₃ (3%) adalah sebesar 160,827 gram.

C. Pemeriksaan Karakteristik Pelarut

Tujuan dari pemeriksaan parameter pH adalah untuk mengetahui indikasi terjadinya serapan gas CO₂ pada pelarut, pelarut bersifat basa, sedangkan gas CO₂ bersifat asam, adanya gas CO₂ yang diserap dapat ditunjukkan dengan adanya penurunan pH. Pemeriksaan parameter viskositas kinematik adalah untuk mengetahui resistensi aliran fluida di bawah pengaruh gravitasi (ASTM D445-10). Sebagai contoh air memiliki viskositas kinematik yang rendah. Viskositas kinematik (ν) adalah rasio perbandingan antara viskositas dinamik (μ) dan densitas (ρ). Sehingga hubungan antara viskositas kinematik dan densitas adalah berbanding terbalik.

Pemeriksaan titik didih diperlukan untuk mengetahui kondisi operasi pada saat eksperimen agar temperatur di Desorber jangan sampai melebihi titik didih pelarut.

Hasil pemeriksaan karakteristik pelarut K₂CO₃ (30%) tanpa H₃BO₃ dan pelarut K₂CO₃ (30%) dengan promotor H₃BO₃ (3%) terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1
Hasil pemeriksaan karakteristik pelarut

No	Jenis Pelarut	Konsentrasi (%)	pH	Densitas (gr/mL)	Kinematic Viscosity at 40°C (cSt)	Titik Didih (°C)
1.	K ₂ CO ₃	29,83	11,15	1,3031	1,370	97
2.	K ₂ CO ₃ + H ₃ BO ₃	29,66	10,96	1,3028	1,384	105

Pemeriksaan sifat fisika dan kimia pelarut K₂CO₃ (30%) tanpa H₃BO₃ menunjukkan konsentrasi sebesar 29,83%, pH sebesar 11,51, densitas sebesar 1,3031 gr/mL, kinematik viscositas pada 40°C sebesar 1,370 cSt dan titik didih sebesar 97°C. Sedangkan pemeriksaan sifat fisika dan kimia pada pelarut K₂CO₃ (30%) dengan promotor H₃BO₃ menunjukkan konsentrasi sebesar 29,66%, pH sebesar 10,96, densitas sebesar 1,3028 gr/mL, kinematik viscositas pada 40°C sebesar 1,384 cSt, dan titik didih sebesar 105°C.

Penurunan konsentrasi pelarut K₂CO₃ setelah ditambahkan promotor H₃BO₃ disebabkan sifat asam yang dimiliki oleh H₃BO₃ sehingga konsentrasi K₂CO₃ yang bersifat basa menjadi sedikit menurun. Penurunan konsentrasi pelarut K₂CO₃ tanpa promotor dan dengan promotor H₃BO₃ juga selaras dengan penurunan yang terjadi pada pH, di mana pelarut K₂CO₃ sebelum ditambahkan H₃BO₃ adalah sebesar 11,15, setelah ditambahkan promotor H₃BO₃ menjadi 10,96.

Berdasarkan sifat fisika bentuk padatan dari K₂CO₃ memiliki densitas sebesar 2,43 gr/mL, sedangkan densitas dari bentuk padatan H₃BO₃ adalah sebesar 1,435 gr/mL. Konsentrasi H₃BO₃ sebesar 3% adalah dari berat pelarut K₂CO₃, sehingga jika pelarut K₂CO₃ (30%) ditambahkan H₃BO₃ (3%) densitasnya menjadi sedikit berkurang.

Pelarut K₂CO₃ (30%) memiliki nilai viskositas kinematik T=40°C sebesar 1,370cSt. Nilai viskositas kinematik lebih kecil dibandingkan T=40°C pelarut

K₂CO₃ (30%) dengan promotor H₃BO₃ yaitu 1,384 cSt. Hubungan antara viskositas kinematik dan densitas adalah berbanding terbalik. Hal ini dapat menjelaskan mengapa viskositas kinematik T=40°C pelarut K₂CO₃ (30%) tanpa H₃BO₃ lebih kecil daripada pelarut K₂CO₃ (30%) dengan promotor H₃BO₃ (3%), hal ini disebabkan pelarut K₂CO₃ (30%) tanpa H₃BO₃ memiliki densitas yang lebih besar.

