

DESAIN ADSORBER MENGGUNAKAN BAHAN ISIAN RESIN PENUKAR ANION BASA KUAT UNTUK PEMURNIAN BIOGAS

ADSORBER DESIGN USING STRONG BASE ANION EXCHANGE RESIN AS ADSORBENT FOR BIOGAS PURIFICATION

Anies Mutiari¹, Wiratni², Aswati Mindaryani² dan Surasno¹

¹Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, B4T

²Jurusan Teknik Kimia, UGM

E-mail: anies.mutiari@yahoo.com

Diajukan: 27/5/2013, Direvisi: 27/7/2013, Disetujui: 23/8/2013

ABSTRACT

Biogas as a renewable energy source has approximately 50-75% methane (CH₄) as its main content. It needs to be purified from impurities such as CO₂. Process design of biogas purification pilot plant scale has been carried out based on the data of laboratory experiments. Design tool which is designed to operate at atmospheric pressure and ambient temperature with a capacity of 75 liters and gas flowrate 0.8 L/min. Adsorber packing material that used are resin-type strong base anion exchange and water with ratio 3:1. Dimension tool designed adsorber are 1350 mm high and 254 mm diameter. Economic analysis results indicate that the ROI 24.91%, POT 2.86 years, DCFRR 31.12%, BEP 42.29% and SDP 26.50%, respectively.

Keywords: Adsorber design; Strong Base Anion Exchange Resin; Biogas Purification

ABSTRAK

Biogas sebagai sumber energi terbarukan mempunyai kandungan metana (CH₄) sekitar 50-75% sebagai bahan bakar utama. Untuk dapat menggunakan biogas sebagai sumber energi yang lebih luas perlu dilakukan proses pemurnian biogas dari pengotornya seperti CO₂. Perancangan alat pemurnian biogas skala *pilot plant* telah dilakukan berdasarkan data-data percobaan laboratorium. Desain alat yang dirancang beroperasi pada tekanan atmosferis dan suhu lingkungan dengan kapasitas 75 Liter resin dan laju alir gas 0,8 L/menit. Bahan isian adsorber yang digunakan adalah resin berjenis penukar anion basa kuat dan air dengan perbandingan 3:1. Dimensi alat adsorber yang dirancang yaitu, tinggi 1350 mm dan diameter 254 mm. Hasil unjuk kerja alat skala pilot plant yang telah dilakukan menunjukkan bahwa CO₂ mampu untuk dihilangkan hingga 100% dalam waktu 15 menit. Setelah 15 menit resin harus diregenerasi menggunakan larutan NaCl 2% untuk mengembalikan unjuk kerja resin seperti sedia kala. Hasil analisa ekonomi terhadap keberlangsungan proses tersebut memberikan hasil ROI 24,91%, POT 2,86 tahun, DCFRR 31,12%, BEP 42,29% dan SDP 26,50%. Hasil analisis parameter-parameter ekonomi tersebut menunjukkan bahwa proses ini layak untuk dijalankan.

Kata Kunci : Desain Adsorber; Resin Penukar Anion Basa Kuat; Pemurnian Biogas

PENDAHULUAN

Produksi biogas melalui proses peruraian anaerobik telah banyak dilakukan di Indonesia. Biogas merupakan salah satu teknologi tepat guna untuk kebutuhan domestik di desa-desa. Biogas merupakan alternatif substitusi bahan bakar fosil yang menarik bagi masyarakat karena proses produksinya yang mudah untuk dilakukan. Mekanisme produksi biogas secara anaerobik akan menghasilkan campuran gas-gas yang komponen utamanya adalah CH₄ dan CO₂ (Tippayawong dan Thanompongchart, 2010). Komposisinya antara lain adalah metana (CH₄) sekitar 55-

70%, karbondioksida (CO₂) sejumlah 25-50%, nitrogen (N₂) sekitar 0-5%, uap air (H₂O) 1,5%, gas sulfur (H₂S) sebesar 0-0,5% dan sedikit amoniak (NH₃) 0-0,05% (Dubois dan Thomas, 2010). Komponen utama dalam biogas adalah metana. Pada reaktor biogas yang sudah stabil, kadar metana dalam biogas mencapai 50-60% (Wiratni, 2010).

Keberadaan gas CO₂ di dalam biogas berdampak pada turunnya kualitas biogas diantaranya menurunkan nilai kalori pembakaran, menyebabkan korosi dan menjadikan biogas tidak ekonomis untuk disimpan dan didistribusikan untuk jarak jauh. Untuk menghasilkan biogas dengan

kadar metana tinggi dan menghilangkan komponen lain yang mengotorinya ada beberapa alternatif proses untuk pemurnian biogas. Teknologi pemurnian didasarkan pada pengalaman industri gas alam pada industri petrokimia untuk penghilangan CO₂. Basis pemisahan menggunakan mekanisme selektifitas untuk masing-masing komponen gas. Mekanisme pemisahan yang dapat dilakukan diantaranya absorpsi fisis, absorpsi kimia, adsorpsi pada permukaan padat, pemisahan membran, pemisahan metode *cryogenic*, konversi kimia dan biofiltrasi (Hullu dkk, 2008).

