

PEMURNIAN BIOGAS DARI GAS H₂S MENGGUNAKAN KARBON AKTIF DARI BUAH MANGROVE

Wusana Agung Wibowo*, Paryanto, Rachmi Azizah Lutfiani dan Raka Mancini Putra

Program Sarjana Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret,

Jl. Ir. Sutami No.36 A, Jebres, Surakarta, 57126

*E-mail : wusanaagung@staff.uns.ac.id

Abstrak

Biogas layak sebagai bahan bakar mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) karena kandungan metana (CH₄) yang dimiliki tinggi. Namun, kandungan H₂S dalam biogas yang relatif tinggi dapat menyebabkan korosi pada peralatan proses dan berdampak negatif ke lingkungan. Salah satu metode yang dapat dilakukan untuk pemisahan H₂S dari biogas adalah dengan adsorpsi menggunakan arang aktif. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas pemurnian H₂S dalam biogas menggunakan arang aktif dari buah mangrove, serta menentukan konstanta isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir. Aktivasi adsorben menggunakan larutan KOH 0,5M dan ukuran adsorben pada -3+4 mesh dan -6+8 mesh. Rangkaian alat adsorpsi terdiri dari 3 alat utama yaitu kondenser, flow stabilizer, dan kolom adsorber. Laju alir biogas yang digunakan diatur sebesar 4 liter per menit (lpm) pada suhu ruang dengan tinggi tumpukan adsorben divariasikan pada 6 dan 8 cm. Dari hasil penelitian diperoleh daya adsorpsi maksimum sebesar 0,324 mg/gram dengan efisiensi penjerapan H₂S mencapai 83,16% pada ukuran adsorben -6+8 mesh dan tinggi tumpukan 8 cm. Konstanta kesetimbangan adsorpsi H₂S dengan metode Langmuir diperoleh sebesar -239,981 dan metode Freundlich sebesar 824,89. Berdasarkan nilai koefisien korelasi (R²), model isoterm Langmuir lebih sesuai untuk adsorpsi H₂S dalam biogas dengan arang aktif dari ampas mangrove.

Kata kunci: Biogas, hidrogen sulfida, buah mangrove, karbon aktif, adsorpsi, adsorben.

1. PENDAHULUAN

Salah satu penggunaan sumber energi alternatif yang mulai dipertimbangkan dalam menghasilkan pembakaran ramah lingkungan adalah biogas (Meynell, 1976). Biogas berasal dari bahan-bahan organik yang difermentasi melalui aktivitas anaerobik bakteri metana yang didapatkan dengan cara metanogen seperti *Methanobacterium* sp. Proses pembentukan biogas dari biomassa berlangsung dalam keadaan tertutup tanpa udara (Widhiyanuriyawan dkk, 2013). Kandungan biogas pada umumnya terdiri dari gas CH₄, CO₂, H₂S, dan gas lainnya dalam jumlah kecil. Dalam hal ini, kandungan gas yang diinginkan adalah gas metana (CH₄) karena memiliki nilai kalor yang tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar (Price, E.C., 1981).

Kemurnian CH₄ yang terkandung dalam biogas menjadi penting untuk tujuan aplikasi sumber energi. Hal tersebut dikarenakan kandungan CH₄ sangat berpengaruh terhadap nilai kalor biogas. Untuk mencapai tujuan tersebut, perlu dilakukan pemurnian terhadap kandungan gas-gas lain yang tidak diperlukan dalam proses pembakaran yang dapat menurunkan nilai kalor pembakaran (Widhiyanuriyawan dan Denny, 2014).

Beberapa teknologi pemurnian biogas dikembangkan dengan berbagai macam metode, diantaranya *Water Scrubbing*, *Chemical Adsorption*, *Membrane Purification Adsorption Technology*. Adsorpsi merupakan salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk penjerapan gas terutama CO₂ dan H₂S, sehingga persentase kandungan CH₄ di dalam biogas akan meningkat (Iriani dkk, 2014). Adsorpsi dapat terjadi secara fisika maupun kimia dimana molekul fluida mengalami kontak dan melekat pada permukaan adsorben padat. Proses adsorpsi dapat terjadi pada permukaan padatan yang berpori (*pores*) (Lestari dan Dewi Yurnita, 2010).

