

KAJIAN PENGGUNAAN KARBON AKTIF DAN ZEOLIT SECARA TERINTEGRASI DALAM PEMBUATAN BIOMETHANE BERBASIS BIOGAS

STUDY OF ACTIVATED CARBON AND ZEOLITE INTEGRATED APPLICATION ON BIOMETHANE PRODUCTION BASED ON BIOGAS

Nani Harihastuti, Purwanto, dan Istadi

Universitas Diponegoro

Jl. Imam Bardjo, SH No. 5, Semarang – Indonesia

e-mail: nanisoeharto@yahoo.com

diajukan: 19/02/2014, direvisi: 18/03/2014, disetujui: 14/04/2014

ABSTRACT

This article is a study from the results of some researches that have been done in biogas purification. Biogas contains some impurities gases such as H₂S, CO₂, NH₃, and H₂O, in which not removed can caused influence burning and disadvantages to human and environment. Biogas purification researches that have been done purposed to purify only one or some impurities gases, so this study stands to give recommend in integrated biogas purification research. Purification process designe in series that can be done is integration process of condensation and adsorption by activated carbon and zeolite, so that all of the impurities gases can be removed and remains high purity of CH₄ in biogas as biomethane renewable energy resource.

Keywords: *integration, adsorption, activated carbon-zeolite, biogas, biomethane*

ABSTRAK

Artikel ini merupakan suatu kajian dari hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan untuk memurnikan biogas. Kandungan dalam biogas terdapat gas-gas pengotor seperti H₂S, CO₂, NH₃, dan H₂O yang apabila tidak dihilangkan dapat mempengaruhi pada proses pembakaran dan menimbulkan kerugian manusia dan lingkungan. Penelitian-penelitian yang telah dilakukan mengenai pemurnian biogas hanya bertujuan untuk menghilangkan satu atau beberapa komponen gas pengotor secara parsial saja, maka dilakukan kajian ini agar dapat dilakukan penelitian pemurnian biogas secara terintegrasi untuk menghilangkan komponen gas pengotor secara menyeluruh sehingga diperoleh CH₄ dengan kemurnian tinggi. Tahapan proses pemurnian yang dirancanakan adalah proses kondensasi yang terintegrasi dengan proses adsorpsi menggunakan adsorben karbon aktif dan zeolit, sehingga dihasilkan gas CH₄ dengan kemurnian tinggi sebagai biomethane sumber energi terbarukan.

Kata kunci: integrasi, adsorpsi, karbon aktif-zeolit, biogas, biomethane

PENDAHULUAN

Biogas merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang berasal dari bahan organik yang didegradasi secara anaerobik oleh bakteri dalam lingkungan bebas oksigen (Soerawidjaja, 2006). Komponen utama dari biogas yaitu metana (CH₄, 54-70%-vol) dan karbondioksida (CO₂, 20-45%-vol). Selain itu, terdapat gas lain yang jumlahnya relatif kecil, yaitu hidrogen sulfida (H₂S), amonia (NH₃), hidrogen (H₂), nitrogen (N₂), dan uap air (H₂O). Biogas mulai dikenal di Indonesia tahun 1980-an, tetapi pemanfaatannya baru mulai digunakan di

awal tahun 1990 dalam skala kecil untuk keperluan rumah tangga. Padahal ada manfaat lain dari biogas apabila dikelola dengan baik, antara lain untuk lampu penerangan, bahan bakar mesin gas (*gas engine*) untuk pembangkit listrik, ataupun penyediaan energi untuk keperluan lainnya. Saat ini, biogas sudah mulai dikembangkan dan dimanfaatkan oleh beberapa industri sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar minyak (Kwartiningsih, 2007). Selain berpotensi tinggi, pemanfaatan energi biogas memiliki banyak keuntungan antara lain : mengurangi efek terjadinya gas rumah kaca (GRK), mengurangi bau tidak

sedap, mencegah penyebaran penyakit, menghasilkan panas dan daya (mekanis/listrik), serta memperoleh hasil samping berupa pupuk padat dan cair (Hozairi dkk, 2012). Arsana (2005) menyebutkan bahwa kegiatan yang berpotensi sebagai sumber biogas antara lain rumah potong hewan, tempat pemrosesan akhir (TPA), industri peternakan, industri makanan (tahu, tempe, susu, restoran), sampah organik pasar, limbah domestik/tinja, pengolahan limbah industri, dan sebagainya.