Tippayawong dan Thanompongchart (2010) melaporkan bahwa dengan absorpsi kimia menggunakan mono-ethanolamina (MEA) konsentrasi 10%, dapat mengurangi konsentrasi CO₂ dari 40% menjadi 0,5-1% volume CO₂ didalam biogas, namun proses ini cukup mahal dikarenakan ketersediaan bahan baku dan harga MEA. Roe, dkk., (2011) mengungkapkan suatu desain alat yang komprehensif untuk memurnikan biogas. Desain alat tersebut menggunakan metode scrubbing untuk menyerap gas CO₂ di dalam biogas. Paten tersebut lebih menekankan pada desain alat dan mesin-mesin yang digunakan, sehingga belum terdapat proses baru untuk pemurnian biogas. Lothar Gunther (2012) mengungkapkan pemurnian biogas menggunakan proses absorpsi dalam suatu kolom bahan isian. Metode tersebut dapat dioperasikan pada kondisi atmosferis dan memberikan kemurnian biogas hingga 97%. Namun, larutan yang digunakan adalah berbasis amin. Larutan berbasis amin adalah larutan penyerap CO₂ yang digunakan di industri-industri petrokimia, apabila akan digunakan untuk pemurnian biogas harganya relatif mahal.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari suatu proses pemurnian biogas yang dapat digunakan di pedesaan. Untuk itu dibutuhkan suatu proses pemurnian biogas dengan kondisi operasi atmosferis, menggunakan bahan baku yang murah dan secara teknis dapat dioperasikan dengan mudah. Sampai saat ini belum ada

penelitian tentang pemurnian biogas yang bertujuan untuk memberikan solusi terhadap permasalahan tersebut.

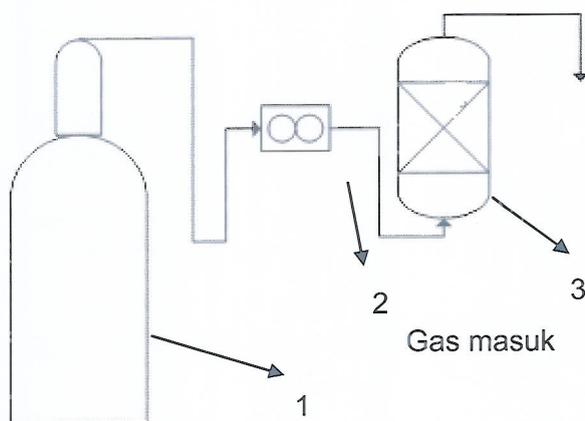
Pada penelitian ini telah dilakukan proses adsorpsi untuk pemurnian biogas. Proses dijalankan pada kondisi atmosferis, yaitu tekanan 1 atm dan suhu lingkungan. Bahan isian yang digunakan adalah resin penukar anion basa kuat. Resin tersebut memberikan hasil pengurangan CO₂ yang signifikan dan dapat diregenerasi sehingga mempunyai umur pakai hingga 15 tahun (Wheaton, 2009). Merk komersial yang dapat dijumpai di pasar seperti Dowex, Amberlite, Duolite, Purolite, dll. Perbedaan dari merk-merk dagang tersebut adalah kapasitas penjerapan dan kondisi operasi dari adsorber. Hasil penelitian telah dikembangkan menjadi perancangan dan pembuatan alat skala *pilot plant*. Alat yang dihasilkan dalam penelitian ini akan diaplikasikan pada reaktor biogas yang telah berproduksi secara kontinyu.

METODE

Penelitian tentang pemurnian biogas dari kandungan CO₂ ini dilakukan di Balai Besar Bahan dan Barang Teknik bekerjasama dengan Jurusan Teknik Kimia FT UGM. Pengambilan data percobaan skala laboratorium dilakukan pada tahun 2012. Sedangkan uji coba unjuk kerja alat skala pilot plant dilakukan pada bulan Februari – Juni 2013.

Bahan-bahan penelitian yang digunakan di dalam penelitian ini adalah 1) *Aquadest*, 2) Gas campuran CO₂ : CH₄ dengan kandungan 60% CO₂ dan 40% CH₄, 3) NaCl 99% p.a, dengan merk Merck, 4) Resin merk Purolite berjenis penukar anion basa kuat.

Rangkaian alat percobaan adsorpsi untuk pemurnian biogas dapat dilihat di Gambar 1.



