

PENGURANGAN KADAR H₂S DARI BIOGAS LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT DENGAN METODE ADSORPSI

Alwathan^{*}), Mustafa, Ramli Thahir

Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Samarinda

*E-mail corresponding author: Lalwathan@yahoo.com

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article history:</i> Received: 02-01-2013 Received in revised form: 20-02-2013 Accepted: 10-03-2013 Published: 01-04-2013</p> <hr/> <p><i>Keywords:</i> Waste Biogas Adsorption Acid sulphide Activated carbon</p>	<p><i>Biogas is purified before being used in from the acid content of sulfide (H₂S), although the numbers are small, but the resulting loss due to corrode metal or when burned to form SO₂ or SO₃, known as SO_x that cause acid rain. The purpose of this study to find time in the saturated adsorbent adsorb H₂S, the ability of the activated carbon adsorbent adsorbs adsorption equation and find the constants in the Freundlich isotherm variations in the size of activated carbon for in calculating the residence time of adsorption. The materials used are the sludge from the hospital wastewater treatment. The method was performed in this study for measure the content of H₂S in the biogas before passed through to the third adsorber column 70 cm height, ½ inch diameter, 64 cm high filling packing material of activated carbon with a size of 4, 7, 10, 12, 14 mesh velocity biogas 0, 5 litre. / min obtained results most rapidly activated carbon burnout mesh size of 4 is 60 minutes, H₂S is adsorption 202.42 mg of 9.76% while the efficiency of saturation saturation time exceeding 90 minutes 14 mesh size activated carbon is adsorption H₂S 368.65 mg 9.79% saturation efficiency. Optimal use of activated carbon which is 12 mesh saturated 80-minute time, efficiency saturated 9.82% with a residence time of 127.927 seconds while the shortest residence time occurs on the mesh size of adsorbent 4, the residence time of 73.855 seconds.</i></p>

Abstrak- Biogas sebelum digunakan harus dimurnikan terlebih dahulu dari kandungan asam sulfida (H₂S) yang meskipun jumlahnya kecil namun menimbulkan kerugian karena menimbulkan korosi pada logam atau apabila dibakar akan membentuk SO₂ atau SO₃ yang dikenal dengan SO_x yang menyebabkan terjadinya hujan asam. Tujuan dari penelitian ini adalah mencari waktu jenuh adsorben dalam menyerap H₂S, mengetahui kemampuan adsorben karbon aktif dalam menyerap dan mencari konstanta persamaan adsorpsi isotherm Freundlich pada variasi ukuran karbon aktif yang digunakan dalam menghitung waktu tinggal adsorpsi. Bahan yang digunakan adalah sludge dari hasil pengolahan limbah cair rumah sakit. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu mengukur kandungan H₂S dalam biogas sebelum melalui adsorber disusun secara seri ukuran tinggi kolom 70 cm, diameter ½ inch, tinggi isian 64 cm bahan isian karbon aktif dengan ukuran 4, 7, 10, 12, 14 mesh kecepatan biogas 0.5 liter/menit diperoleh hasil karbon aktif paling cepat mengalami kejenuhan ukuran 4 mesh yaitu 60 menit, H₂S yang terjerap 202.42 unit dari efisiensi kejenuhan 9.76% sedangkan waktu jenuh paling lama 90 menit ukuran karbon aktif 14 mesh H₂S yang terjerap 368.65 unit efisiensi kejenuhan 9.79%. Karbon aktif yang optimal digunakan yaitu 12 mesh waktu jenuh 80 menit, efisiensi kejenuhan 9.82% dengan waktu tinggal 127.927 detik sedangkan waktu tinggal paling singkat terjadi pada ukuran adsorben 4 mesh, yaitu waktu tinggal 73.855 detik.