Komposisi senyawa gas yang terkandung dalam biogas berbeda-beda, tergantung dari bahan baku pembuatannya. beban organik yang masuk dalam digester, waktu dan temperatur dekomposisi anaerobik. Komposisi kandungan senyawa gas dalam biogas yang dihasilkan dari proses perombakan zat organik secara anaerob mengandung metana (CH_4) sebesar 53,45-56,89%, karbondioksida (CO_2) 31,48-34,10%, hidrogen sulfida (H_2S) 6,04-10,69%, amonia (NH_3) 0,001-0,003%, karbon monoksida (CO) 0,0027-0,0030%, kadar air 2,17-3,37%, dan gas lainnya 0,80-1,00% (Hasil Analisis Laboratorium BBTPI, 2010). Dari data tersebut, tampak jelas bahwa biogas adalah gas-gas campuran dengan kandungan tertinggi adalah gas metana (CH_4), sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Nilai kalori biogas berkisar antara 500-700 BTU/ft³ atau 4.500-6.300 kcal/m³ atau 17.900-25.000 kJ/m³ (Polprasert, 2007). Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (CH_4). Semakin tinggi kandungan metana maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan metana akan semakin kecil nilai kalornya. Sebagai pembanding, gas alam (LNG) yang merupakan campuran metana, propana, dan butana nilai kalornya 37.300 kJ/m³ (1.000 BTU/ft³).

Kualitas biogas yang masih belum optimal tersebut dapat ditingkatkan dengan menghilangkan gas-gas *impurities*, seperti hidrogensulfida (H_2S), amonia (NH_3), kandungan uap air (H_2O), dan karbon dioksida (CO_2). Gas-gas *impurities* ini selain akan mengganggu dalam proses pembakaran, juga menurunkan nilai kalori

dan akan menghasilkan gas-gas beracun, korosif serta berbau yang berbahaya bagi lingkungan. Hidrogen sulfida (H_2S) merupakan gas beracun dan berbau, serta menyebabkan korosi. Apabila biogas mengandung senyawa ini, maka akan menyebabkan sifat gas berbahaya, konsentrasi yang diijinkan diudara ambien maksimal 0,03 ppm (Imamkhasani, 1998). Bila gas dibakar maka hidrogen sulfida akan lebih berbahaya karena akan membentuk senyawa baru bersama-sama oksigen, yaitu sulfur dioksida/sulfur trioksida (SO_2/SO_3), senyawa ini lebih beracun dan berbahaya bagi lingkungan. Pada saat yang sama akan terbentuk sulphur acid (H_2SO_3) yang merupakan suatu senyawa yang lebih korosif. Selanjutnya juga dilakukan penghilangan kandungan karbon dioksida (CO_2) yang memiliki tujuan untuk meningkatkan kualitas, sehingga gas dapat digunakan untuk bahan bakar kendaraan. Kandungan air (H_2O) dalam biogas akan menurunkan titik penyalan biogas (api menjadi sering mati) serta dapat menimbulkan korosi pada peralatan pembakar.

Pemurnian biogas dari berbagai kandungan gas pengotor yang merugikan dapat dilakukan dengan berbagai teknik, antara lain adsorpsi pada padatan, absorpsi ke dalam cairan, permeabel melalui membran, konversi kimia ke senyawa kimia yang lain, dan kondensasi. Empat jenis teknologi pemurnian terakhir dapat menghasilkan *secondary waste* yang menyebabkan pencemaran lingkungan. Beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk memurnikan biogas hanyadengan menghilangkan salah satu atau beberapa gas pengotor secara parsial saja, sehingga hasil yang diperoleh belum bisa mendapatkan gas metana dengan kemurnian tinggi. Untuk itu, diperlukan proses pemurnian biogas secara menyeluruh agar tercapai gas metana dengan konsentrasi tinggi (*biomethane*). *Biomethane* merupakan sumber energi terbarukan yang berbasis biogas dengan kandungan gas metana tinggi (> 95%) dengan *impurities* rendah.

Kajian ini dilakukan dengan tujuan mengembangkan konsep memperoleh sumber energi terbarukan berbasis biogas

dengan kemurnian metana tinggi (*biomethane*).

METODE

Metode yang digunakan dalam kajian ini adalah studi pustaka terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan, khususnya mengenai pemurnian biogas, kemudian dilakukan evaluasi terhadap hasil penelitian tersebut, untuk selanjutnya dibuat inovasi konsep penelitian pemurnian biogas secara terintegrasi untuk mencapai produk *biomethane*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian-penelitian mengenai pemurnian biogas dengan berbagai teknik adalah sebagai berikut.

