

PENGARUH PEMANASAN MEMBRAN, PERBEDAAN TEKANAN DAN WAKTU PERMEASI PADA PEMISAHAN CO₂/CH₄ UNTUK PEMURNIAN BIOGAS MENGGUNAKAN MEMBRAN POLYIMIDE DAN MEMBRAN CAMPURAN POLYIMIDE-ZEOLIT

Novembri Cucu Sektiani Agustin (L2C308027) dan Oki Putri Sakti (L2C308029)

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058
Pembimbing: Ir. Hantoro Satriadi, M.T.

Abstrak

Biogas dapat dimanfaatkan untuk mengatasi krisis energi. Sebagai biofuel, biogas memiliki kandungan utama berupa gas metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂). Adanya CO₂ dalam biogas dapat menurunkan nilai kalor pembakaran. Peningkatan efisiensi CH₄ dilakukan dengan pemisahan gas CO₂/CH₄ menggunakan membran polyimide (PI-20%) dan membran campuran polyimide-zeolit (PI-Z20%). Percobaan dilakukan dalam permeation cell sistem dead end. Variabel yang digunakan berupa suhu pemanasan membran 180°C dan 200°C; waktu pemanasan membran 1, 2 dan 3 menit; perbedaan tekanan 0,5-2 atm dan waktu permeasi 60 menit selama 3 kali. Hasil percobaan menunjukkan bahwa membran PI-Z20% coated memiliki kinerja transportasi gas yang lebih baik dibandingkan membran PI-20% coated. Permeabilitas gas dan selektivitas CO₂/CH₄ pada membran PI-20% yaitu 33,52330GPU dan 1,101 (pemanasan membran 200°C selama 2 menit). Sedangkan pada kondisi yang sama, permeabilitas gas dan selektivitas CO₂/CH₄ membran PI-Z20% yaitu 133,10688GPU dan 1,115. Semakin tinggi suhu pemanasan dan beda tekanan pada membran PI-20% coated mengakibatkan permeabilitas gas semakin tinggi dan selektivitas CO₂/CH₄ rendah. Membran PI-20% tanpa pemanasan memiliki tendensi terjadinya fenomena tekanan plastisisasi oleh CO₂ dan adanya pemanasan membran serta bahan campuran (PI-Z20%) dapat mengurangi tendensi tersebut.

Kata kunci : biogas, pemanasan, permeasi gas, plastisisasi, polyimide-zeolit

Abstract

Biogas can be made use to overcome energy crisis. As biofuel, biogas has methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) with concentration big enough. Existence of CO₂ in biogas can demote on value of combustion heat. Efficiency of CO₄ improved with CO₂/CH₄ gas separation use polyimide membrane (PI-20%) and polyimide-zeolite mixed matrix membrane (PI-Z20%). This experiment is done in permeation cell and dead end system. Variables that used such as membrane heating temperature of 180°C and 200°C; membrane heating time 1, 2 and 3minutes; pressure difference of 0.5-2atm and permeation time of 60minutes during 3 times. In result, PI-Z20%coated membrane has performance better than PI-20%coated membrane. Gas permeability and CO₂/CH₄ selectivity in PI-20%coated membrane are 33.52330GPU and 1.101 (membrane heating of 200°C during 2minute). While in same condition, gas permeability and CO₂/CH₄ selectivity in PI-Z20%coated membrane are 133.10688GPU and 1.115. In PI-20%coated membrane are gas permeability increased and CO₂/CH₄ selectivity decreased with more increasing of heating temperature and pressure. PI-20%coated membrane has tendency happening of plasticization pressure by CO₂ and existence of membrane heating and mixed material (PI-Z20%) can demote tendency it.

Keyword: biogas, gas permeation, heating, plasticization, polyimide-zeolite

1. Pendahuluan

Biogas dihasilkan dari proses fermentasi biomassa dengan bantuan mikroorganisme, yang dapat dijadikan sebagai bioenergi alternatif. Kandungan utama biogas yang berfungsi sebagai *biofuel* adalah gas CH₄. Hasil fermentasi menunjukkan konsentrasi gas CH₄ sebesar 50–75% dan gas CO₂ sebesar 25–50%. Gas CO₂ dalam reaksi pembakaran memiliki karakteristik dapat menurunkan nilai kalor pembakaran (<http://en.wikipedia.org>, 2009). Kendala dalam mengaplikasikan biogas sebagai *biofuel* yaitu tingginya kandungan gas CO₂ sehingga diperlukan proses pemurnian. Keberhasilan proses pemurnian biogas menggunakan membran tergantung pada kinerja

transportasi gas yang berupa permeabilitas dan selektivitas. Kinerja transportasi gas sangat tergantung pada beberapa faktor, antara lain karakteristik membran, kondisi operasi, kelarutan gas-gas dan difusifitas pada membran. Karakteristik membran dipengaruhi oleh jenis material, ukuran *glass transition temperature* (T_g), resistensi terhadap gas yang akan dipisahkan dan resistensi terhadap suhu. Sedangkan kondisi operasi dipengaruhi oleh beda tekanan, luas permukaan membran dan laju alir volumetrik *permeate*. Faktor penting lainnya, terutama pada membran polimer yaitu kelarutan gas dan difusifitas.