Keywords: limbah, biogas, adsorpsi, asam sulfida, karbon aktif

PENDAHULUAN

Rumah sakit yang berlokasi di Samarinda sebagian besar belum mempunyai sistem pengolahan limbah, pada hal pengolahan air limbah rumah sakit merupakan suatu hal yang sangat penting karena terkait langsung dengan kesehatan masyarakat yang bermukim di sekitar rumah sakit. Berdasarkan data, air limbah yang dihasilkan dari rumah sakit berasal dari dapur, cuci (*laundry*), ruang radiologi, laboratorium, ruang perawatan dan ruang gawat darurat. Selain itu rumah sakit yang ada di Kalimantan Timur sekitar 75% limbahnya hanya dibuang ke *septic tank* yang tentunya sangat berbahaya karena dapat merembes ke dalam tanah, sehingga berdasarkan SK Gubernur Kalimantan Timur Nomor 02 Tahun 2011 tentang Baku Mutu Air limbah maka perlu dilakukan pengolahan air limbah khususnya air limbah rumah sakit.

Mengingat hal tersebut, maka rumah sakit perlu memiliki pengolahan limbah yang baik dan menyeluruh. Agar rumah sakit terasa nyaman, segar dan terjaga kesehatan lingkungan maupun kesehatan pasien, pekerja, pengunjung, serta masyarakat sekitarnya. Dari hasil pengolahan limbah rumah sakit tersebut maka di ambil *sludge* untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku biogas.

Biogas merupakan gas yang dihasilkan oleh *aktivitas anaerobik* atau *fermentasi* dari bahan-bahan *organik* seperti kotoran *manusia* dan *hewan*, limbah domestik (rumah tangga), sampah *biodegradable* atau setiap limbah organik yang *biodegradable* dalam kondisi anaerobik. Kandungan utama dalam biogas adalah *metana* dan *karbon dioksida*. Biogas yang dihasilkan oleh *aktivitas anaerobik* sangat populer digunakan untuk mengolah limbah *biodegradable* karena bahan bakar dapat dihasilkan sambil menghancurkan bakteri patogen dan sekaligus mengurangi volume limbah buangan. Metana dalam biogas, bila terbakar akan relatif lebih bersih daripada *batu bara*, dan menghasilkan energi yang lebih besar dengan emisi karbon dioksida yang lebih sedikit.

Pemanfaatan biogas memegang peranan penting dalam manajemen limbah karena metana merupakan *gas rumah kaca* yang lebih berbahaya dalam pemanasan global bila dibandingkan dengan karbon dioksida. Karbon dalam biogas merupakan karbon yang diambil dari atmosfer oleh fotosintesis tanaman, sehingga bila dilepaskan lagi ke atmosfer tidak akan menambah jumlah karbon di atmosfer bila dibandingkan dengan pembakaran bahan bakar fosil.

Saat ini, banyak negara maju meningkatkan penggunaan biogas yang dihasilkan baik dari limbah cair maupun limbah padat atau yang dihasilkan dari sistem pengolahan biologi mekanis pada tempat pengolahan limbah. *Anaerobic Digestion* adalah proses dekomposisi dan pembusukan yang dilakukan oleh mikroorganisme,

dimana senyawa organik terurai menjadi komponen senyawa kimia yang lebih sederhana tanpa menggunakan oksigen. Mikroorganisme *anaerobik* tersebut memproduksi biogas yang terdiri dari metana dan karbon dioksida sebagai produk akhir pada kondisi ideal. Dari proses *anaerobic digestion* dihasilkan biogas yang umumnya mengandung pula hidrogen sulfida (H_2S) dan amoniak (NH_3) dalam jumlah kecil begitu juga gas-gas lainnya.