Gambar 1. Skema Alat Percobaan

Keterangan Gambar :

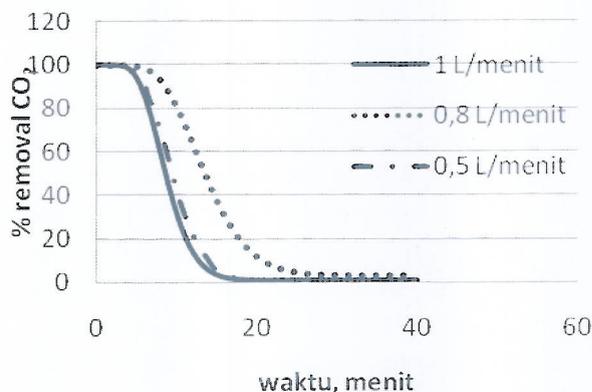
1. Tabung Gas Campuran
2. *Flowmeter*
3. Adsorber

Sebelum digunakan, resin penukar anion basa kuat dicuci menggunakan larutan NaCl 2%. Resin ditimbang dengan berat 75 Liter. Resin tersebut kemudian dimasukkan ke dalam kolom adsorber bersama air dengan perbandingan berat resin:air 3:1. Konsentrasi gas masuk adsorber diukur sebagai konsentrasi awal. Konsentrasi gas CO₂ keluar kolom adsorpsi diukur sebagai konsentrasi gas CO₂ setiap waktu. Sampel gas diambil dari aliran gas keluar menggunakan *syringe gastight*. Sampel gas kemudian dianalisis kadar CO₂ nya menggunakan *Gas Chromatography*. Resin dalam kondisi baru dan setelah jenuh dianalisis menggunakan FTIR.

HASIL DAN PEMBAHASAN

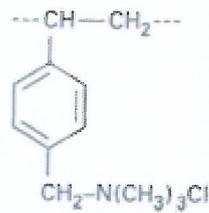
Komponen utama dalam biogas adalah metana. Pada reaktor biogas yang sudah stabil, kadar metana dalam biogas mencapai 50-60% (Wiratni, 2010). Pemurnian biogas bertujuan untuk memisahkan CO₂ dan gas-gas pengotor lain yang jumlahnya bervariasi. Penelitian tentang pemurnian biogas dalam skala laboratorium ini telah dilakukan di Balai

Besar Bahan dan Barang Teknik bekerjasama dengan Jurusan Teknik Kimia FT UGM. Pada skala laboratorium tersebut digunakan kolom adsorber dengan diameter 5 cm dan tinggi 35 cm. Proses tersebut telah dapat menghasilkan metana dengan kadar sampai di atas 80% dalam waktu 15 menit. Gambar 2 adalah grafik % penghilangan CO₂ menggunakan metode adsorpsi dengan bahan isian resin penukar anion basa kuat. Proses pemurnian biogas skala laboratorium tersebut dinilai efektif. Oleh karena itu, tahap selanjutnya yang dikembangkan adalah desain dan pembuatan alat pemurnian biogas skala *pilot plant*.



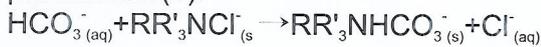
Gambar 2. % Penghilangan CO₂ dengan Variasi Laju Alir Gas (Mutiar dkk., 2012)

Desain adsorber skala pilot plant dilakukan berdasarkan data-data hasil percobaan laboratorium. Percobaan laboratorium yang dilakukan pada kolom adsorber melibatkan proses adsorpsi dengan mekanisme reaksi pertukaran ion antara ion bikarbonat yang berasal dari CO₂ dan ion Cl yang berasal dari gugus resin. Proses adsorpsi melibatkan transfer zat terlarut dalam fluida menuju permukaan dari material padat, dimana penyerapan zat terlarut akibat gaya fisis atau gaya Vander Walls secara selektif. Pada proses ini, material padat yang digunakan adalah resin penukar anion basa kuat dimana struktur molekulnya dapat dilihat pada Gambar 3. Sementara itu, zat yang terlarut dalam fluida yaitu CO₂ yang terlarut dalam air yang berupa ion bikarbonat (HCO₃⁻).



Gambar 3. Struktur Molekul Resin Penukar Anion Basa Kuat

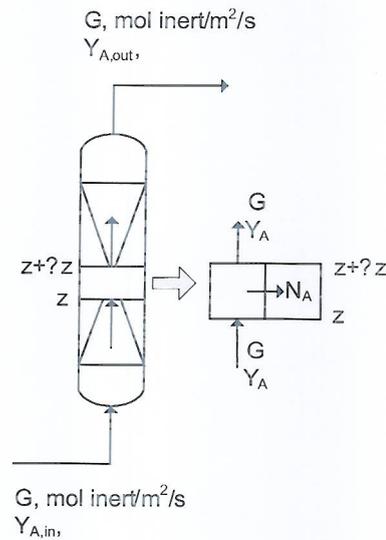
Reaksi pertukaran ion yang terjadi secara selektif ditunjukkan melalui persamaan (1).



