

Pengaruh Temperatur Larutan *Triethylamine (Tea)*, Air dan Ca(OH)_2 terhadap Pelepasan CO_2 pada Proses Pemurnian Biogas

Zulkifli Kurniawan, ING.Wardana, Denny Widhiyanuriyawan
Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang
Jl. MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
Phone : +62-341-587710, Fax: +62-341-551430
E-mail : joel_smkn2@yahoo.co.id

Abstract

Biogas is renewable fuel that generated by bacteria activities in anaerobic organic matter process. Biogas composed by CH_4 (54% to 70%), CO_2 (27% to 45%) and impurities gas such as N_2 , H_2O , CO , H_2S . The CO_2 on biogas should be reduced because it's as inhibitor that reduces heat of biogas flame. This research proposed to reduce CO_2 in the packed column purification system by using TEA, H_2O , and Ca(OH)_2 solution as absorber. The absorber temperature were varied 35°, 45°, 55° and 65°C for knowing performance absorber reduce CO_2 at the flow rate of CO_2 and CH_4 , entering packed column by 0.1 l/m, release time of CO_2 in heater was eight minutes by comparison CH_4 , and CO_2 i.e. 80 % -20 %, 85 % -15 %, 90 % -10 % and 95 % -5 %. The result of this study was the higher the temperature heating, the higher the percentage of CO_2 released. Absorbent TEA + H_2O and combined TEA + H_2O + Ca(OH)_2 , improve absorption of CO_2 in a linear manner at a temperature of warming 35, 45, 55, 65°C.

Keywords : Biogas, Absorption, Temperature, TEA, H_2O , Ca(OH)_2

PENDAHULUAN

Biogas merupakan gas yang tidak berbau, tidak beracun dan tidak menimbulkan asap hitam serta mudah terbakar dengan nyala berwarna biru. Oleh karena itu biogas bagus untuk sumber energi terbarukan. Kandungan biogas tergantung dari beberapa faktor seperti komposisi limbah yang dipakai sebagai bahan baku, bahan organik dari *digester*, dan temperatur dari penguraian *anaerob*. Komposisi biogas bervariasi tergantung pada proses *anaerobik* yang terjadi, komposisi biogas terdiri atas metana (CH_4) 55-75%, Karbon dioksida (CO_2) 25-45%, Nitrogen (N_2) 0-0.3%, Hidrogen (H_2) 1-5%, Hidrogen sulfide (H_2S) 0-3%, Oksigen (O_2) 0.1-0.5%. Nilai kalori dari 1 (m^3) Biogas \pm 6.000 Watt/jam setara dengan 0.5 liter minyak diesel [1].

Pemurnian biogas dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu metode absorpsi yang

menggunakan larutan kimia, metode absorpsi yang menggunakan permukaan zat padat (fisik), metode absorpsi dengan menggunakan *membrane separator*, dan metode absorpsi pemisahan secara *cryogenic*.

Absorpsi adalah kontak antara gas-cairan dan *transfer massa* terjadi dari gas ke cairan. Perpindahan massa dari gas ke cairan terjadi dalam tiga langkah perpindahan yaitu transfer massa dari badan utama gas ke suatu fase antar muka, transfer massa melalui bidang antar muka ke fase kedua dan transfer massa dari antar muka ke badan utama cairan. Syarat terjadinya perpindahan massa konsentrasi awal y_A dan x_A tidak berada dalam keadaan setimbang. Teori lapisan dua film menyatakan bahwa perpindahan massa terlarut A dari gas ke cairan akan terjadi bila terdapat cukup kekuatan gerak (*driving force*) dari satu fasa ke fasa yang lain yang dikenal dengan nama

koefisien perpindahan massa (*mass transfer coefficient*). Laju perpindahan massa ini juga tergantung pada luas permukaan kontak antar fasa. Syarat bahan yang dapat dijadikan sebagai penyerap yaitu memiliki daya melarutkan bahan yang besar, selektif, memiliki tekanan uap yang rendah, tidak korosif, viskositas rendah, stabil secara termis, dan murah

Hal ini sangat berpengaruh terhadap nilai kalor/panas yang dihasilkan, sehingga CH_4 yang dihasilkan perlu dilakukan pemurnian terhadap pengotor yang lain. Dalam hal ini pengotor yang berpengaruh terhadap nilai kalor adalah CO_2 , keberadaan CO_2 dalam gas CH_4 sangat tidak diinginkan, hal ini dikarenakan semakin tinggi kadar CO_2 dalam CH_4 maka akan semakin menurunkan nilai kalor CH_4 dan sangat mengganggu dalam proses pembakaran. Hal ini menyebabkan kemurnian CH_4 menjadi rendah [2].