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari bagaimana pengaruh suhu pemanasan, waktu pemanasan pada membran, pengaruh perbedaan tekanan dan waktu permeasi terhadap permeabilitas gas dan selektivitas CO_2/CH_4 . Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan nilai guna biogas sebagai energi alternatif.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Penetapan Variabel

Variabel tetap berupa suhu operasi, laju alir umpan, jenis umpan, mode operasi dan sistem operasi. Sedangkan variabel bebas ditunjukkan pada Tabel 1. Variabel terikat berupa permeabilitas (P/L) dan selektivitas (α) CO_2/CH_4 .

Tabel 1. Variabel yang divariasikan

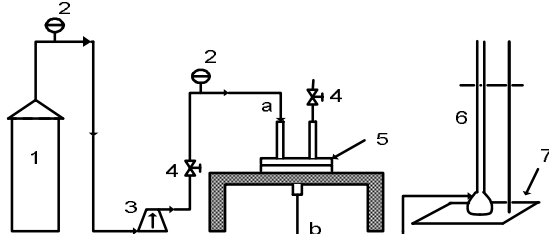
Variabel	Satuan	Kuantitas			
		PI-20%	PI-Z-20%		
Jenis Membran (M)					
Suhu Pemanasan Membran (T)	$^{\circ}\text{C}$	0	150	200	
Waktu Pemanasan Membran (t)	menit	0	1	2	3
Tekanan (P)	cmHg	38	76	114	152
Waktu Permeasi (t_{op})	menit	0	3	dst	60

Analisa Data

Data – data yang diperoleh akan diolah dengan metode tabulasi dan dibuat grafik kemudian dilakukan analisa.

Alat dan Bahan

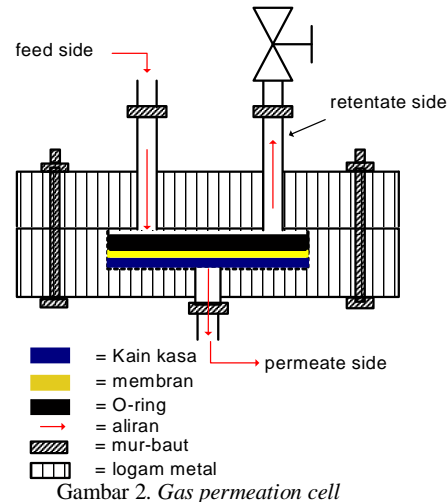
Alat yang digunakan berupa tabung penampung umpan biogas, tabung sampel gas, GC (*Gas Chromatography*), SEM (*Scanning Elektron Microscope*), *permeation cell*, *bubble soap flow meter*, membran PI 20% dan membran PI-Z 20%, stopwatch, oven dan rangkaian alat permeasi gas (Gambar 1.). Bahan yang digunakan adalah biogas.



Keterangan :

1. Tabung biogas umpan
2. *Pressure Gauge* (meter / penunjuk tekanan)
3. Kompresor
4. *Valve* (bukaan kran)
5. *Gas Permeation Cell*
6. *Bubble Soap Flow Meter* (alat ukur laju alir gas)
7. Klem dan statif
- a. Aliran umpan (*feed side*)
- b. Aliran hasil permeasi (*permeate side*)

Gambar 1. Rangkaian alat permeasi biogas untuk pengukuran permeabilitas gas



Gambar 2. *Gas permeation cell*

Prosedur Penelitian

Analisa Komposisi Biogas Sebagai Umpan

Biogas dalam tabung umpan ditampung ke dalam tabung sampel. Selanjutnya, dilakukan analisa komposisi gas menggunakan GC. Analisa dilakukan dengan cara menyedot sampel gas dalam tabung sampel ke dalam tabung *gigenbach*. Kemudian tabung *gigenbach* dihubungkan dengan alat GC.

Analisa Karakteristik Morfologi Membran

Analisa karakteristik morfologi membran dilakukan dengan menggunakan alat SEM.