Bahan baku yang diolah secara *anaerobic digestion* menghasilkan biogas yang memberikan keuntungan antara lain : *anaerobic digestion* dapat mengurangi efek dari rumah kaca. Sistem *anaerobic digestion* yang baik dapat memaksimalkan metana, tapi tidak melepaskan gas ke atmosfer, karena itu mengurangi emisi keseluruhan. *anaerobic digestion* juga menyediakan sumber energi yang tidak meningkatkan kadar karbon di atmosfer yang menyebabkan perubahan iklim, bahan (*feedstock*) untuk anaerobic digestion merupakan sumber yang dapat diperbaharui karena itu tidak menghabiskan minyak bumi. Penggunaan digester juga membantu pengurangan dalam pemakaian minyak bumi pada industri pupuk, *anaerobic digestion* mengurangi terjadinya pencemaran air dan tanah, pada aspek ekonomi *anaerobic digestion* mengubah limbah menjadi produk bernilai ekonomis yaitu biogas dan pupuk.

Disamping keuntungan di atas mempunyai juga kerugian yaitu adanya gas hidrogen sulfida (H_2S) yang berasal dari penguraian senyawa-senyawa yang mengandung belerang yang diuraikan oleh bakteri seperti *Desulfovibrio desulfuricans*. Meskipun dalam jumlah kecil tetapi mempunyai kerugian, antara lain bersifat korosif terhadap logam, pada konsentrasi tertentu bersifat racun, apabila dibakar akan membentuk SO_2 atau SO_3 . Dalam penelitian ini hidrogen sulfida yang terkandung dalam biogas dapat diminimalkan atau dikurangi dengan cara adsorpsi menggunakan karbon aktif.

Adsorpsi adalah suatu proses pemisahan komponen tertentu dari suatu fasa gas berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap. Pada umumnya zat pengadsorpsi atau adsorbent yang banyak digunakan adalah karbon aktif. Hal ini disebabkan karena karbon aktif memiliki luas permukaan yang besar (Pararaja, 2008).

Peneliti-peneliti pendahulu yang pernah dilakukan antara lain ; Rancang bangun dan rekayasa pengolahan limbah cair rumah sakit (studi kasus rumah sakit kristen Tayu, Pati). Hasil yang diperoleh limbah cair Infeksius dan non infeksius yang memberikan Nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) cukup tinggi sebesar 121,60 mg/l (Bestari Alamsyah, 2007)., Teknologi Pengolahan Air limbah rumah sakit dengan sistem biofilter anaerob-aerob. Hasil yang diperoleh dari

penelitian efisiensi penghilangan BOD 96 %, COD 92,8 %, Total zat padat tersuspensi (TSS) 98,8 %, Ammonia 76,2 % dan deterjen (MBAS) 78 % (Nusa Idaman Said, dkk, 2007). Dalam upaya peningkatan sistem pengelolaan limbah cair terhadap efektifitas pengolahan limbah cair rumah sakit umum pusat dokter Kariadi Semarang, hasil yang diperoleh program upaya peningkatan sistem pengelolaan limbah cair berhasil dengan baik dengan hasil pemeriksaan air limbah untuk parameter suhu, *pH*, TSS, BOD5, COD, NH_3N , Fosfat dan *E-Coli* dibawah baku mutu limbah cair No 10 tahun 2004 (Estri Irawati, dkk, 2007).

Molekul dan atom dapat menempel pada permukaan dengan dua cara yaitu secara fisika (*fisiosorpsi*) dan secara kimia (*chemisorpsi*). Pada *fisiosorpsi*, gaya yang menyebabkan adsorpsi fisik adalah gaya van der waals (seperti dispersi atau antaraksi dipolar) antara adsorben dan zat yang teradsorpsi. Adsorpsi fisik dapat meningkat dengan semakin tingginya konsentrasi, tetapi akan semakin kecil jika suhu dinaikkan.