Untuk mengatasi permasalahan yang diatas, maka telah dilakukan beberapa usaha untuk pemurnian biogas. Penelitian tentang *Mixed Matrix Membrane (MMM)* [3] yang terdiri dari *polyimide-zeolit* (20% wt polyimide) yang telah disintesa dan dikarakterisasi menghasilkan selektifitas CO_2 meningkat dari 0,99% menjadi 7,9%. Penggunaan larutan NaOH , Ca(OH)_2 , MEA [4] mampu menghilangkan 90% kandungan CO_2 . Penggunaan larutan NaOH secara kontinyu [5] dengan laju aliran NaOH divariasikan 1,12 ml/s; 2,75 ml/s; 4,25 ml/s; 5,67 ml/s; 7,625 ml/s mampu menghasilkan CO_2 yang terserap 58,11%. Teknologi Pemurnian Biogas [6] dengan menggunakan larutan MEA 10% dengan laju alir *absorbent* 75 l/m mampu menghilangkan CO_2 sebesar 32% dalam 1 menit.

Pada penelitian ini, sistem pemurnian biogas dibuat sangat sederhana agar dapat digunakan pada masyarakat. Pada penelitian ini temperatur divariasikan yang bertujuan untuk melihat karakterisasi proses regenerasi, selain itu juga sistem pemurnian biogas yang digunakan pada macam - macam *absorbent* yang bertujuan untuk mengetahui kinerja daripada *absorbent* dalam penyerapan CO_2

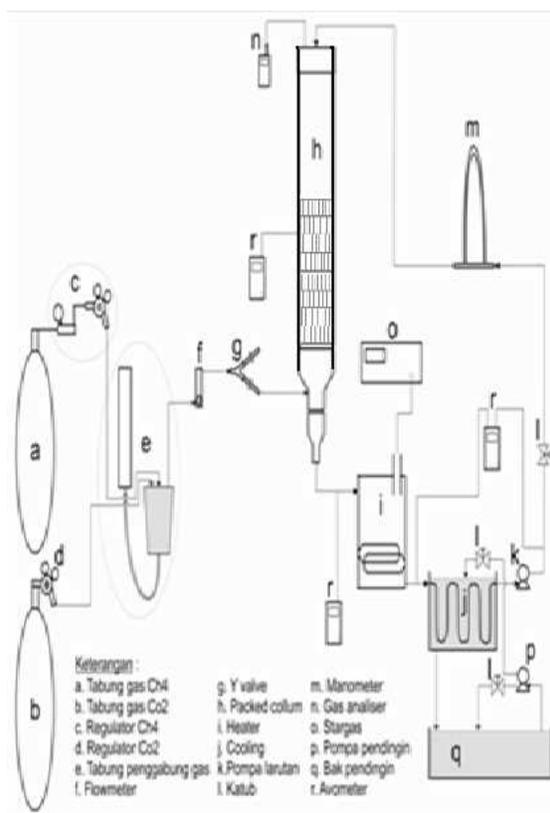
pada *packed collom* dengan dilengkapi system regenerasi dengan laju aliran *absorbent* secara kontinyu. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah menemukan sistem pemurnian yang efektif untuk menghilangkan kandungan CO_2 dalam biogas.

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian skala laboratorium ini, pemurnian biogas dilakukan dengan sistem penyerapan menggunakan larutan *Triethylamine (TEA)*, *Air*, Ca(OH)_2 yang disirkulasikan secara kontinyu, sistem terdiri dari *packed collum*, *heater/separator* dan *kondensor*. Dalam *packed collum* disusun *tube* Φ 10 mm secara random/acak dengan ketinggian susunan *tube* 60 cm, yang berfungsi untuk menghambat laju aliran dari *Triethylamine*, *Air*, Ca(OH)_2 sehingga terjadi kontak dengan CO_2 , dan penyerapan CO_2 berjalan dengan maksimal. Larutan TEA , *Air*, Ca(OH)_2 dimasukkan kedalam *heater* sekaligus sebagai bak penampung *absorbent*, sehingga CO_2 yang berhasil diikat dalam *packed collum* dapat dilepas pada bagian ini (*heater*). Untuk dapat melakukan absorpsi, temperatur dalam *packed collum* berada pada temperatur kamar, dan untuk menurunkan temperatur *absorbent* ke temperatur kamar digunakan *kondensor*, sehingga *absorbent* yang terdiri dari TEA , *Air*, Ca(OH)_2 dapat diregenerasi untuk melakukan absorpsi di *packed collum*. Dengan larutan yang dapat diregenerasi, dan didukung dengan sistem yang memadai, maka akan menghasilkan sebuah sistem pemurnian yang dapat meminimalisir pergantian *absorbent* dan dapat digunakan untuk jangka waktu yang lama.