(1)

Pertukaran ion yang merupakan suatu fenomena atau suatu proses yang melibatkan pertukaran dapat balik antara ion-ion dalam larutan dengan ion yang terikat dalam bahan penukar ion. Pada proses itu, tidak ada perubahan secara permanen dalam struktur padatan. Mekanisme pertukaran ini didasarkan pada sifat *sorptif* dari tempat yang bermuatan negatif dalam adsorben terhadap ion bermuatan positif yang terjadi karena interaksi gaya Coulomb. Pertukaran ion dapat dikategorikan juga sebagai proses *sorption* seperti halnya adsorpsi, yaitu sejumlah tertentu bahan terlarut (*solute*) di fase fluida secara selektif tertransfer ke dalam suatu partikel yang tak larut. Pertukaran ion kadang disebut juga *counterion adsorption*.

Dari percobaan yang dilakukan dalam kolom resin disusun model matematis yang dapat diverifikasi menggunakan data percobaan seperti pada Gambar 2. Penyusunan model matematis diambil pada elemen volum di kolom adsorpsi. Pemodelan matematis bertujuan untuk memberikan persamaan empiris yang mewakili proses fisis yang terjadi. Persamaan tersebut dapat digunakan untuk memperkirakan dimensi adsorber skala pilot plant yang akan dirancang



Gambar 4. Skema Kolom Adsorpsi

Gambar 4 adalah sketsa dari proses fisis yang terjadi. Dari Gambar 4 dapat dibuat neraca massa pada elemen volum kolom *fixed bed* yang disusun dengan mengambil asumsi (1) Kondisi isothermal, (2) Kecepatan aliran arah aksial bernilai konstan, (3) Gradien konsentrasi arah radial diabaikan dan (4) Perpindahan massa karena difusi aksial diabaikan. Persamaan matematis yang dihasilkan ditunjukkan pada persamaan (1) (Levenspiel, 1999).

$$\frac{\partial C_{AG}}{\partial t} = \frac{G}{\varepsilon_G} \frac{\partial Y_A}{\partial z} - \frac{P_{AG}}{\varepsilon_G \left[\frac{1}{k_G a} + H \cdot \left(\frac{1}{k_L a} + \frac{1}{k_i \varepsilon_L} \right) \right]} \quad (1)$$

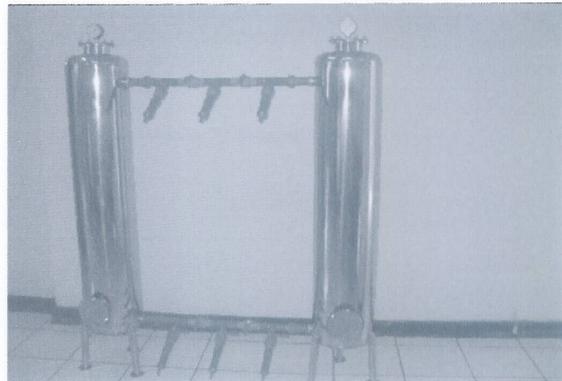
Penyelesaian persamaan (1) dapat dilakukan dengan cara numeris menggunakan program MATLAB. Parameter yang digunakan adalah konsentrasi CO_2 di keluaran kolom sebagai fungsi waktu (C_{AG}), kecepatan gas masuk (G), gas *hold up* (ε_G), tekanan parsial CO_2 di fasa gas (P_{AG}), koefisien transfer massa volumetris CO_2 pada fasa gas (k_{GA}), koefisien transfer massa volumetris CO_2 pada fasa cair (k_{LA}), tetapan laju reaksi (k_i) dan *liquid hold up* (ε_L). C_{AG} sebagai fungsi waktu diperoleh dari data percobaan laboratorium,

$G = 0,06 \text{ mol inert/m}^2/\text{menit}$; $\varepsilon_G = 0,1$; $P_{AG} = 1 \text{ atm}$; $k_{GA} = 0,0432 \text{ mol/s/m}^3/\text{atm}$; $k_{LA} = 0,0001 \text{ 1/s}$; $k_1 = 0,0947 \text{ 1/s}$ dan $\varepsilon_L = 0,1$ (Mutiar dkk., 2012). Nilai konstanta Henry (H) untuk gas CO_2 di dalam air menggunakan nilai dari Perry (1997) yaitu $H = 0,03 \text{ atm}\cdot\text{m}^3/\text{mol}$.