Pengukuran Permeabilitas Gas

Sebelum melakukan permeasi gas, membran terlebih dahulu dipanaskan sesuai dengan variabel yang suhu dan waktu pemanasan yang divariasikan. Selanjutnya, merangkai alat sesuai dengan Gambar 1 dan 2. Membran yang

akan diuji, diletakkan pada bagian dalam *gas permeation cell* yaitu diletakkan di antara kain kasa dan o-ring. Selanjutnya, kompresor dihidupkan dan valve tabung umpan dibuka dengan bukaan tertentu. Selanjutnya, valve menuju *feed side* diatur supaya mendapatkan perbedaan tekanan sesuai variabel yang divariasikan. Aliran umpan akan mengalir menuju ke bagian atas *gas permeation cell* pada sisi *feed side* dan permeate akan keluar dari bagian bawah *gas permeation cell* pada sisi *permeate side* menuju *bubble soap flow meter*. Setelah proses permeasi berjalan stabil ($\pm 1-2$ menit), maka dilakukan pengukuran kecepatan permeasi gas dengan menggunakan *bubble soap flow meter* dan stopwatch. Kecepatan permeasi gas ditentukan dengan mengukur volume *permeate* dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai volume tersebut. Selanjutnya, permeabilitas gas pada *permeate side* dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$(P/L) = \frac{Q_P}{A_m \cdot \Delta P} = \frac{Q_P}{\frac{1}{4} \pi D^2 \cdot \Delta P} \quad (1)$$

Dimana, (P/L) = permeabilitas gas (1 GPU = 1×10^{-6} cm³ (STP)/(cm² s cmHg); Q_P adalah laju alir volumetric *permeate* (cm³/sec); A_m adalah luas permukaan efektif membran (cm²); ΔP adalah perbedaan tekanan antara *feed side* dan *permeate side* (cmHg); D adalah diameter membran (cm).

Analisa Komposisi Gas Hasil Permeasi

Dari berbagai percobaan diperoleh harga permeabilitas gas. Selanjutnya, data tersebut dijadikan dasar untuk menentukan variabel mana yang dapat digunakan untuk melakukan tahap analisa komposisi gas hasil permeasi. Prinsip kerja pada tahap ini hampir sama dengan tahap sebelumnya. Perbedaannya yaitu bahwa pada tahap ini, gas hasil permeasi ditampung ke dalam tabung sampel dan selanjutnya akan dianalisa komposisi gas hasil permeasi dengan alat GC. Hasil analisa tersebut digunakan untuk menentukan selektivitas yang dihitung dengan persamaan :

$$\alpha_{CO_2/CH_4} = \frac{y_{CO_2} / x_{CH_4}}{x_{CO_2} / x_{CH_4}} \quad (2)$$

dimana, x dan y merupakan fraksi mol umpan dan permeate

3. Hasil dan Pembahasan

Permeasi gas dilakukan pada umpan biogas yang mengandung sebagian besar gas CO₂ dan CH₄ sehingga pada *permeate side* juga mengandung gas CO₂ dan CH₄. Percobaan menggunakan sistem operasi *dead end mode* operasi *single stage*, ΔP 2 atm dan suhu kamar. Dalam 1 kali proses dilakukan proses permeasi gas selama 1 jam.

Tabel 2. Harga permeabilitas gas dan selektivitas membran

No	Jenis Membran	Komposisi umpan (%) mol)	Komposisi <i>permeate</i> (%) mol)	Permeabilitas (P/L) (GPU)	selektivitas (α)
1.	PI-20% coated (tanpa pemanasan)	CO ₂ = 16,00 CH ₄ = 58,26	CO ₂ = 13,97 CH ₄ = 46,55	5,59839	1,093
2.	PI-20 % coated (pemanasan 200°C)	CO ₂ = 16,00 CH ₄ = 58,26	CO ₂ = 0,39 CH ₄ = 1,29	33,52330	1,101
3.	PI-Z 20 % coated (pemanasan 200°C)	CO ₂ = 19,71 CH ₄ = 73,20	CO ₂ = 13,98 CH ₄ = 46,58	133,10688	1,115

*) hasil analisa GC BPPTK, 2010

Tabel 2. menunjukkan bahwa membran berbahan dasar polyimide mampu memisahkan gas CO₂ dan gas CH₄ dalam biogas karena harga permeabilitas gas dan selektivitas membran lebih dari 1. Pada pemisahan gas CO₂/CH₄, biasanya gas CO₂ lebih permeabel dibandingkan dengan gas CH₄. Sifat kurang *permeable* dikarenakan gas CH₄ merupakan senyawa nonpolar dan membran polimer bersifat lebih permeabel terhadap senyawa polar.