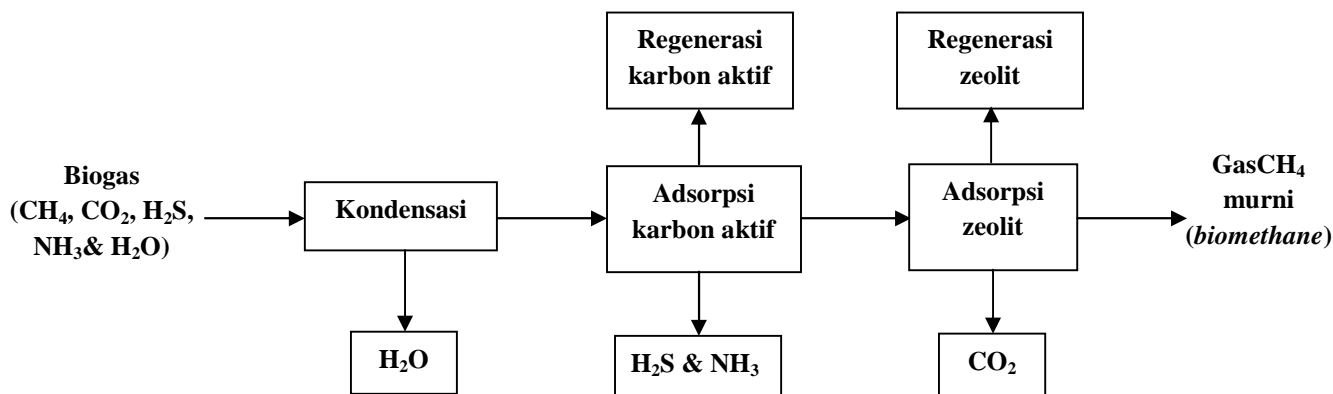
- a. Kwartiningsih (2007) memurnikan biogas dari H₂S dengan menggunakan limbah pembubutan logam menjadi Fe-EDTA 0,2 M sebagai adsorben dengan efisiensi penyisihan mencapai 99%.
- b. Negara dkk (2012) menggunakan limbah logam sebagai adsorben untuk menyisihkan H₂S dengan efisiensi penyisihan mencapai 93,59%.
- c. Aditya dkk (2012) melakukan pemurnian biogas dari gas H₂S dengan adsorben yang digunakan adalah NaOH, CuSO₄, dan Fe₂(SO₄)₃ dengan efisiensi penyisihan H₂S tertinggi dari masing-masing adsorben sebesar 96,32%, 87,19%, dan 78,05%. Namun, tidak disarankan penggunaan NaOH dan CuSO₄ dalam skala besar, karena tidak dapat diregenerasi.
- d. Alwathan dkk (2013) memurnikan biogas dari hasil pengolahan limbah cair rumah sakit dengan menggunakan karbon aktif dalam berbagai ukuran dan waktu pengaliran, dengan hasil terbaik adalah adsorben berukuran 14 mesh dapat menyerap 368,65 mg H₂S dalam waktu 90 menit.
- e. Fischer (2010) menggunakan teknologi biofilter untuk mereduksi kandungan H₂S. Biofilter yang diinokulasikan lumpur aktif dapat mereduksi kandungan H₂S lebih baik daripada yang tidak diinokulasi lumpur aktif. Biofilter dengan inokulasi lumpur aktif dapat mereduksi H₂S hingga 98,9%, sedangkan biofilter tanpa inokulasi lumpur aktif hanya mampu mereduksi H₂S sebesar 31-56%.
- f. Ofori-Boateng dan Kwofie (2009) melakukan penelitian pemurnian biogas dari CO₂ dengan menggunakan metode *water scrubbing*. Sebanyak 93% CO₂ mampu direduksi dari biogas.
- g. Mara (2012) memurnikan biogas dari CO₂ dengan menggunakan larutan NaOH yang kemudian dilihat daya yang dihasilkan oleh larutan NaOH. Semakin tinggi kandungan CO₂ yang dapat direduksi, semakin besar daya yang dihasilkan. Didapatkan CO₂ paling banyak disisihkan dengan larutan NaOH 2,5 N, dengan daya yang dihasilkan sebesar 108,5 watt.
- h. Vijay *et al* (2006) melakukan pemurnian biogas dari CO₂ dengan menggunakan *packed bed scrubber* dengan efisiensi penyisihan mencapai 95%.
- i. Widyastuti dkk (2013) memurnikan biogas dari CO₂ dengan menggunakan karbon aktif dari cangkang sawit yang dibandingkan dengan karbon aktif komersial. Peningkatan kadar CH₄ sebesar 7% dan penurunan kadar CO₂ sebesar 6,1% dengan menggunakan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit, sedangkan karbon aktif komersial meningkatkan kadar CH₄ sebesar 11,5% dan menurunkan kadar CO₂ sebesar 12,9%.
- j. Apriyanti (2012) melakukan penelitian pemurnian biogas dari CO₂ dengan menggunakan zeolit. Zeolit zeochem 4A dapat mengadsorpsi CO₂ sebanyak 18,70%, yang dipengaruhi oleh jenis, ukuran, partikel, ukuran pori, jumlah zeolit, serta bentuk dan ukuran kolom.
- k. Hamidi dkk (2011) menyisihkan H₂S dan CO₂ dari biogas dengan menggunakan zeolit. Zeolit yang tidak dilakukan aktivasi tidak menunjukkan penurunan kadar CO₂, sedangkan zeolit yang diaktivasi dengan larutan KOH dapat menurunkan kandungan CO₂ dan H₂S.
- l. Listyowati dkk (2012) menggunakan zeolit alam untuk memurnikan biogas dari CO₂ dan H₂S. CO₂ dan H₂S yang disisihkan maksimal sebesar 87,041% dan 64,977%. Kandungan CH₄ dalam biogas