Gambar 1 menunjukkan instalasi penelitian. pada proses pemurnian biogas dilakukan dengan cara CH_4 dan CO_2 sesuai dengan komposisi 80%-20%, 85%-15%, 90%-10%, 95%-5% dimasukkan kedalam bak penggabung (e), *absorbent* dipanaskan sesuai temperatur yang telah ditentukan. Setelah temperatur pemanasan tercapai, *absorbent* disirkulasi secara kontinyu supaya dapat tercampur dengan baik dan merata, setelah temperatur pemanasan tercapai $\text{CO}_2\text{-CH}_4$

dialirkan kedalam *packed collum* melalui *flow meter* (f) dengan laju aliran 0.1 l/m, untuk menampung CH₄ yang keluar melalui bagian atas *packed collum* dan CO₂ yang keluar melalui *heater* kita gunakan *urine bag*. Proses pelepasan CO₂ kami tetapkan selama 8 menit untuk semua *absorbent*. *Gas analyzer* digunakan untuk mendeteksi kandungan CO₂ hingga 20%.

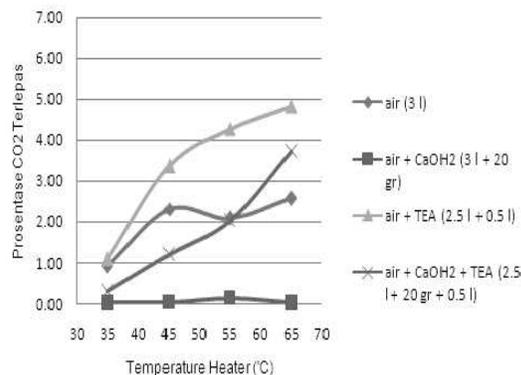


Gambar 1. Instalasi Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 menunjukkan bahwa persentase CO₂ yang terlepas pada masing-masing *absorbent* tidak sama terhadap kenaikan temperatur pemanasan 35, 45, 55, dan 65°C pada konsentrasi CO₂ yang masuk 5%, 10%, 15% dan 20%. Pada *absorbent triethylamine (TEA)*, CO₂ yang terlepas dari *absorbent* pada temperatur 35°C(1.09%), 45°C(3.36%), 55°C(4.28%), 65°C(4.83%) hal ini

menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi persentase CO₂ yang dilepas, peningkatan CO₂ yang dilepas oleh *absorbent triethylamine (CH₃CH₂)₃N_(l)* akan kembali bersirkulasi (reversible), pelepasan CO₂ dari larutan TEA yang merupakan reaksi eksotermis, hal ini menunjukkan semakin tinggi temperatur maka semakin optimal kandungan CO₂ yang dapat terabsorpsi. Menurut [7,8] dalam prakteknya metode absorpsi dengan menggunakan larutan kimia sering digunakan dengan alasan sangat efektif dan lebih efisien karena terjadi reaksi yang cepat. Hal ini juga dalam penelitian yang dilakukan oleh [9] telah melakukan penelitian tentang absorpsi CO₂ menggunakan *monoetanolamine (MEA)*. Hasil penelitian yang diperoleh adalah harga koefisien perpindahan massa *volumetric overall fase gas*, akan semakin besar pada saat laju gas CO₂ konstan dan laju alir MEA semakin besar.



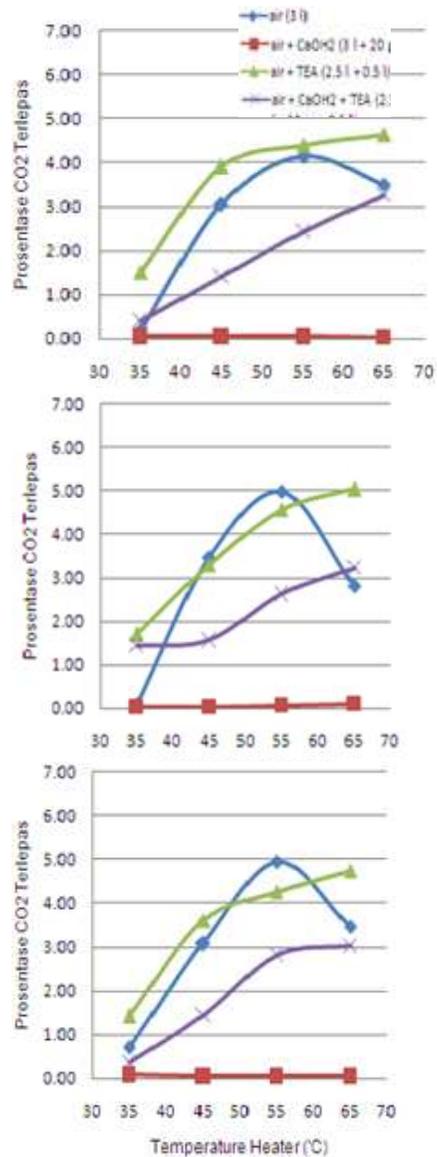
Gambar 2. Hubungan Temperatur terhadap persentase CO₂ Terlepas diheater pada konsentrasi CO₂ yang masuk 5%.