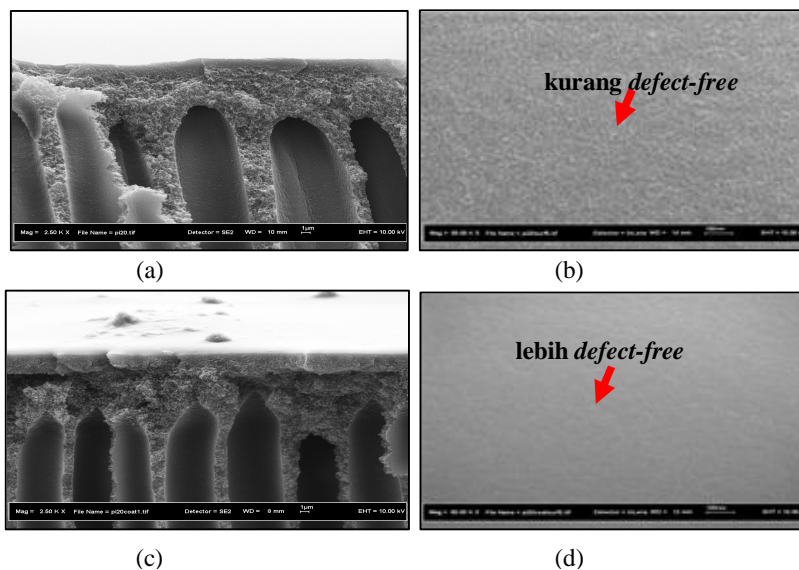
Morfologi Membran

Asymmetric Polyimide Membrane (PI-20%)

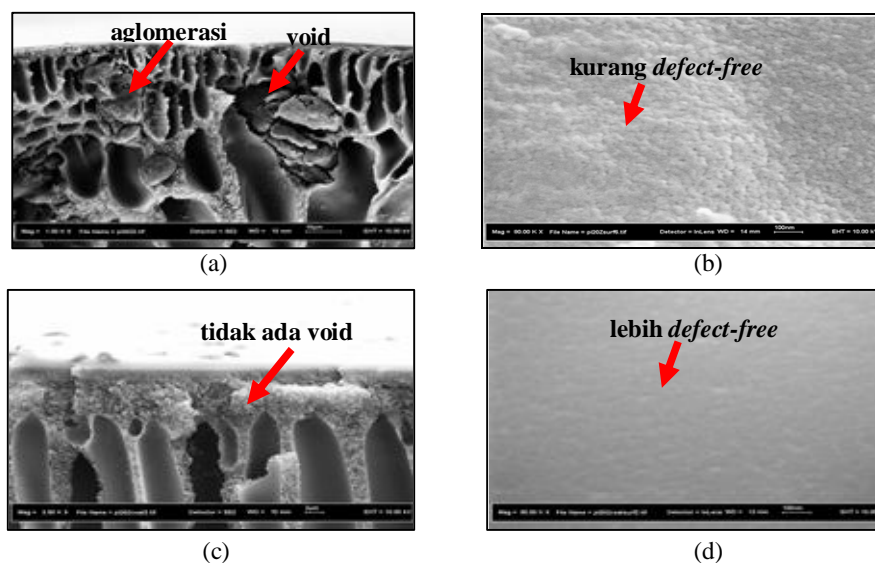
Gambar 3. menunjukkan bahwa membran PI-20% adalah asimetrik yang terdiri dari lapisan aktif dan lapisan *porous substructure*. Pada Gambar 3. (b) terlihat memiliki penampang permukaan membran yang tidak *defect-free*. Hal ini berbeda dengan Gambar 3. (d) yang memiliki penampang permukaan *defect-free*. Selain itu, Gambar 3. (a) dan (b) terlihat bahwa membran tanpa coating dan dengan coating, sama-sama memiliki lapisan aktif berupa *dense skin* dan tidak terdapat pori /*defect* sehingga kemungkinan mekanisme pemisahan gas yang terjadi adalah dominan *solution diffusion*. Membran PI-20% yang dilapisi dengan *silicon rubber* memiliki permukaan luar yang lebih dense dibandingkan dengan membran yang tidak dilapisi *silicon rubber*. Fungsi *silicon rubber* sebagai pelapis adalah hanya untuk memperkecil ukuran pori pada lapisan permukaan membran sehingga membran menjadi lebih dense.