Pada *chemisorpsi* mencakup pembentukan ikatan kimia. Oleh karena itu sifatnya lebih spesifik daripada adsorpsi fisik. Pada adsorpsi ini ikatannya sangat ketat sehingga spesies aslinya tak dapat ditemukan. Laju adsorpsi dapat cepat atau lambat tergantung pada energi aktivasi. Adsorpsi fisik suatu zat dapat terjadi pada suhu rendah dan zat dapat terchemisorpsi bila suhu dinaikkan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi, antara lain: karakteristik fisika dan kimia adsorbent; luas permukaan; ukuran pori dan komposisi kimia, karakteristik fisika dan kimia adsorpsi, ukuran molekul dan komposisi kimia, dan waktu tinggal. Adsorbent yang baik adalah setelah jenuh dapat diregenerasi agar dapat digunakan kembali untuk proses adsorpsi, waktu penyerapan hingga komposisi yang diinginkan. Penelitian ini mempunyai tujuan sebagai berikut: membuat alat pemurnian gas dari hasil pengolahan limbah cair rumah sakit, memurnikan gas yang diperoleh dari hasil pengolahan limbah cair rumah sakit dan menganalisa gas H_2S dan komposisi biogas lainnya.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Peralatan

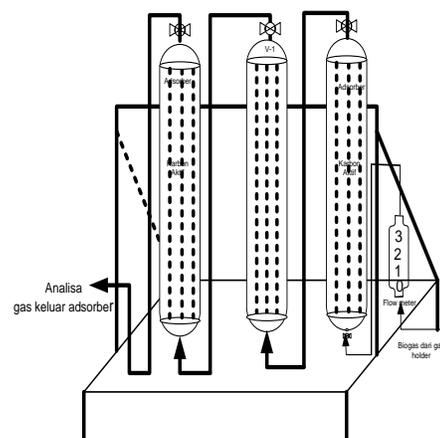
Bahan yang digunakan adalah biogas dari hasil pemanfaatan *sludge* limbah cair rumah sakit dan karbon aktif sebagai adsorbent. Peralatan yang digunakan antara lain : selang udara, selang kompresor, kolom adsorpsi, valve output, input dan kompresor, flowrate meter, stopwatch, alat M40, UV-Vis DR/2400, piknometer 10 ml, corong, loyang, dan furnace.

Metode

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Samarinda, sedangkan biogas dari hasil *anaerobic digestion* dengan proses batch yang ditampung dalam gas holder. Penelitian dilakukan secara eksperimen yaitu menganalisa kadar H_2S sebelum dan sesudah melewati adsorbent, digunakan larutan penjerap H_2S yang nantinya larutan dianalisa dengan berdasarkan prosedur baku SNI 19-7117.7-2005 menggunakan spektrofotometer (UV-Vis DR/2400)".

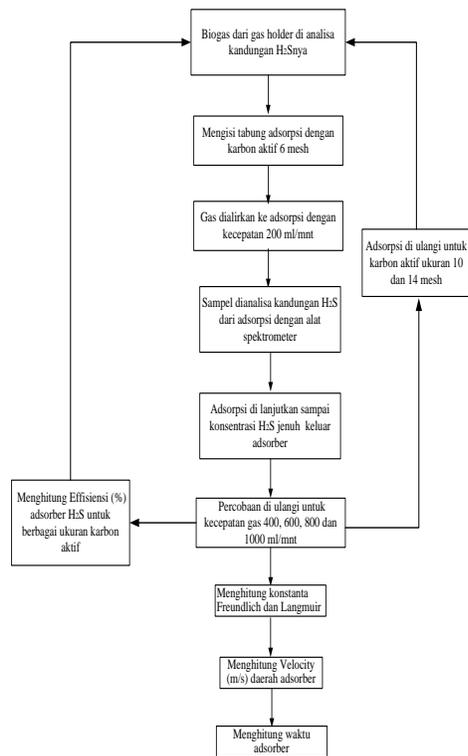
Dari hasil analisa ini dapat diketahui kemampuan dari adsorbent karbon aktif dalam menyerap H_2S . Kemudian menentukan waktu jenuh dari adsorbent, yaitu saat dimana kadar H_2S setelah diadsorpsi sama dengan atau mendekati kadar H_2S sebelum di adsorpsi. Selanjutnya dari data-data kadar H_2S setelah melewati adsorbent (*output*) yang diperoleh, dimasukkan dalam persamaan adsorpsi isotherm Freundlich untuk memperoleh nilai konstanta, yang digunakan untuk menghitung waktu tinggal adsorpsi.

