

# Pengaruh Penambahan Asam Borat ( $H_3BO_3$ ) pada Larutan $Na_2CO_3$ Terhadap Absorpsi $CO_2$ dalam Biogas Menggunakan Spray Column

Lia Cundari\*, Selpiana\*, Bobby Redian, Achmad Zaidan

\*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya  
Jln. Raya Palembang-Prabumulih Km 32 Inderalaya Ogan Ilir- 30662  
Email: icun\_hyang02@yahoo.com

## Abstrak

Biogas merupakan energi alternatif yang bersifat *renewable* karena berasal dari makhluk hidup, terbuat dari berbagai macam bahan organik yang biasanya berupa sampah atau limbah. Penggunaan biogas sebagai energi alternatif baru sebatas energi untuk mencukupi kebutuhan bahan bakar dalam rumah tangga dan belum digunakan sebagai sumber energi primer. Hal ini disebabkan biogas masih mengandung  $CO_2$  dalam kadar yang tinggi sehingga pembakarannya kurang maksimal. Kadar  $CO_2$  yang terkandung dalam biogas diturunkan dengan mengabsorpsi menggunakan larutan  $Na_2CO_3$  dengan promotor asam borat. Penggunaan asam borat bertujuan untuk meningkatkan kemampuan absorpsi  $CO_2$  pada larutan  $Na_2CO_3$ . Variabel pada penelitian ini adalah konsentrasi asam borat yang ditambahkan ke dalam larutan  $Na_2CO_3$  (1, 2, 3, 4, 5 % berat asam borat). Absorpsi  $CO_2$  dilakukan dengan mengumpukan campuran  $Na_2CO_3$  dan asam borat dengan biogas secara *countercurrent*. Gas yang keluar pada bagian atas kolom ditampung dan dianalisa kandungan  $CO_2$  serta kandungan gas lainnya dengan *Orsat Analysis* dan *Gas Chromatograph*. Konsentrasi optimum dalam penambahan asam borat sebesar 3%, dimana gas  $CO_2$  terabsorb sebesar 67,81%. Dengan penambahan asam borat ke dalam larutan  $Na_2CO_3$  laju absorpsi meningkat 2,4 kali.

**Kata kunci :** Absorpsi, Asam Borat, Biogas,  $Na_2CO_3$ , Promotor

## Abstract

Biogas is a renewable alternative energy which comes from living organisms, produces from organic materials such as garbage or sewage. Biogas utilization as an alternative energy is an addition to supply household energy and as secondary energy. This happened due to highly content of  $CO_2$  in biogas that can effected combustion's efficiency. The  $CO_2$  content can be reduced by absorption process using  $Na_2CO_3$  solution with boric acid as promoter. The Aim of addition boric acid is to enhance capability of  $Na_2CO_3$  solution in  $CO_2$  absorption. Variable in this study is boric acid concentration (1, 2, 3, 4, 5 %wt boric acid). The  $CO_2$  absorption is done by contact mixture of  $Na_2CO_3$  and boric acid with biogas countercurrently. The output gas on top column is analyzed with OrsatAnalysis and Gas Chromatograph. The optimum concentration on boric acid addition is 3%, where the amount  $CO_2$  absorbed is 67,81%. The rate of absorption increases 2,4 times with boric acid as promoter in  $Na_2CO_3$  solution.

**Keywords:** Absorption, Biogas, Boric Acid,  $Na_2CO_3$ , Promoter.

## 1. PENDAHULUAN

Absorpsi adalah proses pemisahan bahan dari suatu campuran gas dengan cara pengikatan bahan tersebut pada permukaan absorben cair yang diikuti dengan pelarutan. Kelarutan gas yang akan diserap dapat disebabkan hanya oleh gaya-gaya *fisible* (pada absorpsi fisik) atau selain gaya tersebut juga oleh ikatan kimia (pada absorpsi kimia juga disebut absorpsi kimia). Komponen gas yang dapat menggandakan ikatan kimia akan dilarutkan lebih dahulu dan juga dengan kecepatan yang lebih tinggi, karena itu absorpsi kimia lebih mengungguli absorpsi fisika.