Polyimide-Zeolite Mixed Matrix Membrane (MMM) (PI-Z 20%)

Gambar 4 menunjukkan bahwa membran PI-Z 20% juga memiliki struktur asimetrik seperti *asymmetric polyimide membrane*. Pada Gambar 4. (a) dan (b) terlihat terdapat void dan terjadi pula aglomerasi. Menurut



Gambar 3. Struktur morfologi PI-20% : (a) penampang melintang (tanpa coating); (b) penampang permukaan luar membran (tanpa coating); (c) penampang melintang (dengan coating *silicon rubber*); (d) penampang permukaan luar membran (dengan coating *silicon rubber*)



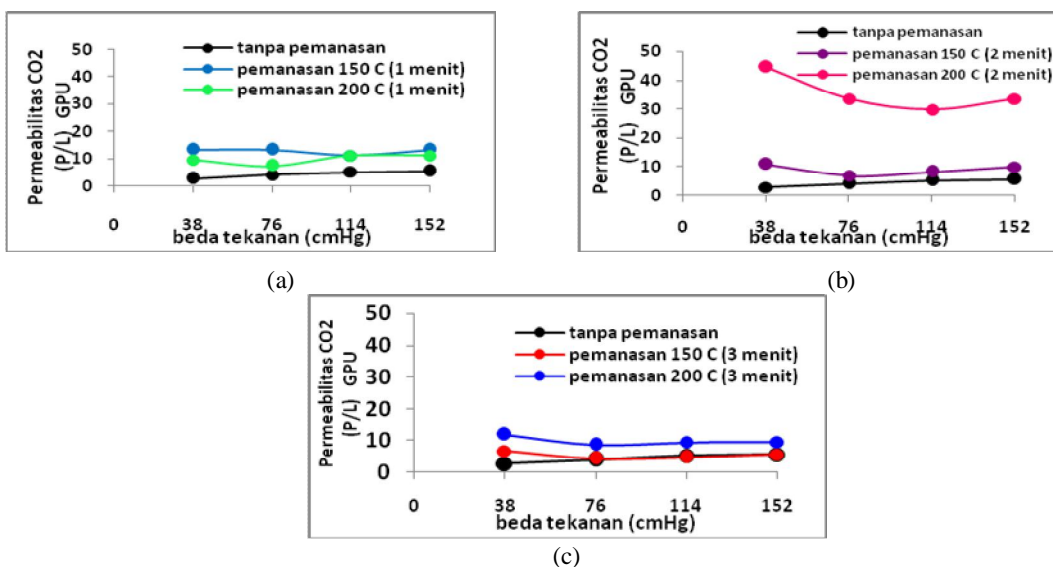
Gambar 4. Struktur morfologi membran PI-Z 20% : (a) penampang melintang (tanpa coating); (b) penampang permukaan luar membran (tanpa coating); (c) penampang melintang (dengan coating *silicon rubber*); (d) penampang permukaan luar membran (dengan coating *silicon rubber*)

Chung, *et al* (2007), terjadinya void dan aglomerasi adalah salah satu persoalan pada pembuatan MMM. Void terjadi karena perbedaan karakteristik dan densitas antara polyimide dan zeolit, sehingga pada saat kedua material ini dicampur dalam *dope solution* tidak menghasilkan larutan yang homogen. Menurut Li, *et al* (2005), void pada MMM dapat terjadi karena pada saat pembuatan membran, dilakukan proses pendinginan dengan metode pendinginan kejut sehingga rantai polimer menjadi tidak teratur karena pendinginan secara mendadak. Hal ini mengakibatkan *free volume* pada matrik polimer meningkat dan harga permeabilitas meningkat serta selektivitas menurun. Void pada MMM menyebabkan mekanisme pemisahan gas cenderung berjalan secara *knudsen diffusion* sehingga harga permeabilitas rendah dan selektivitas tinggi. Sedangkan pada Gambar 4. (c) dan (d) terlihat tidak terdapat void pada membran dan lapisan permukaan membran terlihat lebih *defect-free*. Adanya lapisan coating *rubber* dapat mengurangi mengurangi ukuran pori pada tersebut sehingga menjadi lebih *defect-free*.

Pengaruh Suhu Pemanasan Membran Terhadap Permeabilitas Gas *Asymmetric Polyimide Membrane (PI-20% coated)*

Membran PI-20% coated memiliki suhu Tg sebesar 319,5°C (Budiyono,2009). Apabila suhu polimer ditingkatkan maka pergerakan matrik polimer yang tadinya kaku akan meningkat sehingga rantai polimer mulai

menjadi lebih fleksibel (lentur) dan hasilnya *free-volume* akan meningkat (Omole, 2008).