D. Proses Eksperimen

Eksperimen dilakukan dengan mengalirkan gas CO₂ (20%) ke dalam pelarut K₂CO₃ (30%) dengan promotor H₃BO₃ (3%) pada beberapa variasi laju alir gas CO₂ yang masuk ke dalam Absorber, yaitu pada laju alir 1,25 liter/menit, laju alir 1,5 liter/menit dan laju alir 2 liter/menit. Hasil dari proses eksperimen pada ketiga variasi laju alir tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

1. Penyerapan Gas CO₂ dengan Laju Alir Gas CO₂ sebesar 1,25 liter/menit

Eksperimen pada laju alir gas CO₂ sebesar 1,25 liter/menit menunjukkan bahwa kondisi operasi yang meliputi temperatur Absorber dan temperatur Desorber berada pada rentang yang sesuai desain yaitu temperatur Absorber sebesar 40-60°C dan temperatur Desorber sebesar 70-90°C. Temperatur Absorber selama percobaan menunjukkan rentang temperatur 60,9-61,0°C dan temperatur Desorber sebesar 84,4-87,0°C. Pada temperatur tersebut di Absorber terjadi proses penyerapan gas CO₂ ke dalam pelarut dan di Desorber terjadi proses

Tabel 2
Penyerapan gas CO₂ dengan variasi laju alir gas CO₂

No	Variasi Laju Alir Gas CO ₂ (liter/menit)	Konsentrasi Pelarut (%)		pH		Tekanan (Psi)		Kinematic Viscosity at 40°C (cSt)		Densitas (gr/cm ³)		Laju Alir Gas CO ₂ yg Tdk Terserap (liter/menit)		Konsentrasi Gas CO ₂ yg Tdk Terserap (%)				
		t=0	t=10'	t=0	t=10'	t=0	t=10'	t=0	t=10'	t=0	t=10'	t=0	t=10'	t=0	t=10'			
1.	1,25	A	24,63	24,47	A	10,65	10,59	P1	2,28	2,67	1,89	1,48	1,24	1,24	0,57	0,58	2,9	5,9
		D	24,85	22,41	D	10,54	10,53	P2	1,59	1,62								
2.	1,5	A	24,61	24,55	A	10,61	10,71	P1	2,25	2,29	1,45	1,55	1,24	1,24	0,56	0,57	2,7	3,0
		D	24,61	24,48	D	10,61	10,67	P2	0,69	0,70								
3.	2	A	24,89	24,89	A	10,60	10,49	P1	2,54	2,99	1,29	1,22	1,24	1,24	0,85	0,71	2,5	6,3
		D	24,49	24,36	D	10,50	10,44	P2	2,27	2,76								

pelepasan gas CO₂ kembali. Berdasarkan pengamatan secara visual terdapat gelembung-gelembung gas pada kolom Absorber yang menandakan terjadinya proses penyerapan gas CO₂ oleh pelarutnya.

Berdasarkan Tabel 2, beda tekanan pada menit ke nol adalah sebesar 0,69 Psi dan menit ke-10 adalah sebesar 1,05 Psi. Terjadi ketidakstabilan beda tekan selama proses eksperimen berlangsung. Hal ini dapat mempengaruhi banyaknya gas CO₂ yang dapat diserap oleh pelarutnya. Selain itu, beda tekan yang kecil akan menyebabkan energi yang dibutuhkan kecil.

Konsentrasi pelarut K₂CO₃ (30%) pada menit ke-0 dan menit ke-10 tidak banyak mengalami perubahan yaitu pada titik Absorber konsentrasi K₂CO₃ (30%) pada t=0 adalah 24,627% dan pada t=10 adalah sebesar 24,471%. Sedangkan pada Tangki Pelarut pada t=0 adalah 24,853% dan pada t=10 adalah sebesar 22,409%. Terjadi penurunan pH pada Kolom Absorber maupun Desorber yang menunjukkan gas CO₂ terserap ke dalam pelarut K₂CO₃ (30%). Karena gas CO₂ bersifat asam, maka penambahan gas CO₂ menyebabkan penurunan pH.