Kecepatan absorpsi merupakan ukuran perpindahan massa antara fase gas dan fase cair. Disamping pada perbedaan konsentrasi dan luas permukaan absorben, kecepatan tersebut juga tergantung pada faktor-faktor lainnya. Hal – hal yang dapat mempengaruhi kecepatan absorpsi lainnya yaitu suhu (peningkatan pelarutan pada suhu yang lebih rendah), tekanan (peningkatan kelarutan pada tekanan yang lebih tinggi) dan viskositas (pada absorpsi kimia kelarutan hanya dipengaruhi sedikit oleh suhu tetapi viskositas menurun drastis dengan naiknya temperatur).

Absorpsi gas-cair merupakan proses heterogen yang melibatkan perpindahan komponen gas yang dapat larut menuju penyerap yang biasanya berupa cairan yang tidak mudah menguap. Reaksi kimia dalam proses absorpsi dapat terjadi di lapisan gas, lapisan antar fase, lapisan cairan atau bahkan badan utama cairan, tergantung pada konsentrasi dan reaktivitas bahan-bahan yang direaksikan. Untuk memfasilitasi berlangsungnya tahapan-tahapan proses tersebut, biasanya proses absorpsi dijalankan dalam reaktor tangki berpengadukbersparger, kolom gelembung (*bubblecolumn*) atau kolom yang berisi tumpukan partikel *inert* (*packedbedcolumn*).

Absorben adalah cairan yang dapat melarutkan bahan yang akan diabsorpsi pada permukaannya, baik secara fisik maupun dengan reaksi kimia. Berlawanan dengan adsorben memiliki permukaan dalam yang luas, pada absorben yang harus dibuat luas adalah permukaan luarnya. Hal ini dapat dilakukan dengan mencerai-beraikan cairan, misalnya menjadi tetesan-tetesan.

Absorben (juga sering disebut dengan cairan pencuci) harus memenuhi persyaratan yang sangat beragam misalnya bahan itu harus:

- Memiliki daya melarutkan bahan yang akan diabsorpsi sebesar mungkin (kebutuhan

akan cairan lebih sedikit, volume alat lebih kecil).

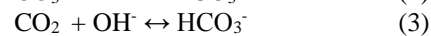
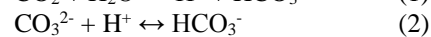
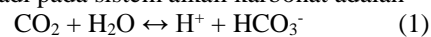
- Sedapat mungkin sangat selektif.
- Memiliki tekanan uap rendah.
- Sedapat mungkin tidak korosif.
- Mempunyai viskositas yang rendah.
- Stabil secara rendah.
- Murah.

Pemilihan absorben tergantung dari konsentrasi *feed* gas dan persentase pemisahan yang diinginkan. Jika konsentrasi impuritis pada *feed* gas tinggi, 10% s/d 50%, absorpsi bisa dilakukan dengan melarutkan impuritis dengan cairan yang nonvolatil dan nonreaktif. Cairan nonreaktif tersebut biasa disebut pelarut fisika. Jika konsentrasi impuritis rendah sekitar 1% s/d 10%, akan digunakan cairan yang bereaksi kimia dengan impuritis secara cepat, dan reversibel. Cairan yang mampu bereaksi dengan impuritis tersebut disebut pelarut kimia. Jika konsentrasi impuritis dalam gas masih perlu lebih rendah lagi, maka harus digunakan cairan yang bereaksi secara irreversibel, namun cara ini membutuhkan biaya besar dan menghasilkan limbah padat.

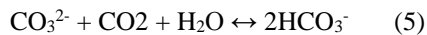
Pada dunia industri, umumnya metode yang digunakan untuk menangkap atau mereduksi jumlah karbon dioksida adalah proses *chemicalabsorption*. Pelarut yang digunakan dalam absorpsi karbon dioksida adalah *monoethanolamine* (MEA), *methylethanolamine* (DEA), *methyldiethanolamine* (MDEA), *piperazine* (PZ), dan Kalium Karbonat ( $K_2CO_3$ ). Piperazine sering digunakan sebagai absorben akan tetapi berbahaya bagi lingkungan. Alkanoamin membentuk produk organik yang bersifat korosif sehingga membutuhkan *pre-treatment* proses untuk menghilangkan sulfur dioksida. Alkali karbonat memiliki tingkat solubilitas yang tinggi seperti alkanoamin dalam absorpsi karbon dioksida. (Kirk Othmer, 2007)