Hasil perhitungan yang dilakukan menghasilkan ukuran dimensi alat. Desain alat dilakukan menggunakan dasar perhitungan bahwa resin dapat berfungsi selama 1 bulan sebelum mencapai kondisi jenuh. Waktu 1 bulan dipilih dengan pertimbangan waktu regenerasi resin yang akan dilakukan tidak terlalu cepat. Kondisi operasi yang digunakan dalam perancangan alat adalah tekanan atmosferis 1 atm dan suhu lingkungan ($25 - 30 \text{ }^\circ\text{C}$). Hasil perhitungan menghasilkan dimensi alat adsorber dengan diameter 254 mm dan tinggi 1350 mm. Kondisi optimum yang digunakan adalah perbandingan jumlah air dan resin 1:3 serta laju alir gas yang digunakan adalah 0,8 L/menit. Kolom adsorber di desain dengan kapasitas 75 Liter resin. Dengan memperhitungkan kondisi optimum diatas, kolom adsorber dirancang mampu beroperasi selama 1 bulan untuk kemudian diregenerasi dan dapat dipergunakan kembali. Regenerant yang digunakan adalah larutan NaCl 2% yang dikontakkan langsung dengan resin setelah 1 bulan digunakan. Setelah di regenerasi, resin mempunyai unjuk kerja seperti semula dan dapat digunakan seperti sedia kala.



Gambar 5. Kolom Adsorber Satu Kolom



Gambar 6. Kolom Adsorber Dua Kolom

Gambar 5 dan Gambar 6 adalah skema rancangan alat pemurnian biogas skala *pilot plant* berdasarkan kondisi optimum yang diperoleh dari penelitian skala laboratorium.

Teknologi penghilangan kandungan CO_2 melibatkan teknik adsorpsi sederhana yang melibatkan proses pertukaran ion. Persiapan penggunaan resin dan regenerasi resin setelah jenuh dapat dengan mudah dilakukan dengan cara pencucian menggunakan NaCl 2%. Resin jenuh diartikan bahwa kemampuan penjerapan CO_2 yang dimiliki telah berkurang hingga 60%. Kondisi resin yang jenuh diindikasikan dengan perubahan pH pada sistem yang dipantau dari alat kontrol pH di kolom adsorpsi. Pada saat awal digunakan, resin dan air mempunyai pH 7. Apabila telah jenuh, maka resin dan air akan menunjukkan pH yang sangat asam disekitar 3. Setelah resin jenuh dilakukan proses regenerasi untuk mengembalikan unjuk kerja resin.

Desain alat pemurnian biogas ini digunakan pada sumber-sumber biogas terutama di pedesaan atau kelompok-kelompok ternak dengan skala kecil hingga sedang. Permintaan terhadap penggunaan alat pemurnian ini telah dilayangkan oleh kelompok ternak sapi perah binaan PT. Ultrajaya di Cikole, Kab. Bandung yang mempunyai beberapa reaktor kecil dengan kapasitas 6 m^3 , kelompok ternak sapi potong binaan Jurusan Teknik

Teknik Kimia UGM di Kuwaru, Bantul, Yogyakarta dengan kapasitas reaktor biogas 55 m³ serta kelompok sapi perah binaan PT. Toyota di daerah Tulung Agung Jawa Timur dengan kapasitas reaktor biogas yang sudah beroperasi 33 m³. Dari hasil percobaan skala Laboratorium tersebut telah dihasilkan suatu desain alat yang dapat diaplikasikan seperti Gambar 5 dan Gambar 6.

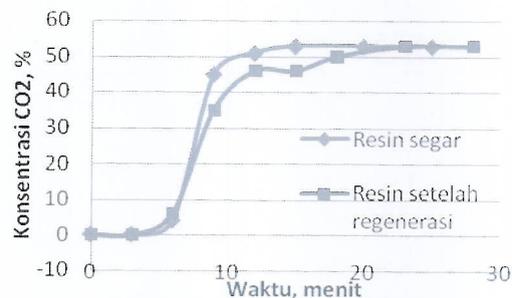
Gambar 5 adalah kolom adsorber satu kolom yang cocok digunakan untuk kapasitas produksi biogas dibawah 30 m³. Untuk proses produksi biogas diatas 30 m³ dapat digunakan proses menggunakan dua kolom seperti pada Gambar 6. Desain alat yang dilakukan juga mempertimbangkan kemudahan transportasi. Bahan yang digunakan untuk pembuatan adsorber ini adalah jenis logam *stainless steel* 304. Bahan tersebut dipilih karena tahan terhadap korosi dan ringan sehingga alat tersebut dapat dipindahkan dengan mudah apabila dibutuhkan untuk aplikasi di lokasi yang berbeda.

Teknologi penghilangan kandungan CO₂ di dalam biogas mengacu pada proses-proses yang digunakan di industri minyak bumi dan gas. Secara umum proses absorpsi kimia menggunakan larutan absorben dari jenis alkali kuat yang masih mahal. Proses *pressure swing* adsorpsi menggunakan kondisi operasi tekanan yang masih sangat tinggi, demikian juga dengan sistem kriogenik yang membutuhkan suhu sangat rendah. Pada US Patent No. 8.182.576 B2 tanggal 22 Mei 2012 oleh Roe, dkk., yang masih berjudul "Apparatus and Method for Biogas Purification" terdapat pembaharuan berupa desain alat dan mesin-mesinnya namun masih menggunakan proses yang sama, yaitu scrubbing CO₂ menggunakan air yang dijalankan pada tekanan tinggi.