Absorbent triethylamine + Air + Ca(OH)₂ pada gambar 2 menunjukkan pelepasan CO₂ pada *heater* terjadi kenaikan secara linier seiring kenaikan temperatur, pada temperatur 35°C(0.30%), 45°C(1.21%), 55°C(2.04%), 65°C(3.73%), gabungan dari larutan tersebut jika direaksikan dengan CO₂, akan bereaksi secara individu, karena H₂O pelarut yang bersifat netral, dan Ca(OH)₂ zat terlarut yang bersifat basa, sedangkan untuk (CH₃ CH₂)₃N_(l)

juga sebagai zat terlarut yang bersifat basa karena memiliki gugus *amine* (N). Dengan menambahkan H₂O dan (CH₃CH₂)₃N(l) dalam reaksi tersebut akan membuat suhu semakin tinggi karena *triethylamine* menyerap CO₂ kemudian membentuk senyawa kompleks, sedangkan dengan penambahan Ca(OH)₂, justru jumlah CO₂ konstan karena reaksi tersebut akan membentuk senyawa CaCO₃ dan H₂O.

Absorbent H₂O pada gambar 2 menunjukkan pelepasan CO₂ pada temperatur 35°C (0.91%), 45°C (2.31%) dan 65°C (2.57%) kenaikan jumlah CO₂ yang terabsorpsi karena atom Oksigen (O) yang ada pada CO_{2(g)} membentuk ikatan hidrogen dengan atom hidrogen (H) yang ada pada H₂O(l). Dimana senyawa yang mempunyai Ikatan Hidrogen akan mempunyai titik didih yang tinggi, sedangkan temperatur 55°C terjadi penurunan persentase CO₂ yang terabsorpsi, karena pada temperatur ini ikatan H₂CO_{3(l)} sangat kuat sehingga ikatan tersebut tidak terurai menjadi H₂O(l) dan CO_{2(g)}. Sehingga pada temperatur 55°C dengan persentase CO₂ yang masuk 5% dihasilkan CO₂ yang terabsorpsi sebesar 2.08%. Hal ini menurut teori Svante Arrhenius bahwa asam adalah suatu senyawa yang jika dilarutkan dalam air akan menghasilkan ion hidrogen (H⁺) dan merupakan senyawa kovalen dan akan bersifat asam jika sudah larut dalam air.

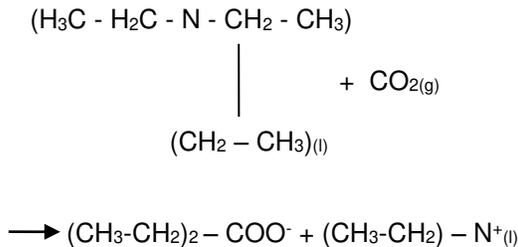
Untuk *absorbent* Ca(OH)₂ yang ditunjukkan pada gambar 2, dimana proses absorpsi CO₂ pada temperatur pemanasan 35°C(0.02%), 45°C(0.04%), 55°C(0.13%), 65°C(0.02%) dengan konsentrasi CO₂ masuk 5,10, 5 dan 20%, hal ini Ca(OH)_{2(s)} dalam *liquid* tidak dapat kembali (*irreversible*) akibat terjadi pengendapan. Pengendapan Ca(OH)_{2(s)} disebabkan oleh Ca²⁺ (ion kalsium) dan 2OH⁻ (ion hidroksida), karena kedua ion tersebut sangat cepat bereaksi, menyebabkan larutan Ca(OH)₂ sangat cepat mengendap, sehingga CO₂ yang terabsorpsi pada *absorbent* ini adalah konstan, sedangkan syarat terjadinya absorpsi bila terdapat cukup kekuatan gerak (*driving force*).



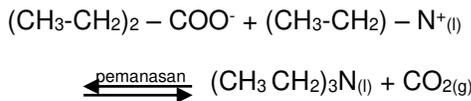
Gambar 3. Hubungan Temperatur terhadap Persentase CO₂ Terlepas *diheater* pada konsentrasi CO₂

Selanjutnya pada gambar 3(a) menunjukkan CO₂ yang terabsorpsi sebesar 1.42%(35°C), 3.60%(45°C), 4.27%(55°C), 4.75%(65°C) pada konsentrasi CO₂ masuk

10%, kemudian gambar 3(b) CO₂ yang terabsorpsi sebesar 1.52%(35°C), 3.90%(45°C), 4.40%(55°C), 4.65%(65°C) pada konsentrasi CO₂ masuk 15% dan gambar 3(c) CO₂ yang terabsorpsi sebesar 1.70%(35°C), 3.30%(45°C), 4.57%(55°C), 5.04%(65°C) pada konsentrasi CO₂ masuk 20%. Hal ini menunjukkan peningkatan absorpsi secara linier pada *absorbent triethylamine*, jika diuraikan dalam mengabsorpsi CO₂ dapat dituliskan sebagai berikut :