Penelitian yang dilakukan oleh Yuhua dkk. mengatakan bahwa dalam teknologi *CO<sub>2</sub>capture*, sistem alkali dan alkalin oksida yang dapat digunakan sebagai *CO<sub>2</sub> sorbents* adalah  $MgO$ ,  $Na_2CO_3$ , dan  $K_2CO_3$ . Senyawa  $Na_2CO_3$  dan  $K_2CO_3$  bisa mengikat  $CO_2$  pada temperatur rendah (400-500 K) dengan tekanan sekitar 0.1 bar.

Karbon dioksida akan diserap dan bereaksi dengan senyawa alkali karbonat pada larutan absorban. Menurut Gosh (2009), reaksi yang terjadi pada sistem alkali karbonat adalah



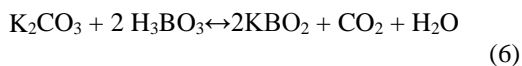
Secara keseluruhan reaksi tersebut dapat dituliskan sebagai berikut.



Reaksi (3) dan reaksi (5) merupakan reaksi lambat. Laju reaksi pada proses absorpsi ditentukan dari reaksi (3) dan (5). (Gosh, 2009)

Proses absorpsi  $\text{CO}_2$  merupakan absorpsi yang dilakukan secara kimia. Reaksi yang berlangsung ketika proses absorpsi  $\text{CO}_2$  berlangsung secara lambat pada senyawa alkali karbonat. Absorpsi pada senyawa alkali karbonat memiliki nilai transfer massa yang kecil dalam fase liquid. Untuk meningkatkan kemampuan absorpsi alkali karbonat biasanya ditambahkan promotor. *Piperazine* sering digunakan sebagai promotor pada potasium karbonat namun senyawa *piperazine* memiliki dampak yang buruk pada lingkungan. Senyawa alkanamin lain dapat menyebabkan efek karsinogen pada tubuh manusia. Asam borat dapat digunakan sebagai promotor alternatif. Asam borat merupakan senyawa yang ramah lingkungan dan senyawa yang dapat digunakan sebagai promotor alternatif.

Senyawa asam borat akan membantu mengikat  $\text{CO}_2$  pada larutan potasium karbonat. Reaksi asam borat dan potasium karbonat merupakan reaksi reversibel. Reaksi yang terjadi pada asam borat yaitu



(Fanny dan Eka, 2012)

Laju reaksi pada absorpsi  $\text{CO}_2$  akan meningkat dengan penambahan asam borat yang disebabkan oleh efek katalitik pada reaksi (3). Kehadiran senyawa  $\text{KBO}_2$  dalam larutan absorben akan membantu potasium karbonat dalam mengikat  $\text{CO}_2$ . Ketika  $\text{CO}_2$  berlebih berada dalam larutan maka reaksi akan bergeser ke kiri. Reaksi tersebut akan terjadi pada senyawa alkali karbonat lain seperti natrium karbonat. (Gosh, 2009)

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

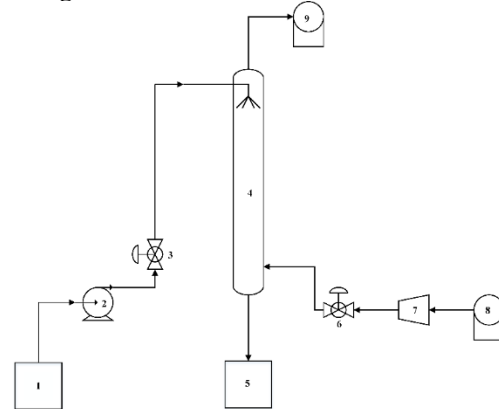
### Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian yaitu kolom absorpsi, kompresor, pompa, basin, wadah penampung absorban, erlenmeyer, gelas ukur, neraca analitik, *orsat analysis*, *gas chromatograph*, balon.