Karbon aktif merupakan padatan berpori yang dihasilkan dari bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Semakin luas permukaan arang aktif maka daya adsorpsinya semakin tinggi (Sembiring dkk, 2003). Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif bergantung pada besar atau volume pori dan luas permukaan. Daya jerap karbon aktif sangat besar, dapat mencapai 25-100% berat karbon aktif (Arifin, 2008).

Karbon aktif dapat dibuat melalui proses aktivasi fisika maupun kimia. Penggunaan jenis senyawa aktivator pada proses aktivasi kimia

dapat memberikan pengaruh yang berbeda-beda terhadap luas permukaan maupun volume pori karbon aktif yang dihasilkan. Sebagai contoh, proses aktivasi menggunakan bahan aktivasi kalium hidrosida (KOH) menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan $3.000 \text{ m}^2/\text{g}$ (Teng dkk,1999).

Pada penelitian ini digunakan buah mangrove sebagai bahan baku arang aktif. Buah mangrove yang banyak ditemukan di daerah pesisir pantai Indonesia dan belum dimanfaatkan secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas pemurnian H_2S dalam biogas menggunakan arang aktif dari buah mangrove, serta menentukan konstanta isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir. Pemanfaatan buah mangrove sebagai bahan baku arang aktif diharapkan dapat meningkatkan nilai ekonomisnya.

2. METODOLOGI

2.1 Bahan

Bahan baku yang digunakan sebagai adsorben adalah karbon aktif yang dihasilkan dari aktivasi basa buah mangrove. Buah mangrove diperoleh dari daerah pesisir Cilacap, Jawa Tengah. Pengecilan ukuran buah mangrove diperlukan sebelum tahap aktivasi. Karbon aktif dihasilkan dari proses pirolisis buah mangrove kering pada temperatur 400°C selama 3 jam yang sebelumnya sudah direndam dalam larutan KOH 0,5 M selama 24 jam. Ukuran arang aktif kemudian dikelompokkan menggunakan ayakan sehingga terdapat dua kelompok ukuran, yaitu -3+4 mesh dan -6+8 mesh. Biogas yang digunakan bersumber dari digester kotoran sapi di peternakan sapi desa Sambi, Boyolali, Jawa Tengah.

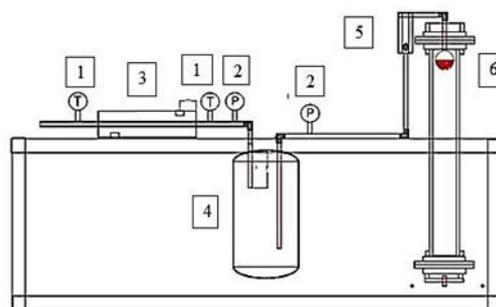
2.2 Metode

Rangkaian alat adsorpsi H_2S disajikan pada Gambar 1, terdiri dari 3 alat utama, yaitu kondenser, *flow stabilizer*, dan kolom adsorber dengan penambahan beberapa alat ukur. Alat-alat tersebut disusun pada sebuah rak yang diletakkan di dekat sumber biogas (digester).

Karbon aktif ditempatkan pada kolom adsorber dengan diameter kolom 3 in dan tinggi kolom 60 cm. Pada penelitian ini, tinggi tumpukan karbon divariasikan pada 6 cm dan 8 cm. Laju alir biogas diatur sebesar 4 liter per menit (lpm) dengan menggunakan *flowmeter*. Selanjutnya, kandungan air dalam biogas diembunkan di dalam kondenser sebelum

berkontak dengan arang aktif. Biogas yang akan dialirkan sebelumnya diukur terlebih dahulu suhu dan tekanannya menggunakan termometer dan *pressure gauge*. Biogas dialirkan dari bagian atas kolom dengan waktu tinggal sama untuk tiap variasi percobaan.