Pemeriksaan viscositas pada t=0 adalah sebesar 1,893 cSt sedangkan pada t=10 adalah sebesar 1,484 cSt. Viscositas pelarut yang sudah dialiri gas CO₂ lebih rendah jika dibandingkan viscositas sebelum dialiri gas CO₂. Hal ini menunjukkan bahwa kehadiran gas CO₂ menyebabkan viscositas menjadi berkurang.

Hubungan antara viskositas kinematik dan densitas adalah berbanding terbalik. Hal ini sesuai dengan hasil pemeriksaan densitas pada t=0 dan t=10 sebesar 1,239 gr/cm³.

Efisiensi Penangkapan CO₂ dihitung berdasarkan perbandingan antara konsentrasi gas CO₂ yang terabsorpsi dibandingkan dengan konsentrasi gas CO₂ yang masuk ke dalam absorber. Pada percobaan ini, konsentrasi CO₂ yang tidak terserap Absorber adalah 5,9%, laju Alir gas CO₂ yang tidak terserap Absorber adalah 0,58 liter/menit, konsentrasi gas CO₂ yang masuk Absorber adalah 20%, dan laju Alir gas CO₂ masuk Absorber adalah 1,25 liter/menit.

Efisiensi Penangkapan CO₂ dihitung berdasarkan persamaan (1).

$$\% \text{Penangkapan CO}_2 = \frac{\frac{0.2}{1-0.2} - \frac{0.059}{1-0.059}}{\frac{0.2}{1-0.2}} \times 100 = 74.92$$

Hasil perhitungan % Penangkapan CO₂ untuk Laju Alir Gas CO₂ yang masuk Absorber sebesar 1,25

liter/menit memberikan nilai efisiensi penangkapan CO₂ sebesar 74,92%.

2. Laju Alir Gas CO₂ yang masuk Absorber sebesar 1,5 liter/menit

Eksperimen pada laju alir gas CO₂ sebesar 1,5 liter/menit menunjukkan bahwa kondisi operasi yang meliputi temperatur Absorber dan temperatur Desorber berada pada rentang yang sesuai desain yaitu temperatur Absorber sebesar 40-60°C dan temperatur Desorber sebesar 70-90°C. Selama percobaan temperatur Absorber menunjukkan temperatur 64,4-66,1°C dan temperatur Desorber sebesar 82,8-87,1°C. Di mana pada temperatur tersebut pada Absorber terjadi proses penyerapan gas CO₂ ke dalam pelarut dan pada Desorber terjadi proses pelepasan gas CO₂ kembali. Berdasarkan pengamatan secara visual, proses penyerapan ditandai dengan adanya gelembung-gelembung gas pada kolom Absorber.

Berdasarkan Tabel 2, tekanan pada menit ke nol adalah sebesar 1,56 Psi dan menit ke-10 adalah sebesar 1,59 Psi. Selama proses eksperimen berlangsung pada menit ke-nol dan menit ke-10 beda tekan tidak banyak mengalami perubahan. Hal ini menunjukkan bahwa selama beda tekan antara bagian bawah dan atas Absorber relatif sama selama berlangsungnya proses eksperimen, maka proses penyerapan gas CO₂ ke dalam pelarutnya berlangsung dengan baik.

Konsentrasi pelarut K₂CO₃ (30%) pada menit ke-0 dan menit ke-10 tidak banyak mengalami perubahan yaitu pada titik Absorber konsentrasi K₂CO₃ (30%) pada t=0 adalah 24,608% dan pada t=10 adalah sebesar 24,554%. Sedangkan pada Tangki Pelarut pada t=0 adalah 24,608% dan pada t=10 adalah sebesar 24,484%. Terjadi penurunan pH pada Kolom Absorber maupun Desorber yang menunjukkan gas CO₂ terserap ke dalam pelarut K₂CO₃ (30%). Karena gas CO₂ bersifat asam, maka penambahan gas CO₂ menyebabkan penurunan pH.