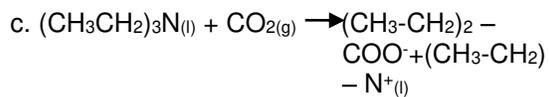
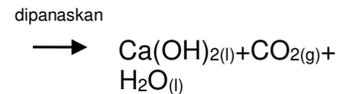
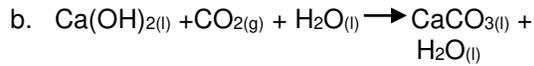
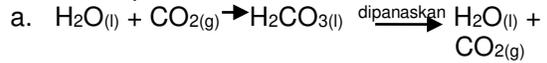
Larutan *triethylamine* direaksikan, maka CO_{2(g)} yang diabsorpsi menjadi COO⁻ dalam bentuk ion negatif, sedangkan N⁺ adalah gugus amine dalam bentuk ion positif, reaksi tersebut dipanaskan agar CO_{2(g)} yang diabsorpsi terlepas dari ikatan *triethylamine*, penguraian reaksi sebagai berikut ;



Setelah pemanasan maka larutan dari *triethylamine* (CH₃CH₂)₃N_(l) akan kembali bersirkulasi (reversible). Dan CO_{2(g)} akan terlepas, semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi persentase CO₂ yang terlepas.

Sedangkan untuk *absorbent* gabungan *Triethylamine+Air+Ca(OH)₂* pada gambar 3(a) CO₂ yang terabsorpsi pada temperatur 35°C(0.36%), 45°C(1.45%), 55°C(2.81%), 65°C(3.02%), gambar 3(b) CO₂ yang terabsorpsi pada temperatur 35°C(0.40%), 45°C(1.41%), 55°C(2.43%), 65°C(3.27%) dan gambar 3(c) CO₂ yang terabsorpsi pada temperatur 35°C(1.43%), 45°C(1.56%), 55°C(2.63%), 65°C(3.22%), absorpsi CO₂ meningkat secara linier seiring kenaikan temperatur pelepasan, jika direaksikan dengan CO₂, akan bereaksi

secara individu, Maka reaksi dari ketiga larutan tersebut dapat dituliskan :



Pada gambar 3(a) peningkatan pelepasan CO₂ pada *absorbent* H₂O pada konsentrasi CO₂ masuk 10%, CO₂ yang terabsorpsi sebesar 0.71%(35°C), 3.07%(45°C), 4.95%(55°C), gambar 3(b) konsentrasi CO₂ masuk sebesar 15%, yang terabsorpsi sebesar 0.21%(35°C), 3.04%(45°C), 4.14%(55°C), dan gambar 3(c) CO₂ masuk 20% yang terabsorpsi sebesar 0.10%(35°C), 3.47%(45°C), 4.98%(55°C), terjadi peningkatan secara linier, karena konsentrasi gas dan *liquid* tidak dalam keadaan setimbang sehingga luas kontak dalam *packed collom* sangat besar, hal ini menurut teori absorpsi disebabkan laju perpindahan massa terlarut gas ke cairan mempunyai kekuatan gerak (*driving force*), serta kenaikan temperatur pemanasan menyebabkan ikatan antara H₂O_(l) dan CO_{2(g)} sangat lemah karena terjadi pelepasan ion H⁻ sehingga H₂O_(l) dan CO_{2(g)} terpisah, maka reaksi dapat dituliskan sebagai berikut :



Reaksi H₂O_(l) dan CO_{2(g)} menghasilkan asam karbonat, reaksi tersebut merupakan suatu reaksi *reversible eksotermis*. Hal ini menurut teori Svante Arrhenius bahwa asam adalah suatu senyawa yang jika dilarutkan dalam air akan menghasilkan ion hydrogen (H⁺)

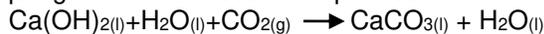
dan merupakan senyawa kovalen dan akan bersifat asam jika sudah larut dalam air. Penelitian yang dilakukan tentang Teknologi Pemurnian Biogas [6] yang dihasilkan secara *anaerobic digestion*, air digunakan untuk menghilangkan CO₂ dan H₂S dari biogas, karena gas-gas tersebut lebih mudah larut dalam air dibandingkan metana.

Terjadinya penurunan penyerapan CO₂ pada temperatur pemanasan 65°C gambar 3(a),(b),(c) pada *absorbent* air (H₂O) konsentrasi CO₂ masuk 10%(3.47%), 15%(3.51%), 20%(2.81%) hal ini disebabkan oleh ikatan H₂O_(l) dan CO_{2(g)} yang sangat kuat karena menerima ion H⁺ sehingga tidak dapat terurai pada *absorbent* tersebut atau hal ini disebabkan karena atom Oksigen (O) yang ada pada CO₂ tidak membentuk ikatan Hidrogen dengan atom Hidrogen (H) yang ada pada H₂O.