meningkat sebesar 37,375% setelah dimurnikan.

Dari hasil kajian penelitian-penelitian di atas, diketahui bahwa pemurnian biogas dilakukan hanya secara parsial, misalnya pemurnian biogas dari H₂S saja, CO₂ saja, atau CO₂ dan H₂S saja. Padahal diketahuibahwa dalam biogas terkandung berbagai macam *impurities*(gas pengotor) antara lain CO₂, H₂S, NH₃, dan H₂O yang dapat menyebabkan kerugian, baik pada manusia maupun lingkungan, apabila tidak dihilangkan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan bakar.

Penelitian mengenai pemurnian biogas yang telah dilakukan, menggunakan metode adsorpsi, absorpsi, biologis, dan *scrubber*. Efisiensi yang dicapai dari proses pemurnian menggunakan metode-metode tersebut baik, kemurnian CH₄ yang dicapai juga tinggi, akan tetapi metode-metode tersebut belum dapat menghilangkan semua komponen gas pengotor yang ada dalam biogas. Dari hasil penelitian-penelitian tersebut diketahui pula bahwa karbon aktif memiliki daya adsorpsi yang baik untuk menyisihkan H₂S, sedangkan dalam menyisihkan CO₂, efisiensi

penyisihannya kecil. Sebaliknya, zeolit baik dalam menyisihkan CO₂, tetapi dalam menyisihkan H₂S kurang baik. Sehingga, untuk dapat menyisihkan CO₂ dan H₂S dengan efisiensi yang tinggi, diperlukan adsorpsi secara terintegrasi dengan menggabungkan karbon aktif dan zeolit dalam satu proses. Dalam hasil penelitian tersebut, belum ada yang membahas penghilangan gas *impurities* NH₃ dalam biogas. Dari sifat karakteristiknya, gas NH₃ ini dapat teradsorpsi oleh karbon aktif, sehingga penghilangannya sudah terintegrasi dengan gas-gas lainnya menggunakan adsorben karbon aktif. Kemudian, adanya uap air yang terkandung dalam biogas akan menurunkan nilai kalori dan menyebabkan matinya api dalam proses pembakaran, serta bersifat korosif pada alat-alat pembakar, sehingga juga perlu untuk dihilangkan. Penghilangan uap air dapat dilakukan dengan proses kondensasi atau dengan menggunakan *molecular sieves*. Dengan serangkaian proses pemurnian ini, diharapkan akan dihasilkan CH₄ dengan tingkat kemurnian yang tinggi dalam biogas. Tahapan proses secara terintegrasi untuk mencapai *biomethane* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir proses pemurnian biogas yang terintegrasi

Perlu diuraikan dalam tulisan ini, alasan pemilihan metode pemurnian seperti tersebut di atas. Gas H₂S, NH₃, dan CO₂ dapat dimurnikan melalui metode adsorpsi karena metode ini lebih ramah lingkungan. Sedangkan, metode-metode yang lain seperti penggunaan adsorben seperti NaOH dan CuSO₄ kurang sesuai karena tidak dapat diregenerasi sehingga

menimbulkan *secondary waste* yang harus diolah agar tidak menyebabkan masalah bagi lingkungan, sehingga proses pemurnian dengan absorpsi menjadi tidak efisien. Kemudian, proses pemurnian secara permeabel dengan menggunakan membran memiliki angka efisiensi penyisihan tinggi, tetapi karena masih sulitnya pengoperasian dan membran untuk pemurnian gas yang

masih jarang diproduksi menyebabkan metode ini belum menjadi pilihan untuk diterapkan.