Kandungan H_2S dalam biogas diukur menggunakan alat tipe KXL-802 *Portable Hydrogen Sulfide Gas Detector* dengan rentang pengukuran 0 sampai 500 ppm. Kandungan H_2S dalam biogas keluar kolom adsorpsi diukur tiap interval waktu 10, 20, 30, 40, dan 50 menit.



Keterangan: (1) termometer, (2) *pressure gauge*, (3) kondenser, (4) *flow stabilizer*, (5) *flowmeter*, (6) kolom adsorber.

Gambar 1. Rangkaian Alat Adsorber

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

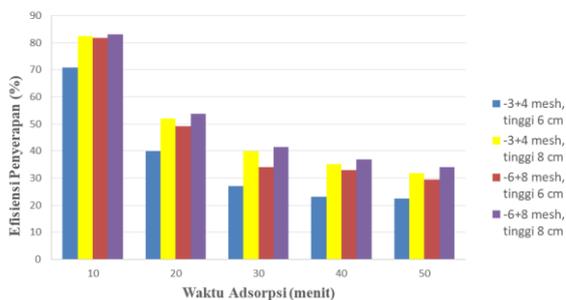
Berdasarkan hasil pengukuran tekanan masuk biogas, terdapat perbedaan angka pada alat ukur tekanan di aliran masuk dan aliran keluar *flow stabilizer* yang tidak signifikan sehingga perubahan tekanan aliran gas dapat diabaikan. Selain itu, juga terdapat penurunan suhu $2-4^\circ\text{C}$, namun tidak ada pengembunan kandungan air. Sistem perpipaan biogas sudah dilengkapi *water trap* sebelum masuk rangkaian alat, sehingga sebagian besar kandungan air sudah terpisah.

Persentase kandungan H_2S yang terjerap dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{H}_2\text{S} (\%) = \frac{\text{kadar H}_2\text{S awal} - \text{kadar H}_2\text{S akhir}}{\text{Kadar H}_2\text{S awal}} \times 100\% \quad (1)$$

Kadar H_2S awal adalah kadar gas H_2S sebelum memasuki kolom adsorber (ppm) dan kadar H_2S akhir adalah kadar gas H_2S setelah keluar dari adsorber (ppm). Berdasarkan pengukuran diperoleh kadar awal H_2S sekitar $304 \pm 6\%$.

Hasil pengukuran persentase penjerapan H₂S atau efisiensi penjerapan H₂S pada variasi ukuran arang aktif tinggi tumpukan arang aktif disajikan di Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Efisiensi penjerapan H₂S pada karbon aktif

Dari Gambar 2 diperoleh bahwa efisiensi penjerapan H₂S paling baik diperoleh pada ukuran arang aktif -6+8 dan tinggi tumpukan 8 cm dengan efisiensi penjerapan H₂S setelah 10 menit mencapai 83,16%. Hal ini dikarenakan semakin kecil ukuran karbon aktif, luas area kontak antara biogas dengan adsorben semakin besar sehingga jumlah H₂S terjerap lebih banyak.

Dengan meningkatnya waktu, efisiensi penjerapan cenderung menurun hal ini dikarenakan semakin lama waktu adsorpsi maka karbon aktif akan mencapai titik jenuhnya yang menyebabkan penurunan jumlah H₂S terjerap persatuan waktu. Adsorben dapat dikatakan jenuh bila gas H₂S yang melewati kolom adsorber tidak bisa teradsorpsi lagi (Alwathan dkk, 2013).