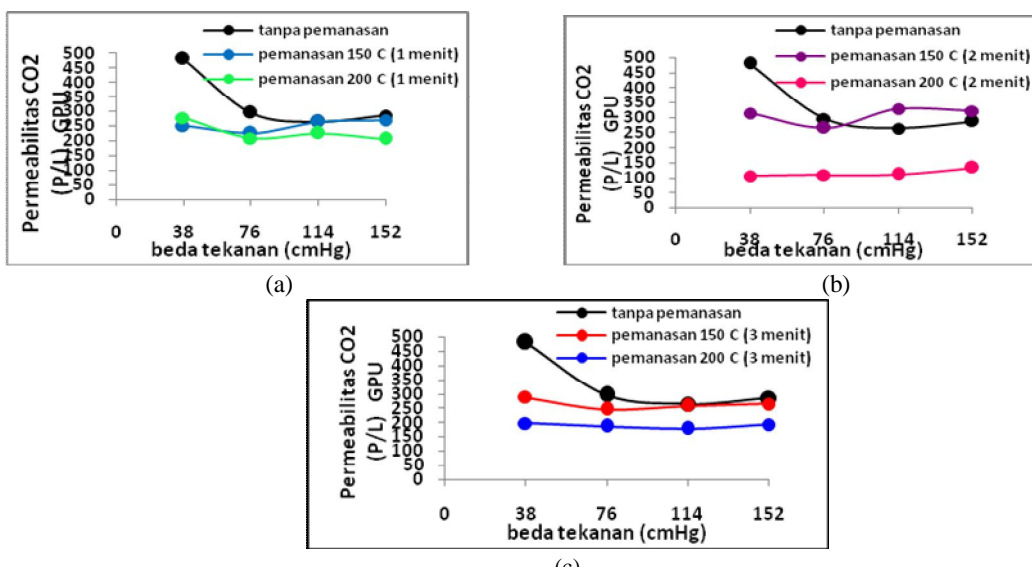


Gambar 5. Permeabilitas gas pada berbagai perlakuan suhu pemanasan sebagai fungsi tekanan pada membran PI-20% coated: (a) pemanasan 1 menit; (b) pemanasan 2 menit; (c) pemanasan 3 menit

Berdasarkan Gambar 5., menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pemanasan membran, maka permeabilitas gas semakin meningkat karena pergerakan matrik polimer yang tadinya kaku menjadi meningkat sehingga rantai polimer mulai menjadi lebih fleksibel dan *free-volume* akan meningkat. Dengan meningkatnya *free-volume* maka harga permeabilitas gas meningkat. Menurut Li, *et al* (2005) yaitu semakin tinggi *free-volume* dalam matrik polimer maka permeabilitas gas akan meningkat. Mekanisme terjadinya permeasi gas pada membran PI-20% adalah *solution diffusion* sehingga meningkatnya permeabilitas gas akibat tingginya suhu pemanasan.

Polyimide-Zeolite Mixed Matrix Membrane (MMM) (PI-Z 20% coated)

Membran PI-Z 20% merupakan campuran dari material organik (polyimide) 20% berat dan material anorganik (zeolit) 25% berat yang memiliki *glass transition temperature* (T_g) sebesar 321,7°C (Budiyono,2009). Berdasarkan



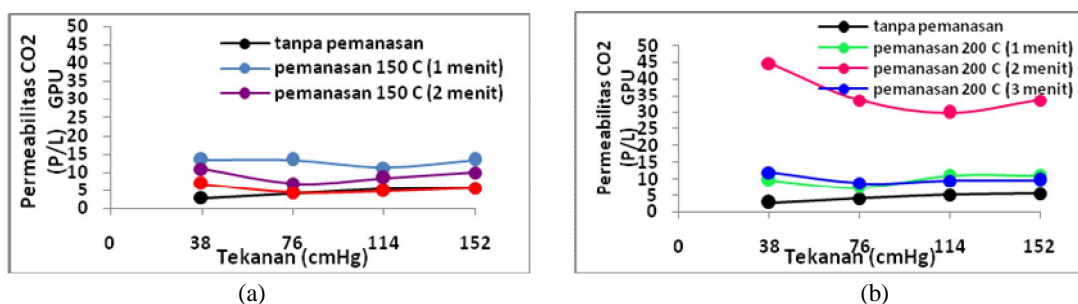
Gambar 6. Permeabilitas gas pada berbagai perlakuan suhu pemanasan sebagai fungsi tekanan pada membran PI-Z 20% coated : (a) pemanasan 1 menit; (b) pemanasan 2 menit; (c) pemanasan 3 menit