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu biogas, larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  25% berat, aquadest,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  1%; 2%; 3%; 4%; 5%

### Rangkaian Alat



**Gambar 1.** Rangkaian Alat Absorpsi Gas  $\text{CO}_2$  pada Biogas

Keterangan:

1. Wadah penampung absorben
2. Pompa
3. Valve absorben masuk
4. Kolom spray
5. Wadah penampung keluaran absorben
6. Valve biogas masuk
7. Kompresor
8. Wadah penampung biogas
9. Wadah penampung keluaran biogas

### Persiapan Alat Absorpsi

1. Siapkan kompresor, pompa, serta kolom absorpsi yang sudah di pasang spray pada top kolom dan distributor gas pada *bottom* kolom.
2. Pasang kolom pada rangka yang sudah disiapkan
3. Hubungkan kompresor dengan kolom beserta *valve* pada bagian bottom dan pompa beserta *valve* dengan kolom bagian melalui selang yang disiapkan.
4. Hubungkan kompresor dengan balon yang berisi biogas yang sudah dipasang regulator
5. Hubungkan pompa pada wadah penampung absorben (tangki inlet)
6. Siapkan tangki outlet penampung cairan outlet kolom pada bagian bottom

### Proses Absorpsi

1. Larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dipompa dan diumpankan ke dalam kolom melalui bagian atas kolom pada laju alir tertentu hingga keadaan *steady* tercapai.

2. Biogas dialirkan hingga kondisi *steady*.
3. Proses absorpsi dilakukan dalam waktu 3 menit
4. Lakukan prosedur percobaan pada kondisi jumlah H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 1%;2%;3%;4%;5%.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

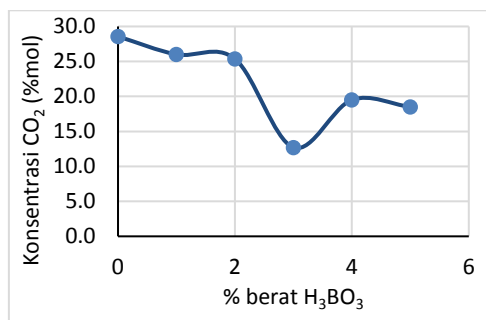
Penelitian dilakukan dengan larutan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 25% berat sebagai penyerap yang ditambahkan H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> sebagai promotor. Penggunaan larutan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 25% massa diperoleh dari hasil riset yang dilakukan sebelumnya oleh Arini & Candra (2014) dengan judul "Pengaruh Penggunaan Solven Natrium Karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) Terhadap Absorpsi CO<sub>2</sub> Pada biogas Kotoran Sapi Dalam *SprayColumn*". Konsentrasi H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> yang dicampurkan ke larutan penyerap memiliki variabel konsentrasi mulai dari 1% sampai 5%. Analisa kandungan CO<sub>2</sub> dilakukan dengan Orsat Analisis dan kandungan CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> dengan Gas Kromatografi. Berikut tabel hasil analisa biogas awal dan tabel kandungan CO<sub>2</sub> yang ada dalam biogas setelah diabsorpsi.

**Tabel 1.** Komposisi Biogas Awal

Komponen	% mol
CH <sub>4</sub>	55,24
CO <sub>2</sub>	39,45
N <sub>2</sub>	2,278
O <sub>2</sub>	0,006
gas tidak terdefinisi	3,026

#### Analisa Hasil Penelitian

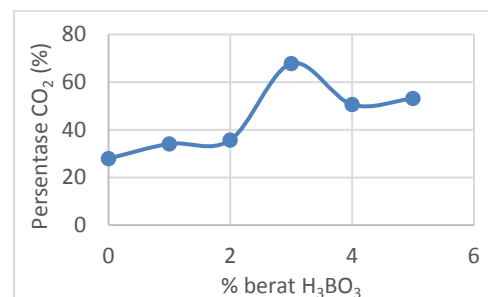
Dari hasil penelitian yang dilakukan didapat hubungan antara jumlah asam borat pada larutan terhadap jumlah CO<sub>2</sub> yang terserap. Dari jumlah CO<sub>2</sub> yang terserap dapat dihitung persentase CO<sub>2</sub> yang terabsorb oleh larutan penyerap yang dihubungkan dengan jumlah asam borat yang ditambahkan. Jumlah CO<sub>2</sub> yang terserap serta persentase CO<sub>2</sub> akan dibandingkan nilainya dengan kondisi ketika absorpsi CO<sub>2</sub> tanpa penambahan asam borat