Pada penelitian ini, yang digunakan adalah proses adsorpsi yang melibatkan pertukaran ion. Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan adsorben dalam proses adsorpsi diantaranya ketersediaan bahan baku, harga bahan baku,

kemampuan diregenerasi, dampak terhadap lingkungan, dan kondisi operasi. Dari evaluasi penelitian ini, penggunaan adsorben resin penukar anion basa kuat cocok untuk aplikasi dalam skala kecil di Indonesia. Hal ini dikarenakan harga bahan baku relatif murah, tersedia secara komersial dengan berbagai merek dagang, dioperasikan dengan suhu kamar dan tekanan rendah, serta umur pakai relatif lama karena dapat diregenerasi. Bahan regeneran yang digunakan saat ini masih menggunakan NaOH 2%, namun penelitian untuk mensubstitusi NaOH sedang dilakukan. Penelitian yang dilakukan antara lain menggunakan bahan regeneran alami seperti air kencing sapi.

Percobaan untuk mengetahui unjuk kerja dari alat yang telah dibuat dilakukan dengan kondisi operasi sama seperti pada saat perancangan. Unjuk kerja alat dilakukan dengan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 7. Gambar 7 merupakan hasil grafik yang sesuai dengan Persamaan (1). Pada Gambar 7 terlihat bahwa nilai konsentrasi CO₂ (C_{AG}) merupakan fungsi waktu (t).



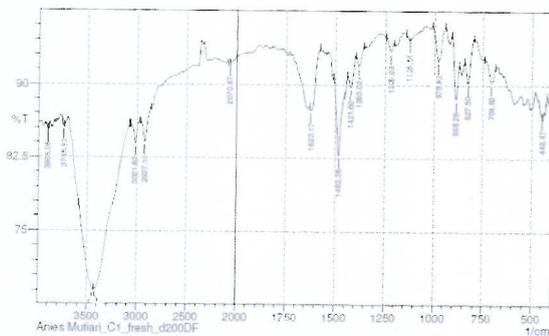
Gambar 7. Grafik Unjuk Kerja Alat

Gambar 7 menunjukkan bahwa dengan laju alir gas 0,8 L/menit, konsentrasi CO₂ dapat dihilangkan hingga 100% dalam waktu 10 menit. Data percobaan resin yang baru digunakan dan resin yang telah diregenerasi mempunyai unjuk kerja yang mirip dengan resin yang baru. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi CO₂ menggunakan resin penukar anion basa kuat dapat dilakukan dengan menghasilkan % penghilangan CO₂ 100%. Unjuk kerja dari resin yang telah

jenuh kemudian diregenerasi juga menunjukkan hasil yang sama dengan unjuk kerja resin yang baru.

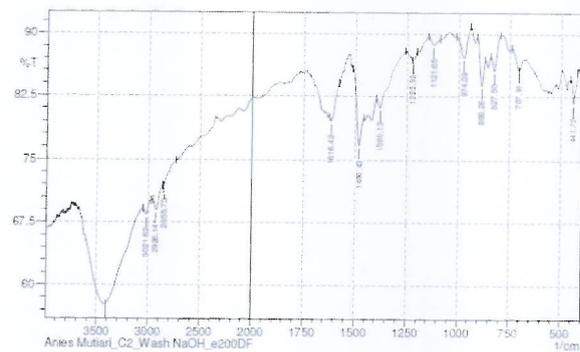
Untuk mengetahui adanya gugus bikarbonat teradsorpsi pada badan resin dan gugus Cl yang tertukar, dilakukan pengujian dengan spektrofotometer FTIR. Berdasarkan spektrumnya dapat diketahui adanya gugus-gugus yang menjadi ciri khas dari suatu gugus fungsi tertentu. Vibrasi internal suatu gugus fungsi merupakan puncak serapan yang ada pada setiap senyawa yang berbeda nilainya untuk setiap gugus fungsi (Hardjono, 1999). Spektra dari *strong base anion exchange* resin sebelum dan sesudah proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.