Alasan lain dalam pemilihan metode adsorpsi adalah adsorben yang digunakan dapat diregenerasi setelah mencapai keadaan jenuh dalam kurun waktu tertentu sehingga tidak menimbulkan masalah pada lingkungan. Kejenuhan adsorben dapat terindikasi apabila konsentrasi gas pengotor pada input dan output proses adsorpsi tidak berubah (tetap). Proses regenerasi dapat diklasifikasikan menjadi 4 kategori yang dapat dilakukan secara tersendiri maupun dikombinasikan, yaitu (UOP, 2005) :

- Thermal swing*, dengan cara meningkatkan temperatur hingga 400-600°F (204-316°C). Lapisan adsorben dipanaskan secara langsung atau dengan transfer panas melalui fluida panas.
- Pressure swing*, menggunakan tekanan yang lebih rendah atau vakum untuk mendesorpsi adsorben.
- Purge gas stripping*, menggunakan gas pembersihan yang tidak dapat teradsorpsi. Gas tersebut dapat mendesorpsi dengan mereduksi tekanan parsial dari komponen yang teradsorpsi. Semakin tinggi temperatur operasi dan semakin rendah tekanan operasi, maka semakin efisien proses *stripping*.
- Displacement*, menggunakan media pembersihan yang dapat diserap adsorben untuk menggantikan material yang telah teradsorpsi. Semakin kuat adsorpsi media pembersihan, semakin sempurna pula proses desorpsi.

Dalam pemilihan proses regenerasi, sebaiknya dipilih metode yang tidak menghasilkan *secondary waste*, dalam hal ini adalah dengan pemanasan pada suhu tinggi (*thermal swing*) dalam waktu ± 3 jam. Setelah dilakukan regenerasi, maka adsorben dapat digunakan kembali dalam proses adsorpsi selanjutnya.

Selain gas-gas pengotor H_2S , NH_3 , dan CO_2 , dalam biogas terkandung uap air yang harus dihilangkan. Penghilangan uap air dilakukan dengan proses kondensasi dan dilakukan sebelum proses adsorpsi karena akan mengganggu daya adsorpsi. Biogas yang mengandung uap air dialirkan

melalui pipa spiral yang didinginkan dengan air dalam *shell*/tangki, sehingga terjadi transfer panas yang menyebabkan uap air mengembun dan akan dihasilkan gas kering.

Rangkaian proses ini diharapkan akan menghasilkan gas CH_4 dengan konsentrasi tinggi (*biomethane*). Formula yang terkait dengan proses adsorpsi dinyatakan dengan hukum adsorpsi isotherm Langmuir dan Freundlich sebagai berikut.

Model persamaan Langmuir

$$C/x/m = 1/kb + C/b \dots\dots\dots (1)$$

di mana C adalah konsentrasi kesetimbangan ion ($mmol L^{-1}$) dan x/m adalah jumlah ion teradsorpsi ($mmol kg^{-1}$). Konstanta b berhubungan dengan adsorpsi maksimum ($mmol kg^{-1}$) dan k berhubungan dengan kekuatan ikatan adsorben ($L mmol^{-1}$).

Model persamaan Freundlich

$$\log x/m = \log k + 1/n \log C \dots\dots\dots (2)$$

di mana x/m adalah jumlah ion teradsorpsi ($mmol kg^{-1}$), C adalah konsentrasi ion dalam kesetimbangan larutan ($mmol L^{-1}$). k dan n adalah konstanta isotherm Freundlich.