**Gambar 2.** Grafik jumlah CO<sub>2</sub> pada biogas setelah absorpsi

Gambar 2 menunjukkan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> setelah proses absorpsi (*outletcolumn*). Hasil analisa konsentrasi CO<sub>2</sub> menunjukkan bahwa konsentrasi CO<sub>2</sub> pada biogas cenderung semakin menurun. Konsentrasi CO<sub>2</sub> pada biogas semakin menurun diikuti dengan bertambahnya jumlah asam borat yang ditambahkan ke dalam larutan. Konsentrasi CO<sub>2</sub> menjadi turun hingga mencapai 12.7% mol dengan asam borat sebesar 3%. Jumlah CO<sub>2</sub> pada outlet kolom yang menurun akan diikuti dengan besarnya CO<sub>2</sub> yang terserap ke dalam larutan soda abu.

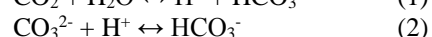
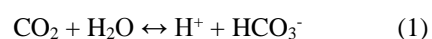
Pada gambar 3 jumlah CO<sub>2</sub> yang terserap pada larutan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dengan 2% H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> lebih besar bila dibandingkan dengan larutan dengan 1% H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>. Jumlah CO<sub>2</sub> yang terserap menunjukkan tingkat penyerapan CO<sub>2</sub> pada larutan meningkat dengan bertambahnya jumlah H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> yang ditambahkan pada larutan. Sesuai dengan gambar 4.2 tingkat penyerapan CO<sub>2</sub> paling besar pada konsentrasi 3% asam borat.



**Gambar 3.** Grafik persentase CO<sub>2</sub> yang terserap setelah absorpsi

Kemampuan larutan soda abu dalam absorpsi ditingkatkan dengan penambahan asam borat. Kenaikan absorpsi CO<sub>2</sub> disebabkan oleh penambahan asam borat yang memberikan efek katalitik pada reaksi pengikatan CO<sub>2</sub> yang membentuk ion HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Seperti yang ditunjukkan pada reaksi, ion OH<sup>-</sup> pada larutan akan mengikat CO<sub>2</sub> dan membentuk HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Ion HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> merupakan produk pada reaksi, jadi ion HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> akan semakin meningkat dengan bertambahnya CO<sub>2</sub> yang diabsorb ke dalam larutan

Reaksi pada asam borat dengan soda abu merupakan reaksi reversibel. Ketika membentuk NaBO<sub>2</sub> akan bereaksi dengan CO<sub>2</sub> yang membentuk asam borat kembali. Penelitian yang dilakukan oleh Maeka dan Pritta (2010) menunjukkan bahwa reaksi asam borat dengan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> terjadi seperti yang ditunjukkan reaksi (5). Berikut reaksi yang terjadi selama proses absorpsi berlangsung:



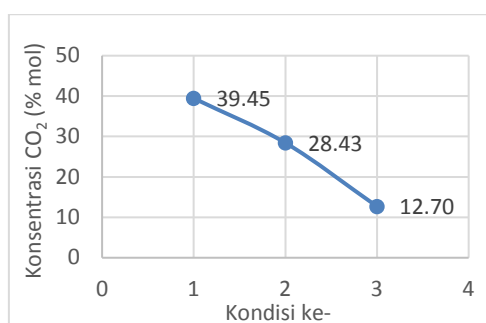


(Gosh, 2009)

Reaksi antara asam borat dan  $\text{K}_2\text{CO}_3$  di reaksi (3) merupakan proses yang terjadi saat absorpsi berlangsung. Kenaikan  $\% \text{H}_3\text{BO}_3$  pada larutan  $\text{K}_2\text{CO}_3$  akan meningkatkan jumlah  $\text{CO}_2$  tereaksi dan kadar  $\text{HCO}_3^-$ . Dengan demikian, setiap penambahan  $\text{H}_3\text{BO}_3$  pada larutan soda abu akan diikuti dengan bertambahnya jumlah  $\text{CO}_2$  yang bereaksi dan kenaikan kadar  $\text{HCO}_3^-$ . Bertambahnya  $\text{CO}_2$  yang bereaksi berjalan seiring dengan penurunan kadar ion  $\text{CO}_3^{2-}$ .