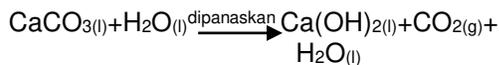
Untuk *absorbent* Ca(OH)₂ pada proses absorpsi CO₂ gambar 3(a),(b),(c), dimana temperatur pemanasan 35, 45, 55, 65°C dengan konsentrasi CO₂ 5,10, 5 dan 20% CO₂ yang diabsorpsi adalah konstan, bila dibandingkan dengan *absorbent* lainnya. Penguraian Ca(OH)₂ dan H₂O dapat ditulis sebagai berikut :



Campuran Ca(OH)_{2(s)} pada *absorbent* dalam bentuk liquid, CO₂ kontak dengan *absorbent* didalam *packed collum*, maka penguraian secara kimia dapat dituliskan :

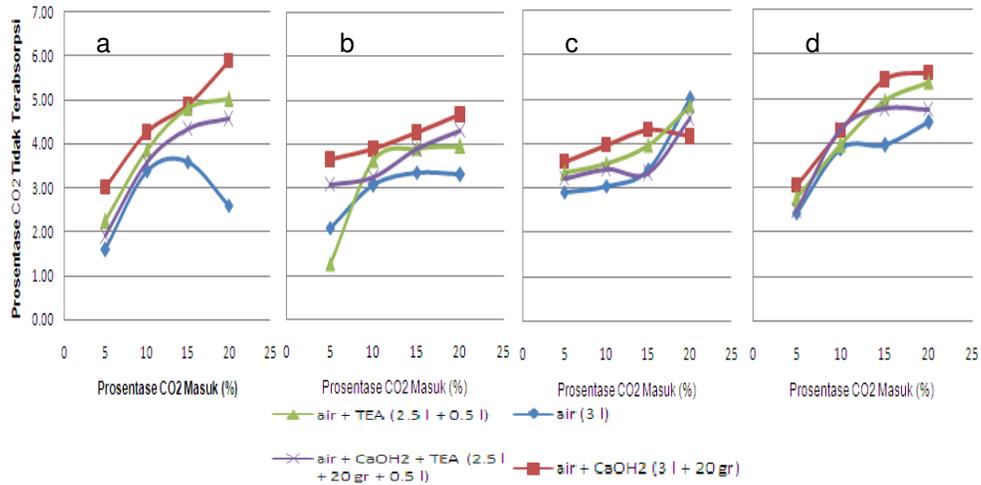


Pelepasan CO₂ terjadi pada heater, panas yang timbul memisahkan *absorbent* dengan CO₂, dimana penguraiannya adalah :



Setelah pemanasan maka, CO_{2(g)} akan terlepas dari larutan dan Ca(OH)_{2(s)} tidak dapat kembali (*irreversible*) karena terjadi pengendapan dalam *liquid*, Sedangkan H₂O_(l) akan bersirkulasi pada sistem pemurnian. Pengendapan disebabkan adanya Ca²⁺ (ion

kalsium) dan 2OH⁻ (ion hidroksida), yang menyebabkan larutan Ca(OH)₂ sangat cepat mengendap, sehingga kandungan CO₂ yang terabsorpsi adalah konstan.



Gambar 4. Hubungan Persentase CO₂ tidak terabsorpsi *dipacked collum* terhadap Persentase CO₂ masuk pada Temperatur (a)35°C, (b)45°C, (c) 55°C dan (d) 65°C

Gambar 4(a),(b),(c),(d) menunjukkan hubungan Persentase CO₂ yang masuk terhadap persentase CO₂ yang tidak terabsorpsi *dipacked collum*, gambar 4(a) pada temperatur 35°C sebesar 3.01% ,4.25%, 4.87%, 5.87%, 4(b) pada temperatur 45°C sebesar 3.65%, 3.89%, 4.26%, 4.67% dan 4(d) pada temperatur 65°C 3.06%, 4.28%, 5.42%, 5.59%, pada *absorbent* Ca(OH)₂, CO₂ yang tidak dapat terabsorpsi meningkat secara linier hal ini disebabkan karena waktu kontak antara *absorbent* Ca(OH)_{2(l)} + CO_{2(g)} tidak terjadi karena terhalang oleh endapan dari Ca(OH)_{2(s)} dalam larutan, serta laju aliran *absorbent* yang sangat lambat, dalam hal ini penelitian yang dilakukan tentang Peningkatan kualitas biogas terhadap penghapusan CO₂ dan H₂S [4] pada kolom reaktor, hasil menunjukkan bahwa larutan berair yang digunakan adalah efektif dalam bereaksi dengan CO₂ dalam biogas (lebih dari 90%) CO₂ yang berhasil diserap, kemampuan penyerapan adalah bersifat sementara. Saturasi dicapai dalam waktu sekitar 50 menit untuk Ca(OH)₂ dan 100 menit untuk NaOH dan MEA.