Gambar 6., menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pemanasan pada membran PI-Z 20% coated menyebabkan permeabilitas gas menurun. Pada Gambar 6.(c) menunjukkan permeabilitas gas pada $\Delta P = 2$ atm yaitu 286,47762 GPU (membran tanpa pemanasan), kemudian menurun menjadi 265,43212 GPU pada membran (pemanasan 150°C

selama 3 menit) dan mengalami penurunan lagi pada membran dengan pemanasan 200°C selama 3 menit (193,43117 GPU). Pemanasan pada membran menyebabkan kedua material membran semakin melekat sehingga void berkurang dan membran menjadi semakin *dense*. Mekanisme perpindahan gas pada membran MMM ada 3 yaitu *knudsen diffusion*, *solution diffusion* dan *molecular sieving*. Berkurangnya *interface* antara kedua material ini menyebabkan mekanisme *knudsen diffusion* menjadi kurang dominan sehingga permeabilitas gas menjadi menurun

Pengaruh Waktu Pemanasan Membran Terhadap Permeabilitas Gas *Asymmetric Polyimide Membrane (PI-20% coated)*

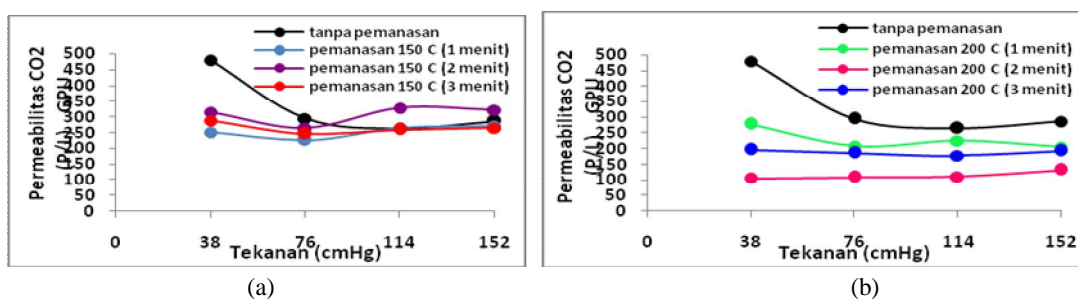
Pada permeasi gas CO₂/CH₄, variabel waktu pemanasan membran juga mempengaruhi tingkat permeabilitas gas dan selektivitas permeasi. Hasil percobaan pada Gambar 7. (a) menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemanasan membran menyebabkan permeabilitas gas menurun. Penyebab menurunnya permeabilitas yaitu karena semakin lama waktu pemanasan pada membran menyebabkan membran menjadi kaku (*rigid*) sehingga membran menjadi kurang fleksibel. Akan tetapi, hasil percobaan pada Gambar 7. (b) menunjukkan bahwa permeabilitas gas baru menurun ketika membran dipanaskan selama 3 menit. Sebelum dipanaskan selama 3 menit, permeabilitas gas cenderung meningkat tajam dari pemanasan selama 1 menit sampai 2 menit. Hal ini menunjukkan bahwa pada pemanasan 200°C selama 0 – 2 menit, rantai polimer membran PI-20% belum mengalami kekakuan (*rigidification*). Pada pemanasan 200°C, membran ini menjadi kaku (*rigid*) setelah pemanasan selama lebih dari 2 menit.



Gambar 7. Permeabilitas gas pada berbagai perlakuan suhu pemanasan sebagai fungsi tekanan pada membran PI-20% coated : (a) pemanasan 150°C; (b) pemanasan 200°C

Polyimide-Zeolite Mixed Matrix Membrane (MMM) (PI-Z 20% coated)

Gambar 8.(a) menunjukkan bahwa, permeabilitas gas meningkat dari waktu pemanasan 1 menit ke 2 menit dan kemudian permeabilitas gas menurun dari waktu pemanasan 2 menit ke 3 menit. Sedangkan pada Gambar 8.(b) menunjukkan bahwa, permeabilitas gas menurun dari waktu pemanasan 1 menit ke 2 menit dan kemudian permeabilitas gas meningkat dari waktu pemanasan 2 menit ke 3 menit. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh yang berbeda antara suhu dan waktu pemanasan membran terhadap permeabilitas gas. Pada pemanasan 150°C, hubungan antara waktu pemanasan terhadap permeabilitas gas yaitu berupa kurva yang memiliki nilai maksimum pada waktu pemanasan 2 menit. Sedangkan pada pemanasan 200°C, hubungan antara waktu pemanasan terhadap permeabilitas gas yaitu berupa kurva yang memiliki nilai minimum pada waktu pemanasan 2 menit.