Penelitian ini digunakan sebagai variabel tetap yaitu tinggi kolom 70 cm, tinggi isian 64 cm, jumlah kolom 3 unit dengan diameter 1.85 cm.



Gambar 1. Proses Pemurnian Biogas dengan Proses Adsorpsi

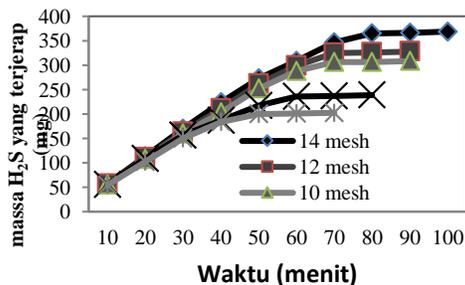
Bahan isian berupa karbon aktif dengan laju alir biogas $0,5 \text{ L}/\text{min}$ sedangkan variabel tidak tetap yaitu waktu laju alir volumetrik biogas mulai dari menit ke 10 dan kelipatannya hingga adsorbent mencapai kondisi jenuh (x menit), ukuran karbon aktif 4, 7, 10, 12 dan 14 mesh.



Gambar 2. Skema Proses Adsorpsi H₂S

HASIL DAN PEMBAHASAN
Waktu Jenuh Adsorben Karbon Aktif

Kemampuan adsorben dalam menyerap H₂S yang terkandung dalam biogas semakin lama akan semakin berkurang. Hal ini dikarenakan adsorben akan mencapai kondisi jenuhnya. Adsorben dikatakan sudah jenuh jika gas H₂S yang melewati kolom adsorber tidak bisa teradsorpsi lagi. Hal ini dikarenakan pori-pori pada permukaan adsorben sudah mulai tertutupi oleh H₂S yang terjerap, sehingga penyerapan terhadap H₂S selanjutnya akan menjadi semakin sedikit jumlahnya hingga akhirnya adsorben tidak mampu lagi dalam menyerap H₂S (mencapai kondisi jenuh).

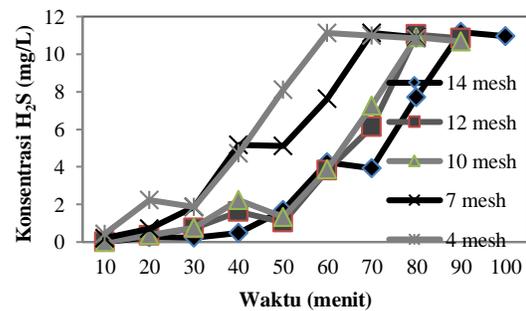


Gambar 3. Hubungan antara konsentrasi H₂ dalam biogas terhadap waktu penyerapan biogas pada variasi ukuran karbon aktif pada kondisi jenuh

Berdasarkan Gambar 3 di atas, waktu jenuh paling lama terjadi pada adsorben dengan ukuran partikel 14 mesh, yaitu saat proses adsorpsi telah berjalan selama 90 menit. Sedangkan waktu jenuh paling singkat terjadi pada adsorben dengan ukuran partikel 4 mesh dimana proses adsorpsi telah berjalan selama 60 menit. Hal ini dikarenakan dalam penelitian ini, adsorben 14 mesh memiliki porositas lebih besar dari ukuran adsorben yang lain, sehingga ruang kosong dalam pori-pori adsorben menjadi lebih banyak untuk menjerap H₂S dan menyebabkan waktu jenuh adsorben yang diperoleh juga menjadi lebih lama dibandingkan dengan ukuran adsorben yang lain. Hal ini dikarenakan adanya peristiwa desorpsi, yaitu proses terlepasnya zat/bahan yang telah dijerap oleh adsorben sehingga adsorben yang pori-porinya tadi sudah penuh oleh zat yang diserap menjadi terbuka kembali, dan menyebabkan H₂S selanjutnya yang akan melewati adsorben ini akan terjerap kembali, walaupun jumlahnya lebih sedikit dibandingkan H₂S yang lolos dari adsorben.