Pemeriksaan viscositas pada t=0 adalah sebesar 1,144 cSt sedangkan pada t=10 adalah sebesar 1,224 cSt. Viscositas pelarut yang sudah dialiri gas CO₂ lebih rendah jika dibandingkan viscositas sebelum dialiri gas CO₂ yaitu sebesar 1,37 cSt. Hal ini menunjukkan bahwa kehadiran gas CO₂ menyebabkan viscositas menjadi berkurang.

Hubungan antara viskositas kinematik dan densitas adalah berbanding terbalik. Hal ini sesuai dengan hasil pemeriksaan densitas pada t=0 adalah

sebesar 1,235 gr/cm³ sedangkan pada t=10 adalah sebesar 1,237 gr/cm³.

Efisiensi Penangkapan CO₂ dihitung berdasarkan perbandingan antara konsentrasi gas CO₂ yang terabsorpsi dibandingkan dengan konsentrasi gas CO₂ yang masuk ke dalam absorber. Pada percobaan ini, konsentrasi CO₂ yang tidak terserap Absorber adalah 3%, laju alir gas CO₂ yang keluar Absorber adalah 0,57 liter/menit, konsentrasi gas CO₂ yang masuk Absorber adalah 20%, dan laju Alir gas CO₂ masuk Absorber adalah 1,5 liter/menit.

Efisiensi Penangkapan CO₂ dihitung berdasarkan persamaan (1).

$$\% \text{Penangkapan CO}_2 = \frac{\frac{0.2}{1-0.2} - \frac{0.03}{1-0.03}}{\frac{0.2}{1-0.2}} \times 100 = 87,63$$

Hasil perhitungan % Penangkapan CO₂ untuk Laju Alir Gas CO₂ yang masuk Absorber sebesar 1,5 liter/menit memberikan nilai efisiensi penangkapan CO₂ sebesar 87,63%.

3. Laju Alir Gas CO₂ yang masuk Absorber sebesar 2,0 liter/menit

Eksperimen pada laju alir gas CO₂ sebesar 2,0 liter/menit menunjukkan bahwa kondisi operasi yang meliputi temperatur Absorber dan temperatur Desorber berada pada range yang sesuai desain yaitu temperatur Absorber sebesar 40-60°C dan temperatur Desorber sebesar 70-90°C. Selama percobaan temperatur Absorber menunjukkan temperatur 59,8°C dan temperatur Desorber sebesar 85,5°C. Di mana pada temperatur tersebut pada Absorber terjadi proses penyerapan gas CO₂ ke dalam pelarut dan pada Desorber terjadi proses pelepasan gas CO₂ kembali. Berdasarkan pengamatan secara visual, proses penyerapan ditandai dengan adanya gelembung-gelembung gas pada kolom Absorber.

Berdasarkan Tabel 2 beda tekan pada menit ke nol adalah sebesar 0,27 Psi dan menit ke-10 adalah sebesar 0,23 Psi. Dibandingkan dengan beda tekan pada variasi laju alir gas CO₂ 1,25 liter/menit dan laju alir gas CO₂ 1,5 liter/menit, maka beda tekan pada variasi laju alir gas CO₂ 2 liter/menit ini adalah paling kecil tetapi lebih stabil dibandingkan pada laju alir gas CO₂ 1,25 liter/menit. Kestabilan tekanan selama proses eksperimen berlangsung dibutuhkan agar pelarut dapat lebih banyak dalam menyerap gas CO₂.

Konsentrasi pelarut K₂CO₃ (30%) pada menit ke-0 dan menit ke-10 tidak banyak mengalami perubahan yaitu pada titik Absorber konsentrasi K₂CO₃ (30%) pada t=0 adalah 24,894% dan pada t=10 adalah sebesar 24,886%. Sedangkan pada Tangki Pelarut pada t=0 adalah 24,487% dan pada t=10 adalah sebesar 24,357%.