Hasil penelitian yang dilakukan Maeka dan Pritta (2010) menyatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi asam borat pada larutan penyerap maka semakin besar jumlah  $\text{CO}_2$  yang diserap. Larutan penyerap yang digunakan oleh Maeka dan Pritta adalah  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . Hal ini tidak terjadi pada larutan yang menggunakan soda abu ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) sebagai penyerap. Larutan yang menggunakan  $\text{K}_2\text{CO}_3$  sebagai penyerap memiliki pengaruh yang berbeda dengan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  bila diberi promotor asam borat.

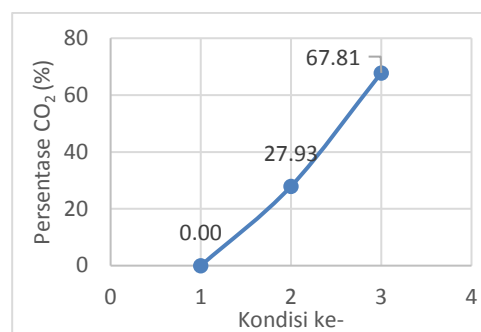
Hasil penelitian yang dilakukan oleh Chandra dan Arini (2014) menyatakan bahwa konsentrasi  $\text{CO}_2$  yang dapat diserap oleh larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  25% berat sebesar 28,43% mol. Gambar 4 menunjukkan perbandingan banyaknya  $\text{CO}_2$  yang dapat terabsorpsi sebelum dan sesudah ditambah asam borat. Adanya penambahan asam borat pada larutan absorban menunjukkan bahwa kemampuan absorpsi larutan soda abu meningkat.



**Gambar 4.** Grafik perbandingan jumlah  $\text{CO}_2$  pada proses absorpsi.

Pada gambar 4 menjelaskan kondisi yang berbeda selama proses absorpsi. Kondisi ke-1 menunjukkan jumlah  $\text{CO}_2$  sebelum proses absorpsi. Konsentrasi  $\text{CO}_2$  menurun setelah dilakukan absorpsi pada biogas yang ditunjukkan pada kondisi ke-2 dan 3. Kondisi ke-2 adalah kondisi ketika biogas diabsorpsi dengan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Kondisi ke-3 adalah ketika biogas

diabsorpsi dengan larutan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  yang ditambah asam borat 3%.



**Gambar 5.** Grafik perbandingan persentase  $\text{CO}_2$  yang terabsorpsi.

Gambar 5 menunjukkan persentase  $\text{CO}_2$  yang terabsorpsi. Persentase  $\text{CO}_2$  dihitung dari selisih antara jumlah  $\text{CO}_2$  awal dengan  $\text{CO}_2$  setelah absorpsi kemudian dibagi dengan jumlah  $\text{CO}_2$  awal. Kondisi ke-1 menunjukkan kondisi biogas sebelum absorpsi. Kondisi ke-2 menunjukkan persentase  $\text{CO}_2$  yang diabsorpsi menggunakan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Pada kondisi ke-2 persentase  $\text{CO}_2$  sebesar 27,93%. Kemampuan absorpsi larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  meningkat dengan ditambahkan asam borat. Hal ini ditunjukkan pada kondisi ke-3 dimana absorpsi  $\text{CO}_2$  dengan larutan yang diberi asam borat 3% massa menyerap 67,81%. Penambahan asam borat pada larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  meningkatkan kemampuan absorpsi  $\text{CO}_2$  sebesar 2,4 kali.