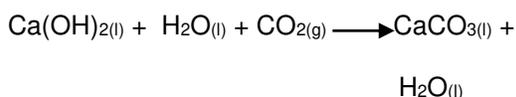
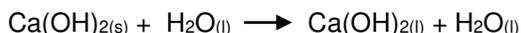
Sedangkan untuk gambar 4(c), pada temperatur 55°C sebesar 3.60%, 3.98%, 4.32%, pada persentase CO₂ yang terlepas terjadi penurunan sebesar 0.16% dari

konsentrasi 15%(4.32) ke 20%(4.16) hal ini disebabkan ikatan Ca(OH)_{2(l)} dan CO_{2(g)} dapat terikat sehingga CO₂ yang terabsorpsi larut bersama *absorbent* dan terjadi pelepasan pada *heater*.

Untuk *absorbent triethylamine (C₆H₁₅N)* yang ditunjukkan pada gambar 4(a) pada temperatur 35°C CO₂ yang tidak terabsorpsi sebesar 2.23%, 3.86%,4.80%, 5.01%, 4(b) pada temperatur 45°C CO₂ yang tidak terabsorpsi sebesar 1.26%, 3.36%, 3.91%, 3.95%, 4(c) kemudian untuk temperatur 55°C sebesar 3.34%, 3.56%, 3.98%, 4.87%, 4(d) selanjutnya pada temperatur 65°C 2.76%, 3.96%, 4.97%, 5.37%, CO₂ yang tidak terabsorpsi keluar bersama dengan CH₄ melalui *packed collum*, hal ini disebabkan oleh laju aliran *absorbent* yang disemprotkan ke dalam *packed collum* tidak merata dan *absorbent* menempel dan mengalir secara perlahan pada dinding *packed collum*, sehingga perpindahan massa dari gas ke *liquid* dari fase ke fase tidak mempunyai kekuatan gerak (*driving force*) sehingga kontak CO₂ dan *absorbent* tidak terjadi secara optimal, tingkat kepekatan *absorbent* berkurang sehingga kontak dengan CO₂ tidak terjadi yang menyebabkan CO₂ yang tidak terabsorpsi meningkat. Hal ini juga menurut penelitian yang telah dilakukan oleh [10] pada

penelitian memberikan gambaran tentang proses absorpsi CO₂ dalam larutan MEA yang sangat pekat (3–9 kmol/m³). Penelitian dilakukan untuk melihat efek dari range kondisi operasi yang lebar terhadap efisiensi untuk proses absorpsi. Kondisi operasi yang digunakan meliputi konsentrasi *solvent* yang sangat tinggi, *tipe packing*, laju alir gas dan *liquid*, komposisi gas masuk, dan *loading* CO₂. Hasil yang diperoleh menyatakan bahwa kapasitas absorpsi larutan amina akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasinya.

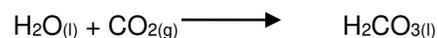
Sedangkan untuk *absorbent* gabungan triethylamine + H₂O + Ca(OH)₂ juga terjadi peningkatan terhadap CO₂ yang tidak terabsorpsi gambar 4(a) pada temperatur 35°C sebesar 1.89%, 3.57%, 4.34%, 4.56%, 4(b) pada temperatur 45°C sebesar 3.09%, 3.26%, 3.89%, 4.31%, 4(c) temperatur 55°C 3.21%, 3.43%, 3.34%, 4.57%, 4(d) temperatur 65°C sebesar 2.49%, 4.32%, 4.78%, 4.76%, hal ini karena reaksi CO_{2(g)} membentuk senyawa CaCO_{3(l)}, sedangkan untuk Ca(OH)_{2(s)} dalam larutan sebagai zat terlarut yang bersifat basah yang tidak dapat diregenerasi karena berbentuk endapan yang disebabkan oleh adanya Ca²⁺ (ion kalsium) dan 2OH⁻ (ion hidroksida), reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut :



sehingga kontak antara CO_{2(g)} dengan *absorbent* pada *packed collum* sangat lemah, sehingga CO_{2(g)} yang tidak dapat diabsorpsi sangat besar sehingga menghasilkan CO₂ yang dilepas pada heater sangat kecil. Menurut [11] penyebab terjadinya penguraian CO₂ ada 3 macam, yaitu reaksi thermal, elektrolisis, dan katalis.