Kemampuan Adsorben dalam Menyerap H₂S

Tujuan untuk mengetahui kemampuan dari adsorben dalam menyerap H₂S dapat dilakukan dengan membandingkan massa H₂S yang berhasil dijerap oleh karbon aktif yang divariasikan ukuran partikelnya terhadap waktu adsorpsi, sehingga nantinya akan diperoleh ukuran adsorben yang paling baik digunakan untuk menyerap H₂S dalam biogas pada laju alir 0,5 L/min.



Gambar 4. Hubungan antara konsentrasi H₂S yang terjerap terhadap waktu untuk variasi ukuran karbon aktif pada kondisi jenuh

Gambar 4 menunjukkan kemampuan dari variasi ukuran adsorben karbon aktif dalam menyerap H₂S terhadap waktu adsorpsi. Terlihat bahwa kemampuan adsorben karbon aktif bisa dikatakan hampir sama dalam menyerap H₂S pada 20 menit pertama, akan tetapi semakin lama proses adsorpsi berlangsung, maka terlihat perbedaan dari kemampuan tiap-tiap ukuran karbon aktif dalam menyerap H₂S. Pada gambar 4, terlihat jelas sekali bahwa penyerapan H₂S paling besar terjadi pada ukuran

karbon aktif 14 mesh dengan waktu proses adsorpsi 90 menit, dimana H₂S yang dapat dijerap sebanyak 368.65 mg. Sedangkan penjerapan H₂S paling sedikit terjadi pada ukuran karbon aktif 4 mesh dengan waktu proses adsorpsi selama 60 menit, dimana H₂S yang dapat dijerap hanya sebanyak 202.42 mg. Jadi dalam penelitian ini adsorben yang paling baik digunakan untuk menyerap H₂S dalam biogas adalah pada ukuran karbon aktif 14 mesh, ini dikarenakan pada adsorben tersebut memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga sangat efektif dalam menyerap H₂S.

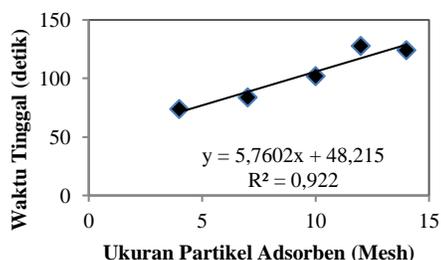
Penentuan Konstanta Persamaan Adsorpsi Isotherm Freundlich untuk Menghitung Waktu Tinggal Adsorpsi

Tujuan penentuan konstanta persamaan adsorpsi *isotherm Freundlich* dalam penelitian ini dapat dilakukan dengan memasukkan data-data yang diperoleh pada variasi ukuran adsorben ke dalam persamaan *isotherm Freundlich*, kemudian dari data persamaan tersebut dibuat grafik hubungan antara Log C_e dengan Log x/m, sehingga dari grafik akan diperoleh persamaan linear (garis lurus) yaitu $y = ax + b$, dimana a merupakan nilai konstanta untuk 1/n, sedangkan b merupakan nilai konstanta untuk K_f dalam persamaan adsorpsi isotherm Freundlich

$$\left(\log \frac{x}{m} = \log K_f + \frac{1}{n} \log C\right) \quad (1)$$

di mana : x/m adalah kapasitas monolayer, K_f adalah faktor kapasitas Freundlich, n adalah intensitas Freundlich dan C adalah konsentrasi molekul zat yang terlarut bebas.