#### 4. KESIMPULAN

1. Asam borat meningkatkan kemampuan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dalam absorpsi  $\text{CO}_2$ .
2. Konsentrasi asam borat yang optimum ditambahkan untuk absorpsi  $\text{CO}_2$  adalah sebesar 3% asam borat.
3. Larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  25% dengan konsentrasi 3% asam borat menyerap  $\text{CO}_2$  sebanyak 67,81%.
4. Penambahan asam borat meningkatkan kemampuan absorpsi  $\text{CO}_2$  dengan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  25% sebanyak 2,4 kali.

#### DAFTAR PUSTAKA

Anastasia, Fanny dan Eka Yeni Rahayu. 2012. *Model Absorpsi Multikomponen dalam Larutan  $\text{K}_2\text{CO}_3$  dengan Promotor Asam Borat pada Packed Column*. Laboratorium Termodinamika Teknik Kimia FTI-ITS. Institut Teknologi Sepuluh November: Surabaya.

- Anonim. 2013. *Absorbtion*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Absorbtion>. diakses pada tanggal 14 Agustus 2013.
- Anonim. 2013. *Biogas*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Biogas>. diakses pada tanggal 14 Agustus 2013.
- Anonim. 2013. *BoricAcid*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Boric\\_acid](http://en.wikipedia.org/wiki/Boric_acid). diakses pada tanggal 14 Agustus 2013.
- Anonim. 2013. *SodiumCarbonate*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium\\_carbonate](http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_carbonate). diakses pada tanggal 14 Agustus 2013.
- Cullinane, J.T. dan Rochelle, G.T. 2004. *Carbondioxideabsorptionwithaqueouspotassiumcarbonatepromotedbypiperazine*. Department of Chemical Engineering. The University of Texas: Austin.
- Coulson, J. M. dan J. F. Richardson. 2002. *Chemical Engineering, Volume 2, FifthEdition, Particle Technology andSeparationProcesses*. Butterworth-Heinemann: Inggris
- Dang, H. dan Rochelle, G.T. 2001. *CO2 AbsorptionRateandSolubilityinMonoethanolamine/Piperazine/Water*. Department of Chemical Engineering. The University of Texas: Austin.
- Danckwerts. 1970. *Gas-LiquidReactions*. McGraw Hill Book Company: New York:
- Duan, Y., etal. 2012. *EfficientTheoreticalScreening of Solid Sorbents for CO2 CaptureApplications*. National Energy Technology Laboratory. United States Department of Energy, Pittsburgh: USA.
- Ghosh, K., etal. 2009. *Absorption of carbondioxideintoaqueouspotassiumcarbonatepromotedbyboricacid*. Department of Chemical and Biomolecular Engineering. The University of Melbourne: Australia.
- Hilliard, M.D. 2005. *A Predictive Model for AqueousPotassiumCarbonate/Piperazine/Ethanolamine for CarbonDioxideRemovalfromFlue Gas*. Department of Chemical Engineering. The University of Texas: Austin.
- Kirk, Othmer. 2007. *Encyclopedia of Chemical Technology*. Wiley. Universitas Michigan: USA.
- Mahendradhany, AgastyaPrastita. 2010. *Penentuan Kandungan Karbonat Atau Hidrogen Karbonat Dalam Campurannya Dengan Cara Titrasi Asam Basa*. Laporan Praktikum. Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- Najib, M. Hasnan A., dkk. 2012. *Studi Pengaruh Variabel Laju Alir NaOH Dalam Proses Absorpsi Gas CO2*. Universitas Diponegoro: Semarang.
- Posey, M.L dan RochelleG.T. 1997. *A Thermodynamic Model of Methyl-diethanolamine-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O System*. Department of Chemical Engineering. The University of Texas: Austin.
- Puspa, MaekaDita dan PrittaAprilia. 2010. *Pengaruh Penambahan Asam Borat (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) terhadap Solubilitas CO<sub>2</sub> dalam Larutan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>*. Laboratorium Termodinamika Teknik Kimia FTI-ITS. Institut Teknologi Sepuluh November: Surabaya.
- Rochelle, G.T., etal. 2005. *CO2 CapturebyAbsorptionwithPotassiumCarbonate*. Department of Chemical Engineering. The University of Texas: Austin.