Bahan isian yang digunakan dalam kolom adsorber adalah resin berjenis penukar anion basa kuat. Hasil unjuk kerja dilakukan untuk kinerja resin sebelum dan sesudah diregenerasi. Pada resin segar yang digunakan, terlihat bahwa resin akan jenuh pada waktu 15 menit. Sementara untuk resin yang telah diregenerasi juga menunjukkan hasil yang sama. Hal tersebut menunjukkan bahwa unjuk kerja resin yang digunakan tetap sama meskipun telah di



Gambar 8. Hasil FTIR untuk Resin Segar

Gambar 8 menunjukkan hasil FTIR untuk resin segar yang digunakan. Gambar 8 menunjukkan bahwa pada resin baru terdapat vibrasi internal pada panjang gelombang 3400 1/cm yang menunjukkan terdapat gugus fungsi OH. Vibrasi internal juga terlihat pada panjang gelombang 450 1/cm yang menunjukkan terdapat gugus fungsi C-Cl



Gambar 9. Hasil FTIR untuk Resin setelah Regenerasi

Gambar 9 menunjukkan hasil FTIR untuk resin setelah diregenerasi. Gambar 9 menunjukkan bahwa vibrasi internal pada panjang gelombang disekitar 3200-3500 1/cm untuk gugus fungsi OH masih terlihat. Namun pada panjang gelombang 400 – 750 1/cm terjadi perubahan vibrasi internal sehingga tidak terlihat lagi adanya gugus Cl. Dari hasil tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa ikatan OH yang terdapat pada gugus fungsi resin tidak mengalami perubahan. Sementara untuk ikatan Cl pada panjang gelombang 450 – 700 1/cm, terdapat perbedaan puncak absorpsi dari kondisi resin baru terhadap resin jenuh. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan persamaan (1) untuk menggambarkan reaksi pertukaran ion yang terjadi.

Keuntungan ekonomi merupakan tujuan utama dari suatu proses kimia. Analisis ekonomi atas suatu proses kimia mutlak dilakukan untuk menguji kelayakan proses secara ekonomis. Perlu pengetahuan dasar komponen-komponen biaya dan analisis kelayakan ekonomi suatu proses kimia.

Sebagai energi yang terbarukan, biogas mempunyai nilai ekonomi yang tidak kalah dibandingkan listrik maupun gas elpiji. Energi yang dihasilkan dari 1m³ gas metana setara dengan 4700-6000 kkal atau sekitar 60 KWh listrik. Gas metana 6m³ dapat menghasilkan gas setara 2,88 kilogram elpiji (Wahyuni, 2010). Dari sisi feasibilitas, Murphy dan Power (2006)

melaporkan bahwa total energi yang dihasilkan dari produksi biogas lebih tinggi sekitar 17 % dibandingkan dengan produksi etanol dengan biaya 76 % dari produksi etanol dengan bahan yang sama.

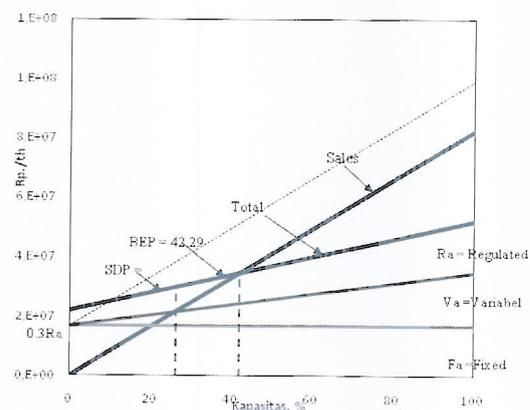
Analisis ekonomi yang dilakukan berdasarkan data lapangan dan beberapa asumsi teknis. Perhitungan dilakukan untuk reaktor biogas yang sudah beroperasi secara kontinyu dengan kapasitas produksi biogas 100m³ per hari. Kapasitas produksi tersebut dapat dicapai dengan kapasitas umpan kotoran sapi kurang lebih 200 m³ per hari. Harga jual biogas diambil dengan harga dibawah tarif daftar listrik dan harga gas elpiji bersubsidi. Hasil analisis ekonomi dapat dilihat pada Tabel 1.

Parameter-parameter analisis ekonomi diperhitungkan dengan asumsi umur alat proses 10 tahun beroperasi. Secara umum proses ini layak untuk dijalankan. Hal ini bisa terlihat dari nilai ROI 24,91% dimana menurut Aries dan Newton (1954), pabrik yang berisiko rendah nilai ROI nya harus lebih besar dari 10%. Modal yang ditanamkan dapat kembali dalam waktu produksi 2,86 tahun. Nilai POT 2,86 tahun ini menurut Aries dan Newton (1954) masih menarik karena kriteria untuk pabrik berisiko rendah adalah kurang dari 5 tahun. Nilai DCFRR yang terhitung juga tinggi. Nilai DCFRR dibandingkan dengan nilai investasi di bank yang diambil di kisaran 16% sehingga proses ini menarik untuk dijadikan investasi. Selanjutnya BEP akan dicapai pada kapasitas produksi 42,29% dimana menurut Aries dan Newton (1954) masih menarik dengan kisaran BEP 30-60%. SDP dicapai pada kapasitas 26,5%. Hal ini dimaksudkan apabila proses berjalan pada kapasitas tersebut, produksi harus dihentikan karena akan mengakibatkan kerugian. Menurut Aries dan Newton (1954) tidak ada kisaran yang pasti untuk menunjukkan kriteria nilai SDP. Sehingga secara umum, berdasarkan beberapa parameter tersebut maka proses ini layak dijalankan secara

ekonomi. Gambar 10 menunjukkan hasil analisis ekonomi dalam bentuk grafik.