Penentuan konstanta kesetimbangan Freundlich dan Langmuir dapat dilakukan dengan perhitungan menggunakan persamaan matematis (Said, 2007) menggunakan persamaan berikut:

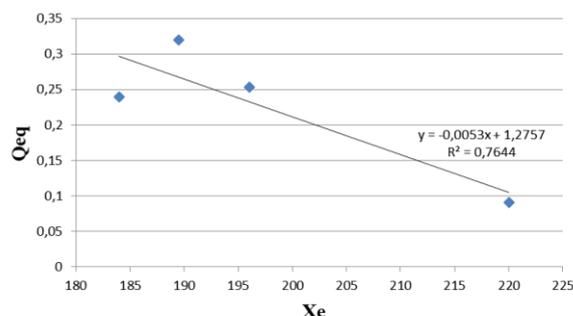
$$\log \frac{X}{M} = \frac{1}{n} \log C + \log k \quad (2)$$

Pada persamaan Freundlich di atas, x adalah banyaknya H₂S yang terjerap (mg), m adalah massa adsorben (g), dan C adalah konsentrasi H₂S yang tersisa setelah proses adsorpsi.

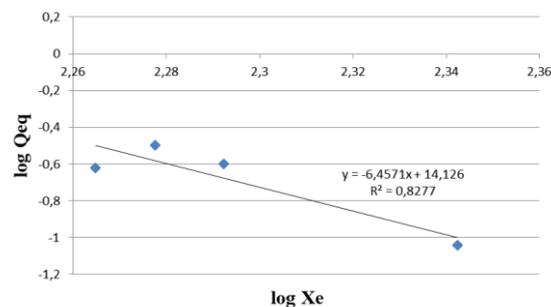
$$\frac{C}{X/M} = \frac{1}{(X/M)_{maks}} C + \frac{1}{(X/M)_{maks} k} \quad (3)$$

Pada persamaan Langmuir di atas, $\left(\frac{X}{M}\right)$ adalah kapasitas adsorpsi (Q_{eq}),

$(x/m)_{maks}$ adalah kapasitas adsorpsi maksimum, dan C adalah konsentrasi H₂S yang tersisa setelah proses adsorpsi (X_e). Dari hasil perhitungan diperoleh grafik pemodelan isotherm Langmuir pada Gambar 3 dan grafik pemodelan isotherm Freundlich pada Gambar 4 sebagai berikut:



Gambar 3. Kesetimbangan Karbon Aktif terhadap Biogas pada Model Langmuir



Gambar 4. Kesetimbangan Karbon Aktif terhadap Biogas pada Model Freundlich

Model persamaan Freundlich mengasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (*multilayer*) dan sisi bersifat heterogen, yaitu adanya perbedaan energi pada tiap-tiap sisi dimana proses adsorpsi di tiap-tiap sisi adsorpsi mengikuti isotherm Langmuir (Handayani dkk, 2009). Berdasarkan nilai koefisien korelasi (R²) pada Gambar 3 dan Gambar 4 diperoleh bahwa model Langmuir lebih sesuai digunakan dalam penelitian ini (nilai R² lebih tinggi mendekati 1) (Gueu dkk, 2003), sehingga dapat diasumsikan bahwa adsorpsi biogas yang terjadi pada permukaan karbon aktif dari buah mangrove bersifat homogen dan adsorbat teradsorpsi dalam bentuk tunggal (*monolayer*). Langmuir menggambarkan bahwa pada permukaan

adsorben terdapat sejumlah tertentu sisi aktif yang sebanding dengan luas permukaan.

Pada setiap sisi aktif hanya ada satu molekul yang dapat diadsorpsi (Khoirunnisa F, 2005). Isotherm Freundlich sendiri lebih efektif jika digunakan untuk penyerapan logam berat (Bernasconi dkk, 1995). Dari hasil perhitungan diperoleh persamaan Langmuir $y = -0,0053x + 1,2757$ dan persamaan Freundlich $y = -6,4571x + 14,126$ serta nilai k untuk model Langmuir sebesar -239,981 sedangkan nilai k tertinggi untuk model Freundlich sebesar 824,89.