Selain dari ketiga macam *absorbent* yang digunakan, *absorbent* air (H₂O) yang di tunjukkan pada gambar 4(a), CO₂ yang tidak terabsorpsi pada temperatur 35°C sebesar

1.59%, 3.38%, 3.59%, 4(b) CO₂ yang tidak terabsorpsi pada temperatur 45°C sebesar 2.10%, 3.07%, 3.36%, 3.31%, 4(c) pada temperatur 55°C sebesar 2.92%, 3.05%, 3.42%, 5.02%, 4(d) pada temperature 65°C sebesar 2.43%, 3.88%, 3.96%, 4.47%, pada *absorbent* air (H₂O) terjadi peningkatan CO₂ yang tidak terabsorpsi secara linier hal ini disebabkan oleh ikatan molekul H₂O_(l) yang sangat lemah serta peningkatan persentase CO_{2(g)} di *packed collum*, sehingga CO_{2(g)} tidak dapat terabsorpsi oleh *absorbent* H₂O_(l), reaksi dapat dituliskan sebagai berikut :



Dari reaksi tersebut menghasilkan H₂CO_{3(l)} (asam karbonat), Hal ini menurut teori asam – basa Bronsted – Lowry bahwa asam adalah ion atau molekul yang berperan sebagai pemberi proton atau ion H⁺ kepada ion atau molekul lainnya atau setiap zat tidak ada yang bersifat asam atau pun basa, tergantung pada apakah zat tersebut mampu menerima atau melepaskan proton dan bersifat luas dan tidak hanya tergantung pada pelepasan ion H⁺ atau ion H⁻.

Selanjutnya pada gambar 4(a), dengan menggunakan *absorbent* air (H₂O), dengan konsentrasi 20% pada temperatur pemanasan 35°C terjadi penurunan CO₂ yang terlepas dari *absorbent* dalam *packed collumn*, hal ini disebabkan ikatan molekul H₂O_(l) sangat kuat sehingga dapat mengikat CO_{2(g)}, CO₂ yang terlepas pada temperatur 35°C = 2.60% CO₂, menurut teori Svante Arrhenius bahwa asam adalah suatu senyawa yang jikkonsentrasi CO₂ a dilarutkan dalam air akan menghasilkan ion hydrogen (H⁺) dan merupakan senyawa kovalen dan akan bersifat asam jika sudah larut dalam air.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penggunaan larutan kimia triethylamine (C₆H₁₅N) dalam absorpsi CO₂ meningkat

- secara linier, CO₂ yang terlepas di *heater* sebesar 4.83%, pada CO₂ masuk 5%.
2. Penggunaan triethylamine + H₂O + Ca(OH)₂, CO₂ yang dapat terlepas di *heater* sebesar 3.73% dari 5% CO₂ yang masuk
 3. Dengan menggunakan *absorbent* air, CO₂ yang terlepas di *heater* sebesar 4.95% dari 10% CO₂ yang masuk.
 4. Absorpsi CO₂ dengan menggunakan *absorbent* Ca(OH)₂, CO₂ yang terlepas di *heater* adalah konstan seiring kenaikan temperatur pemanasan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Seadi, Teodorita, 2008, Biogas Handbook, *Published by University of Southern Denmark Esbjerg*, Denmark.
- [2] Gerardi, Michael H., 2002, Nitrification and Denitrification in the Activated Sludge Process, and The Microbiology of Anaerobic Digesters, *Published by Jhon Wiley & Sons, Inc*, Hoboken, New Jersey
- [3] Budiyo, Kusworo, T. D., Ismail, A. F., Widiyasa, I.N., Johari, S. and Sunarso, 2009, Synthesis and Characterization of Polyimide - Zeolite Mixed Matrix Membrane for Biogas Purification. Department of Chemical Engineering, Universitas Diponegoro, Semarang, *Jurnal Reaktor.*, Vol. 12, No. 4, 245-252
- [4] Tippayawong, N., P., Thanompongchart, 2010, Biogas Quality Upgrade by Simultaneous Removal of CO₂ and H₂S in a Packed Column Reactor, *Thesis of Mechanical Engineering*, Chiang Mai University, Thailand.
- [5] Maarif, Fuad dan Arif F. Januar, 2008, *Absorpsi Karbondioksida (CO₂) Dalam Biogas dengan Larutan NaOH Secara Kontinyu.* Semarang: Universitas Diponegoro.
- [6] Zhao Q., E. Leonhardt, C. MacConnell, C. Frear and S. Chen, 2010, Purification Technologies for Biogas Generated by Anaerobic Digestion, *CSANR Research Report*, Climate Friendly Farming, Chapter 9, 1-24.
- [7] Mulder, Albert Jacob, 2011, Anaerobic Purification of Heated Waste Water, *United State Patent.*, Patent No. US 7,914,675 B2.
- [8] Shannon, R., 2000, *Biogas conference proceedings*, <http://www.rosneath.com/all/ipc6/ch08/shannon2/>
- [9] Srihari, E., Priambodo, R., Sutanto, H., Widjajanti, W., 2012, Absorpsi Gas CO₂ menggunakan Monoetanolamine, *ejournal upnjatim.*, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Surabaya.
- [10] Aboudheir, A., Tontiwachwuthikul, P., and Chakma A., 2001, "CO₂-MEA Absorption in Packed Columns: Comprehensive Experimental Data and Modeling Results", *Proceedings of the Fifth International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*, 217-222, Cairns, Australia, 2001
- [11] IUPAC, 1997, Compendium of chemical Terminology, http://en.wikipedia.org/wiki/Chemical_decomposition.