Pemeriksaan viscositas pada t=0 adalah sebesar 1,060 cSt sedangkan pada t=10 adalah sebesar 1,116 cSt. Viscositas pelarut yang sudah dialiri gas CO₂ lebih rendah jika dibandingkan viscositas sebelum dialiri gas CO₂ yaitu sebesar 1,37 cSt. Hal ini menunjukkan bahwa kehadiran gas CO₂ menyebabkan viscositas menjadi berkurang.

Hubungan antara viskositas kinematik dan densitas adalah berbanding terbalik. Hal ini sesuai dengan hasil pemeriksaan densitas pada t=0 adalah sebesar 1,239 gr/cm³ sedangkan pada t=10 adalah sebesar 1,242 gr/cm³.

Efisiensi Penangkapan CO₂ dihitung berdasarkan perbandingan antara konsentrasi gas CO₂ yang terabsorpsi dibandingkan dengan konsentrasi gas CO₂ yang masuk ke dalam absorber. Pada percobaan ini, konsentrasi CO₂ yang tidak terserap Absorber adalah 6,3%, laju Alir gas CO₂ yang keluar Absorber adalah 0,71 liter/menit, konsentrasi gas CO₂ yang masuk Absorber adalah 20%, dan laju Alir gas CO₂ masuk Absorber adalah 2 liter/menit.

Tabel 3
Hubungan antara % penangkapan CO₂ dan beda tekan

No	Variasi Laju Alir Gas CO ₂ (liter/menit)	Rata-rata Beda Tekan (Psi)	%Penangkapan CO ₂
1	1,25	0,87	74,92
2	1,5	1,58	87,63
3	2	0,25	73,11

Efisiensi Penangkapan CO₂ dihitung berdasarkan persamaan (1).

$$\% \text{Penangkapan CO}_2 = \frac{\frac{0.2}{1-0.2} - \frac{0.063}{1-0.063}}{\frac{0.2}{1-0.2}} \times 100 = 73,11$$

Hasil perhitungan % Penangkapan CO₂ untuk Laju Alir Gas CO₂ yang masuk Absorber sebesar 2,0 liter/menit memberikan nilai efisiensi penangkapan CO₂ sebesar 73,11%.

4. Perbandingan Laju Alir Gas CO₂ yang masuk Absorber

Berdasarkan hasil percobaan dengan menggunakan variasi laju alir gas CO₂ pada pelarut K₂CO₃ (30%) dengan promotor H₃BO₃ (3%), maka perbandingan efisiensi penangkapan CO₂ pada ketiga variasi laju alir gas CO₂ dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3, maka di antara beberapa parameter pengukuran, maka parameter beda tekan mempunyai hubungan yang sebanding dengan efisiensi penangkapan CO₂ yang dihasilkan. Semakin tinggi beda tekan, maka efisiensi penangkapan CO₂ yang dihasilkan menjadi semakin baik. Beda tekan yang tinggi menyebabkan kontak yang terjadi antara pelarut dan gas CO₂ berlangsung dengan baik. Hanya saja energi yang dibutuhkan untuk proses penyerapan gas CO₂ ke dalam pelarut juga semakin tinggi. Alat penangkap CO₂ yang dibuat tidak didesain untuk kondisi operasi dengan tekanan yang tinggi.

Laju alir gas yg terlalu kecil menyebabkan kontak gas dengan pelarut kurang baik, laju alir gas yang terlalu besar menyebabkan konsentrasi pelarut K₂CO₃ sisa jadi kecil. Oleh karena itu terdapat kondisi optimum laju alir gas CO₂ yaitu sebesar 1,5 liter/menit.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah kondisi operasi yang diperoleh berdasarkan hasil eksperimen dengan menggunakan pelarut K₂CO₃ (30%) dengan promotor H₃BO₃ (3%) sudah sesuai desain yaitu temperatur di Absorber antara 59,8 – 66,1°C, temperatur di Desorber antara 79,2 – 87,0°C, diperoleh beda tekan untuk memperoleh kontak yang terbaik antara gas CO₂ dan pelarut adalah 0,99 - 1,59 Psi. Proses penyerapan gas CO₂ ke dalam pelarut K₂CO₃ (30%) dengan promotor H₃BO₃ (3%) terbaik pada laju alir gas CO₂ sebesar 1,5 liter/menit dan laju alir pelarut sebesar 1 liter/menit pada beda tekan 1,58 Psi. Efisiensi penangkapan gas CO₂