Dari persamaan Langmuir tersebut, akan dicari nilai k dan b setelah didapatkan data dari hasil penelitian eksperimental. Sedangkan dengan persamaan Freundlich, akan dicari nilai n dan $\log k$ setelah didapatkan data dari hasil penelitian eksperimental. Proses adsorpsi dikategorikan menjadi 2, yaitu adsorpsi kimia dan adsorpsi fisika. Adsorpsi kimia terkait dengan persamaan Langmuir, sedangkan adsorpsi fisika terkait dengan persamaan Freundlich. Dalam kajian ini, adsorpsi yang digunakan untuk pemurnian biogas adalah adsorpsi fisika. Molekul/adsorbat yang terserap dalam proses adsorpsi fisika memiliki ikatan yang sangat lemah, yang mana interaksi antar molekul adsorbat dengan atom adsorben hanya dikarenakan oleh gaya Van der Waals (Kelleret *al*, 2005), sehingga adsorpsi fisika bersifat *reversible* yang mudah untuk dipisahkan kembali antara molekul yang terserap dari adsorben. Dengan adanya

sifat ini, apabila adsorben telah mencapai titik jenuh dalam waktu tertentu, maka dapat dilakukan regenerasi pada adsorben sehingga adsorben dapat digunakan kembali dalam proses adsorpsi.

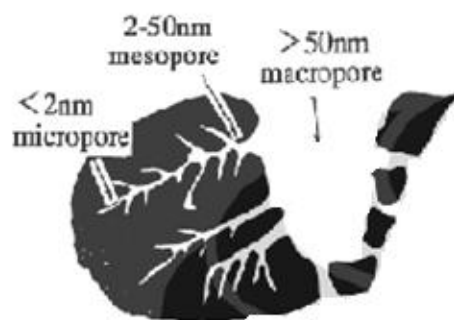
Suzuki (1990) menyebutkan bahwa semakin luas permukaan spesifik adsorben maka kemampuan adsorpsi akan semakin meningkat. Selain itu, Suryawan (2004) menjelaskan bahwa karakteristik adsorben yang dibutuhkan untuk adsorpsi yaitu :

- Luas permukaan besar sehingga kapasitas adsorpsi tinggi.
- Memiliki aktivitas terhadap komponen yang diadsorpsi.
- Memiliki daya tahan yang baik.
- Tidak ada perubahan volume yang berarti selama peristiwa adsorpsi dan desorpsi.

Berdasarkan karakteristik biogas, maka digunakan karbon aktif yang berbentuk granular dengan diameter pori sebesar 10-200 Å. Hal ini sesuai dengan Sembiring dan Sinaga (2003) yang menyatakan bahwa karbon aktif dengan bentuk granular digunakan pada fase gas untuk pemurnian gas. Daya jerap karbon aktif sangat besar, yaitu sebesar 25-1.000% terhadap berat karbon aktif (Darmawan, 2008 dalam Prabarini dan Okayadnya, 2014). Selain itu, untuk menentukan kemampuan adsorpsi karbon aktif juga harus dilihat dari metode aktivasi karbon tersebut. Dengan metode aktivasi yang berbeda, maka sifat adsorpsi dari karbon aktif juga akan berbeda (Bansal dan Goyal, 2005). Ketika dilakukan aktivasi, akan terbentuk gugus fungsi pada karbon aktif yang menyebabkan karbon menjadi reaktif secara kimiawi. Oksidasi permukaan karbon aktif akan menghasilkan gugus hidroksil karbonil, dan karboksilat yang memberikat sifat amfoter pada karbon, sehingga karbon dapat bersifat sebagai asam maupun basa (Sudirjo, 2006). Karbon aktif sendiri merupakan adsorben yang bersifat non polar atau hidrofobik, sehingga tidak dapat menghilangkan molekul uap air dalam biogas.

Menurut Smisek dan Cerny (1970), ukuran diameter pori-pori karbon aktif dibedakan menjadi 3, yaitu :

- Makropori, jari-jari 25 nm, volume pori 0,2-0,5 cm³/g, luas permukaan 0,5-2 m²/g, fungsi sebagai pintu masuk adsorbat ke karbon aktif
- Mesopori, jari-jari 1-25 nm, volume pori 0,02-0,05 cm³/g, luas permukaan 1-100 m²/g, fungsi sebagai sarana transportasi
- Mikropori, jari-jari < 1 nm, volume pori 0,15-0,5 cm³/g, luas permukaan 100-1.000 m²/g, fungsi sebagai adsorpsi



Gambar 2. Karbon aktif granular (Manocha, 2003)

Perbedaan porositas ini yang menentukan reaktivitas (daya adsorpsi) dari karbon aktif.