Dari hasil perolehan konstanta pada masing-masing ukuran karbon aktif, kemudian digunakan untuk mencari waktu tinggal adsorpsi. Adapun tujuan menentukan waktu tinggal adsorpsi adalah untuk mengetahui berapa lama waktu kontak antara biogas dengan adsorben karbon aktif dalam kolom adsorber.



Gambar 5. Hubungan antara waktu tinggal terhadap variasi ukuran partikel karbon aktif pada kondisi jenuh

Dari gambar 5. diperoleh hasil dimana Intensitas Freundlich (n) = 0.1736 dan Faktor kapasitas Freundlich (K_f) = 1.683. Dan Untuk Waktu tinggal paling lama Available online at ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/konversi
DOI: 10.20527/k.v2i1.112

terjadi pada ukuran partikel adsorben 12 mesh yaitu selama 127.927 detik, sedangkan waktu tinggal paling singkat terjadi pada ukuran adsorben 4 mesh, yaitu selama 73.855 detik. Hal ini dikarenakan semakin besar ukuran partikel adsorben, maka ruang kosong/celah antara partikel yang satu dengan yang lainnya akan semakin besar pula, sehingga biogas yang dilewatkan dalam kolom adsorber lebih mudah melewati adsorben tersebut, hal ini menyebabkan waktu tinggal biogas dalam kolom adsorber menjadi lebih singkat, dan menyebabkan penjerapan H₂S dalam biogas oleh karbon aktif menjadi kurang efektif dan maksimal. Dari gambar 5 juga dapat dilihat bahwa pada adsorben 14 mesh waktu tinggalnya lebih rendah dibandingkan dengan adsorben 12 mesh. Hal ini dikarenakan pada adsorben 14 mesh, walaupun celah antara partikel yang satu dengan yang lainnya akan semakin kecil, sehingga menyebabkan kontak antara biogas dengan adsorben menjadi lebih lama dan penjerapan menjadi lebih efektif. Akan tetapi dengan berlangsungnya proses adsorpsi yang dilakukan secara kontinyu dengan celah yang cukup kecil untuk dilewati biogas, akan menyebabkan sebagian biogas tertahan pada kolom adsorber. Hal ini mengakibatkan terjadinya proses fluidisasi, dimana pada adsorben akan membentuk satu celah garis lurus dikarenakan adanya tekanan dari biogas yang tertahan tadi, sehingga biogas akan keluar melalui celah tersebut dan akibatnya kontak antara adsorben dengan biogas menjadi lebih singkat dan tidak efektif lagi. Hal inilah yang menyebabkan waktu tinggal adsorben 14 mesh lebih cepat dibandingkan dengan adsorben 12 mesh.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian penghilangan/pengurangan kadar H₂S dalam biogas dengan metode adsorpsi menggunakan adsorben karbon aktif, dengan laju alir 0.5 L/min, tinggi isian 64 cm, diameter kolom 1.85 cm jumlah kolom 3 buah diperoleh beberapa kesimpulan antara lain: waktu jenuh paling lama terjadi pada adsorben dengan ukuran partikel 14 mesh yaitu setelah proses adsorpsi berjalan selama 90 menit, kemampuan adsorben karbon aktif yang paling baik dalam menyerap H₂S adalah pada ukuran adsorben 14 mesh dengan kemampuan menyerap H₂S sebanyak 368.65 mg setelah proses adsorpsi berlangsung selama 90 menit, dengan memasukkan data konstanta persamaan adsorpsi isotherm Freundlich ke dalam rumus waktu tinggal adsorpsi, diperoleh waktu tinggal paling lama terjadi pada ukuran adsorben 12 mesh yaitu selama 127.927 detik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada DP2M Direktur Jenderal Perguruan Tinggi atas Hibah dalam

bentuk Skim Penelitian Hibah Bersaing (APHB) tahun anggaran 2011/2012 yang diberikan kepada kami. Dan tak lupa pula kami ucapkan terima kasih kepada DP2M Politeknik Negeri Samarinda atas bantuannya sehingga dapat terlaksananya kegiatan Penelitian Hibah Bersaing (APHB) ini.