Tabel 1. Hasil Analisis Ekonomi

Uraian	Harga (Rp)	Parameter
A. Penjualan		
1. Kapasitas/tahun, 36500 m ³		
2. Harga Jual, Rp 2000/m ³	73.000.000	
B. Investasi		
1. Modal Tetap	106.758.650	
2. Modal Kerja	12.464.038	
C. Parameter		
1. ROI, <i>Return on Investment</i>		24,91%
2. POT, <i>Pay Out Time</i>		2,86 tahun
3. DCFRR, <i>Discounted Cash Flow Rate of Return</i>		31,12%
4. BEP, <i>Break Event Point</i>		42,29%
5. SDP, <i>Shut Down Point</i>		26,50%



Gambar 10. Grafik Analisa Ekonomi

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pembuatan alat pemurnian biogas skala pilot plant telah dapat dilakukan menggunakan data-data dari penelitian

skala laboratorium yang telah dilakukan sebelumnya. Desain alat dengan kapasitas 75 Liter mampu untuk beroperasi selama 1 bulan sebelum diregenerasi untuk digunakan kembali. Dimensi alat yang diperoleh dari hasil perhitungan yaitu, tinggi 1350 mm dan diameter 254 mm. Analisa ekonomi yang dilakukan menunjukkan bahwa proses pemurnian tersebut merupakan proses yang layak untuk digunakan dengan ROI 24,91%, POT 2,86 tahun, DCFRR 31,12%, BEP 42,29% dan SDP 26,50%.

Saran

Uji coba di reaktor biogas yang telah beroperasi secara kontinyu diperlukan untuk menguji unjuk kerja dari alat tersebut. Proses regenerasi yang lebih efektif dari resin yang digunakan juga perlu untuk dilakukan penelitian lanjutan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kegiatan penelitian ini dilakukan menggunakan dana dari DIPA Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T) Tahun 2012.

DAFTAR PUSTAKA

- Aries R.S. and Newton R.D., 1954. *Chemical Engineering Cost Estimation*. John Wiley and sons, Inc.. New York.
- Dubois, L. and Thomas, D., 2010. Comparison of Various Alkaline Solutions for H₂S/CO₂ -Selective Absorption Applied to Biogas Purification. *Chem. Eng. Technol*, 33, (10), pp.1601–1609.
- Gunther, L., 2012. Method and Device for Separating Methane and Carbon Dioxide From Biogas, US Patent No. US 8.231.706 B2.
- Hullu J., et all, 2008, Comparing Different Biogas Upgrading Techniques Interim Report, Eindhoven University of Technology.
- Levenspiel, O., 1999. *Chemical Reaction Engineering* 3rd ed.. New York: John Wiley & Sons.
- Murphy, J.D., Power, N.M., 2006. A Technical, Economic and Environmental Comparison of Composting and Anaerobic Digestion of Biodegradable Municipal Waste, *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 41(5) 865- 879.
- Mutiari, A., Wiratni and Mindaryani, A., 2012. Enhancing CO₂ Adsorption Using Strong Base Anion Exchange Resin. In : *Proceeding Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE) 19th*, pp.1–6.
- Mutiari, A., 2012. Kesetimbangan dan Proses Kecepatan Pada Mekanisme Penjerapan Gas CO₂ Menggunakan Strong Base Anion Exchange Resin Untuk Pemurnian Biogas. Naskah Tesis. Magister Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Perry, R.H. and Green, D., 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook* 7th ed., New York: McGraw Hill Book Company, Inc.
- Roe, et.all., 2012, Apparatus and Method for Biogas Purification, US Patent No. 8.182.576 B2.
- Tippayawong, N. and Thanompongchart, P., 2010, Biogas Quality Upgrade by Simultaneous removals CO₂ and H₂S in a Packed Column Reactor, *Energy xxx* (1-5).
- Wahyuni, Sri, 2010. *Biogas*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Wheaton, R.M., Lefevre, L.J., 2009. *Dow Liquid Separations: DOWEX Ion Exchange Resins*. Fundamentals of Ion Exchange, The Dow Chemical USA.
- Wiratni, dkk., 2010. Peningkatan Konsentrasi Metana dalam Biogas sebagai Optimalisasi Pengemasan ke dalam Tabung. Laporan Riset Unggulan Strategis Nasional Universitas Gadjah Mada (RUSNAS UGM) untuk Penguatan Industri Nasional. Yogyakarta.