Zeolit mempunyai rumus molekul $M_{x/n} \cdot (AlO_2)_x \cdot (SiO_2)_y \cdot xH_2O$. Komposisi mineral zeolit berdasarkan hasil analisa kuantitatif dari difraksi sinar-X (XRD) diperoleh jenis mineral mordenit (32,70%), klinoptilotit (30,89%), mineral-mineral lainnya terdiri dari mika, plagioklas dan kuarsa, sedangkan hasil analisa kimia rata-rata kandungan zeolit adalah sebagai berikut : SiO₂ = 64,55%, Al₂O₃ = 12,83, Fe₂O₃ = 1,38, CaO = 1,64, MgO = 0,71, K₂O = 2,81, Na₂O = 0,33, TiO₂ = 0,22, dan hilang dibakar = 15,18% (Arifin dan Harsodo, 1991), mempunyai nilai KTK (kapasitas tukar kation) 52,00-67,00 meq/100g (sebelum aktivasi) dan 65,00-84,00 meq/100g (setelah aktivasi) (Sariman dkk, 1996 dalam Eddy, 2006). Daya reaktif zeolit ditentukan oleh kandungan silikat dan alumina. Selain itu, hilang bakar dan nilai KTK juga menentukan daya adsorpsi dari zeolit. Komposisi zeolit sintesis secara umum berdasarkan Breck dan Flanigan (1968) dalam Lutz (2014) adalah sebagai berikut.

NaA 2.0 SiO₂ : 1 Al₂O₃ : 3.4 Na₂O : 170 H₂O

NaX 4.5 SiO₂ : 1 Al₂O₃ : 6.3 Na₂O : 280 H₂O

NaY 9.0 SiO₂ : 1 Al₂O₃ : 3.0 Na₂O : 120 H₂O

Dengan adanya kandungan Na dalam zeolit, maka zeolit akan sangat mudah menyerap gas CO₂ yang bersifat asam lemah, sehingga CO₂ yang tidak teradsorpsi oleh karbon aktif akan diserap oleh zeolit yang akan meningkatkan kemurnian CH₄ menjadi lebih tinggi.

KESIMPULAN

Proses pemurnian secara parsial tidak akan menghilangkan semua gas pengotor yang terkandung dalam biogas. Biogas yang dimurnikan melalui proses terintegrasi antara kondensasi dan adsorpsi dengan menggunakan adsorben karbon aktif dan zeolit akan dapat menghasilkan gas CH₄ dengan kemurnian tinggi (*biomethane*). Hasil pemurnian biogas tersebut, akan didapatkan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan.

SARAN

Hasil kajian ini perlu ditindaklanjuti dalam penelitian pemurnian biogas secara terintegrasi melalui proses kondensasi dan adsorpsi dengan adsorben karbon aktif dan zeolit untuk pembuktian secara eksperimental dalam menghasilkan *biomethane*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada ananda Anif Rizqianti Hariz yang telah membantu di dalam penyajian tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Aditya, Kusuma, Pricilia Melisa, dan Agus Hadiyanto. 2012. *Pemurnian Biogas dari Kandungan Hidrogen Sulfida (H₂S) dengan NaOH, CuSO₄, Fe₂(SO₄)₃ dalam Packed Column Secara Kontinyu*. Jurnal Teknologi

Kimia dan Industri Vol. 1 No. 1 Hal.389-395.

Alwathan, Mustafa, dan Ramli Thahir. 2013. *Pengurangan Kadar H₂S dari Biogas Limbah Cair Rumah Sakit dengan Metode Adsorpsi*. Jurnal Konversi Vol. 2 No. 1 hal.1-6.

Apriyanti, Eny. 2012. *Adsorpsi CO₂ Menggunakan Zeolit : Aplikasi Pada Pemurnian Biogas*. Jurnal Universitas Pandanaran Vol. 10 No. 23.

Bansal, Roop Chand dan Goyal, Meenakshi. 2005. *Activated Carbon Adsorption*. Taylor & Francis Group.

Eddy, Herry Rodiana. 2006. *Potensi dan Pemanfaatan Zeolit di Provinsi Jawa Barat dan Banten*. Bulletin Sumber Daya Geologi Vol. 1 No. 2.

Fischer, Mary Elizabeth. 2010. *Biogas Purification : H₂S Removal using Biofiltration*. Tesis Master Applied Science, Chemical Engineering, University of Waterloo. Ontario.

Hamidi, Nurkholis, I. N. G. Wardana, dan Denny Widhiyanuriyawan. 2011. *Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian dengan Zeolit Alam*. Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 2 No. 3 Hal.227-231.