DAFTAR PUSTAKA

- AMMARY, BAASHAR Y., 2004, "Nutrients Requirements in Biological Industrial Wastewater Treatment", African Journal of Biotechnology, Vol. 3.
- BITTON, GABRIEL, 1999. "Waste Water Microbiology", 2th. A John Willey & Sons, Singapore.
- ENGINEERS WITHOUT BORDERS SUSTAINABLE DEVELOPMENT RESEARCH COMPETION, 2004, "The Biogas Digester – A Sustainable Energy Production Technology for Rural Development of Sub-Saharan Countries".
- GRADY, CP LESLIE AND LIM, HENRY C., 1980, "Biological Wastewater Treatment: Theory & Applications", Marcel Dekker, Inc., New York & Bassel.
- HAGMANN, M., HEIMBRAND, E., HENTSCHEL, P., 1999, "Determination of Siloxanes in Biogas from Landfills and Sewage Treatment Plants", Seventh International Waste Management and Landfill Symposium, Italy.
- HARASIMOWICZ, M., P. ORLUK., G. ZAKRZEWSKA-TRZNADEL AND A.G. CHMIELEWSKI., 2007, "Application of Polyimide Membranes for Biogas Purification and Enrichment", Journal of Hazardous Materials, vol. 144, pp. 698 – 702.
- KIRK, R.E. AND OTHMER, D.F., 1964, "Encyclopedia of Chemical Technology", vol. 4, Second Edition, New York.
- LASTELLA, G., C. TESTA., G. CORNACCHIA., M. NOTORNICOLE., F. VOLTASIO AND V.K. SHARMA., 2002, "Anaerobic Digestion of Semi-Solid Organic Waste : biogas production and its purification Energy Conversion and management", Vol 43, Issue I, pp. 63 – 75
- LOVISA, 2000, "Intensification Of The Biogas Process by Improved Process Monitoring and Biomass Retention", Departement Of Biotechnology Lund University Sweden.
- MASJHUDI, "Produksi Biogas dari Tiga Jenis Kotoran Ternak pada berbagai suhu", Jurnal
- METCALF & EDDY INC, "Wastewater Engeneering Treatment Diposal Reuse", McGraw Hill.
- MIKUCKI, J.A., LIU, Y., DELWICHE, M., COLWELL, F.S.,
- BOONE, D.R., 2003, "Isolation of a Methanogen from Deep Sediments That Contain Methane Hydrates, and Description of Methanoculleus submarinus sp. nov.", Applied and Environmental Microbiology.
- PARARAJA, A., 2008, "karbon aktif", <http://www.tkemindonesia.com>, diakses pada 25 Juni 2011, jam 16.00 WITA.
- PERRY, 1999, Chemical Hand book.
- PRICE, E.C AND CHEREMISINOFF, P.N., 1981, "Biogas Production and Utilization. Ann Arbor Science Publishers", Inc .United States of America.
- SAIDU E. GUMBIRA, 1983, Bioindustri Penerapan Teknologi Fermentasi, PT. Mediyatama Sarana Perkasa, Jakarta.
- SETYO SARWANTo "Parameter Air limbah Rumah Sakit," UI, 2000
- SMISEK, M. & Cerny S., 1970, "Active Carbon Manufacture Properties and application", Amsterdam : El savier Publishing Company.
- WELLINGER, A., AND A. LINDEBERG., 2000, "Biogas Upgrading and Utilization-IEA Bioenergy", Task 24, International Energy Association, France, pp.20.