ke dalam pelarut K₂CO₃ (30%) dengan promotor H₃BO₃ (3%) memberikan nilai sebesar 87,63%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada segenap Manajemen PPPTMGB “LEMIGAS” khususnya KP3 Teknologi Proses atas dukungan serta bantuannya dalam pelaksanaan kegiatan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada anggota tim penelitian Laboratorium KP3 Teknologi Proses khususnya Laboratorium Lingkungan yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan kegiatan penelitian penangkapan CO₂ sehingga terselesaikannya tulisan ilmiah ini.

KEPUSTAKAAN

- A. Raksajati, M.T. Ho, D.E. Wiley.** 2013. “*Reducing the cost of CO₂ capture from flue gases using aqueous chemical absorption*”. Industrial and Engineering Chemistry Research 52, 16887 – 16901.
- Brett P. Spigarelli, S. Komar Kawatra.** 2013. “*Opportunities and challenges in carbon dioxide capture*”. Journal of CO₂ Utilization 1, 69–87.
- D. Wappel, Khan Ash, David Shallcross, Sebastian Joswig, Sandra Kentish, Geoff Stevens.** 2009. “*The Effect of SO₂ on CO₂ Absorption in an aqueous potassium carbonate solvent*”. Energy Procedia I, 125-131.
- Guo, D., H. Thee, G. da Silva, J. Chen, W. Fei, S. Kentish, G. W. Stevens.** 2011. *Borate-catalyzed Carbon Dioxide Hydration via The Carbonic Anhydrase Mechanism*. Environmental Science & Technology 45.
- Indonesia CCS Study Working Group.** 2009. *Understanding Carbon Capture and Storage Potential in Indonesia*.
- IPCC’s Fifth Assessment Report,** 2014
- Karube, I., Takeuchi, T., Bares, D.J.** 1992. *Biotechnological Reduction of CO₂ Emission*, Advances in Biochemical Engineering/ Biotechnology, 46, 63-79.
- Kentish, S.,** 2010. *Capture Technologies: Solvents*. Cooperative Research Centre for Greenhouse Gas Technologies (CO2CRC). Brisbane. Australia.
- Kentish, S, H. Thee, K.H. Smith, G. da Silva, G.W. Stevens.** 2011. *Carbon dioxide absorption into unpromoted and borate-catalyzed potassium carbonate solutions*. Chemical Engineering Journal 181-182, 694-701.

- Kentish, S., K.H. Smith, C.J. Anderson, W. Tao, K. Endo, k.A. Mumford, A. Qader, B. Hooper, G.W. Stevens.** 2012. *Pre-combustion capture of CO₂-Results from solvent absorption pilot plant trials using 30 wt% potassium carbonate and boric acid promoted potassium carbonate solvent.* International Journal of Greenhouse Gas Control 10 (2012) 64-73.
- Pangastuti, A.** (2011). *Model absorpsi gas CO₂ dalam larutan K₂CO₃ dengan promotor asam borat pada packed column.* Undergraduate Thesis, Chemical Engineering, RSK 660. 284 23 Pan. Surabaya
- Pusdatin.** 2006. *Buku Pegangan Statistik Ekonomi Energi Indonesia.* DESDM
- Rackley, S.A.** 2010. *Carbon Capture Storage.* Elsevier Inc.
- Rochelle, G.T., et al.** 2007. "*CO₂ Capture by Absorption with Potassium carbonate*". Final Report Department of Chemical Engineering The University of Texas at Austin and the University of Regina, Saskatchewan. USA.
- U.S. Environmental Protection Agency.** 2010. *Available And Emerging Technologies For Reducing Greenhouse Gas Emissions From The Petroleum Refining Industri.* Sector Policies and Programs Division Office of Air Quality Planning and Standards U.S. Environmental Protection Agency Research Triangle Park, North Carolina.
- United States Patent no 3.907.969.** 1975. *Separation of CO₂ From Gas Mixtures.*