Hozairi, Bakir, dan Buhari. 2012. *Pemanfaatan Kotoran Hewan Menjadi Energi Biogas Untuk Mendukung Pertumbuhan UMKM di Kabupaten Pamekasan*. Jurnal Teknologi Peternakan Sumber Energi yang Terbarukan, LP2M Universitas Islam Madura.

Imamkhasani, S. 1998. *Lembar Data Keselamatan Bahan Vol. 1*. Puslitbang Kimia Terapan, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

----- 1998. *Lembar Data Keselamatan Bahan Vol. 2*. Puslitbang Kimia Terapan, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

----- 1998. *Lembar Data Keselamatan Bahan Vol. 3*. Puslitbang Kimia Terapan, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

Keller, Jurgen U., Erich Robens, dan Cedric du Fresne von Hohenesche. 2002. *Thermogravimetric and Sorption Measurement*

- Techniques/Instruments*. Journal of Universitas Siegen. Germany.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2008. *Pusat Data dan Informasi ESDM*.
- Listyowati, Anggreini F. P., Wirakartika M., S. R. Juliastuti, dan Nunik Hendrianie. 2012. *Penurunan Kadar CO₂ dan H₂S pada Biogas dengan Metode Adsorpsi Menggunakan Zeolit Alam*. Jurnal Teknik Pomits Vol. 1 No. 1 Hal.1-5.
- Lutz, Wolfgang. 2014. *Zeolite Y: Synthesis, Modification, and Properties - A Case Revisited*. Hindawi Publishing Corporation, Advances in Materials Science and Engineering.
- Mara, I Made. 2012. *Analisis Penyerapan Gas Karbondioksida (CO₂) dengan Larutan NaOH terhadap Kualitas Biogas Kotoran Sapi*. Jurnal Dinamika Teknik Mesin Vol. 2 No. 1 Hal.38-46.
- Negara, K.M.T., T.G.T. Nindhia, I.M. Sucipta, I.K.A. Atmika, D.N.K.P. Negara, I.W. Surata, dan A.A.I.A.S. Komaladewi. 2012. *Pemurnian Biogas dari Gas Pengotor Hidrogen Sulfida (H₂S) dengan Memanfaatkan Limbah Geram Besi Proses Pembubutan*. Jurnal Energi dan Manufaktur Vol. 5 No. 1 Hal.33-41.
- Ofori-Boateng, C. dan Kwofie, E. M. 2009. *Water Scrubbing : A Better Option for Biogas Purification for Effective Storage*. World Applied Sciences Journal 5 Hal.122-125.
- Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional.
- Polprasert, C. 2007. *Organic Waste Recycling -Technology and Management (3^d edition)*. IWA Publishing. London.
- Prabarini, Nunik dan Okayadnya, D.G. 2014. *Penyisihan Logam Besi (Fe) pada Air SUMUR dengan Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri*. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol. 5 No. 2.
- Sembiring, M.T. dan Sinaga, T.S. 2003. *Arang Aktif (Pengenalan dan Proses)*.
- Smisek, M. dan Cerny, S. 1970. *Active carbon: Manufacture, properties and application*. Elsevier Publishing Company. New York.
- Soerawidjaja, Tatang H. 2006. *Potensi Sumber Daya Hayati Indonesia dalam Penyediaan Berbagai Bentuk Energi* <http://www.dikti.org/biogasdiunduh> pada tanggal 31 Oktober 2014.
- Sudirjo, M. 2006. *Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Kacang Tanah (Arachis Hypogaeae) dengan Aktivator Asam Sulfat*. Tugas Akhir Universitas Diponegoro.
- Suryawan, Bambang. 2004. *Karakteristik Zeolit Indonesia sebagai Adsorben Uap Air*. Disertasi Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Suzuki, Motoyuki. 1990. *Adsorption Engineering*. Kodansha Ltd. Tokyo.
- UOP. 2005. *Introduction to Zeolite Molecular Sieves*. <http://www.uop.com> diunduh pada tanggal 28 November 2014.
- Vijay, Virendra K., Ram Chandra, Parchuri M. V. Subbarao, dan Shyam S. Kapdi. 2006. *Biogas Purification and Bottling into CNG Cylinders : Producing Bio-CNG from Biomass for Rural Automotive Applications*. The 2nd Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)" 21-23 November 2006, Bangkok, Thailand.
- Widyastuti, Apria, Berlian Sitorus, dan Afghani Jayuska. 2013. *Karbon Aktif dari Limbah Cangkang Sawit sebagai Adsorben Gas dalam Biogas Hasil Fermentasi Anaerobik Sampah Organik*. JKK Vo. 2 (1) hal.30-33.