4. KESIMPULAN

Efisiensi penyerapan H_2S paling tinggi diperoleh pada penyerapan H_2S dalam biogas untuk ukuran arang aktif -6+8 mesh dan ketinggian tumpukan 8 cm, diperoleh efisiensi penyerapan H_2S setelah 10 menit mencapai 83,16%. Konstanta kesetimbangan arang aktif teraktivasi KOH 0,5 M dengan metode Langmuir sebesar -239,981 dan metode Freundlich sebesar 824,89. Berdasarkan nilai koefisien korelasi (R^2), pada model isotherm Langmuir lebih sesuai untuk adsorpsi H_2S dalam biogas menggunakan arang aktif dari buah mangrove.

DAFTAR PUSTAKA

Alwathan, Mustafa, Ramli Thahir. 2013. Pengurangan Kadar H_2S dari Biogas Limbah Cair Rumah Sakit dengan Metode Adsorpsi. *Konversi* Volume 2 No. 1, April 2013

Arifin. 2008. "Dekolorisasi Air yang Mengandung Zat Warna Tekstil dengan Metode Koagulasi Poly Aluminium Chloride dan Adsorpsi Karbon Aktif". PT. Titra Kencana Cahaya Mandiri. Tangerang.

Bernasconi, G, Gester, H; Hauser H. 1995. *Teknologi Kimia Bagian 2*, Edisi pertama, terjemah Lienda Handojo, PRadnya Paramita (Jakarta) hal 204.

Gueu, S ; Yao, B ; Audoby, K ; Ado, G. 2003. "Kinetics and Thermodynamix Study of Lead Adsorption on to Activeted Carbons from Coconut and Seed Hull of the Palm Tree". *Jurnal Environ Sci Technology*, 4 (1), hal 11-17.

Handayani, Murni; Sulistiyono, Eko. 2009. "Uji Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Penyerapan Limbah Chrom (VI) oleh Zeolit". PTNBR – BATAN. Bandung.

Iriani, Purwinda dan Heryadi, Ari. 2014. "Pemurnian Bigas melalui Kolom Beradsorben Karbon Aktif". *Sigma-Mu* Vol.6 No.2. Bandung.

Khoirunnisa F. 2005. Kajian Adsorpsi dan Desorpsi $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ dalam Limbah Fotografi pada dan dari Adsorben Kitin dan Asam Humat Terimobilisasi pada Kitin [Tesis]. Jurusan Ilmu Kimia Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam Program Pasca Sarjana Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.

Lestari, Dewi Yurnita. 2010. "Kajian Modifikasi Dan Karakterisasi Zeolit Alam Dari Berbagai Negara". *Jurnal Jurusan Pendidikan Kimia UNY*. Yogyakarta.

Meynell. 1976. *Methane : Planing A Digester*. Primpress. Great Britain.

Price, E.C., Cheremisinoff P.N. 1981. *Biogas Production and Utilization*. Ann Arbor Science Publishers, Inc. Ann Arbour, Michigan.

Said, N. I. 2007. "Pengolahan Air Minum dengan Karbon Aktif Bubuk Prinsip Dasar Perhitungan, Perencanaan Sistem Pembubuhan dan Kriteria Desain". *JAI* Vol 3 No 2.

Sembiring, Meilita Tryana, Tuti Sarma Sinaga. 2003. "Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya)". USU Digital Library. Sumatera.

Teng, Hsisheng; Hsu, Li-Yeh.1999. High-Porosity Carbons Prepared from Bituminous Coal with Potassium Hydroxide Activation. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 38, 2947-2953.

Widhiyanuriyawan, Denny, Nurkholis Hamidi. 2013. "Variasi Temperatur Pemanasan Zeolit Alam-NaOH Untuk Pemurnian Biogas". *Jurnal Energi dan Manufaktur*. Vol. 6 No.1 : 53-63.

Widhiyanuriyawan, Denny. 2014. *Biogas Purification Using Natural Zeolite and NaOH*. *Applied Mechanics and Materials*. 664 : 415-418.