Gambar 8. Permeabilitas gas pada berbagai perlakuan suhu pemanasan sebagai fungsi tekanan pada membran PI-Z 20% coated : (a) pemanasan 150°C; (b) pemanasan 200°C

Pengaruh Beda Tekanan Terhadap Permeabilitas Gas *Asymmetric Polyimide Membrane (PI-20% coated)*

Berdasarkan Gambar 5. menunjukkan bahwa semakin tinggi ΔP , permeabilitas gas semakin meningkat. Membran PI-20% coated memiliki kecenderungan terjadi plastisasi oleh adanya gas CO₂. Pada pemisahan CO₂/CH₄ menggunakan membran polyimide, Matrimid 5218, gas CO₂ berperan sebagai plastisizer. Hal ini terlihat hubungan antara tekanan umpan terhadap permeabilitas gas, sehingga fenomena ini disebut *plasticization pressure* (tekanan plastisasi) (Bos, *et al*, 1999). Menurut Kapantaidakis, *et al* (2003), plastisasi oleh CO₂ pada permeasi

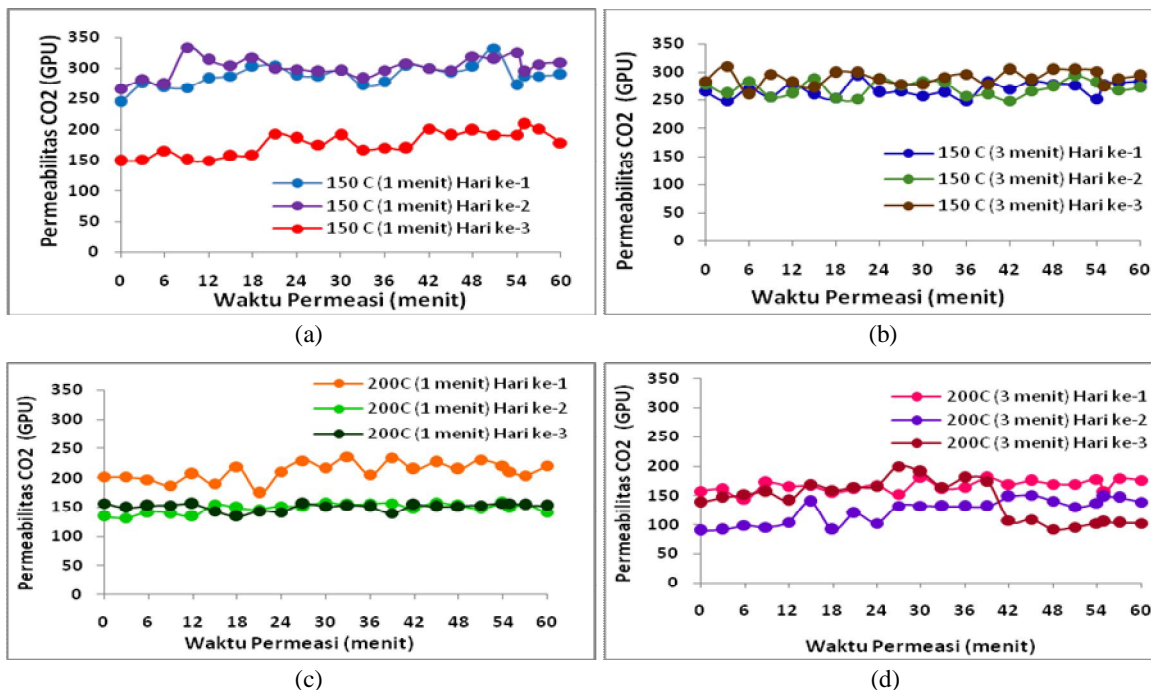
gas terjadi bila semakin tinggi tekanan umpan gas maka permeabilitas gas meningkat dan selektivitas menurun. Selain itu, Gambar 5. menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu dan waktu pemanasan maka permeabilitas gas meningkat dibandingkan dengan tanpa pemanasan. Selain itu, semakin tinggi ΔP maka permeabilitas gas lebih stabil. Hal ini menunjukkan *thermal treatment* dapat mengurangi terjadinya fenomena tekanan plastisasi sesuai dengan Bos, *et al* (1999), bahwa plastisasi oleh gas CO_2 dapat diminimalisasi dengan metode *thermal treatment*.

Polyimide-Zeolite Mixed Matrix Membrane (MMM) (PI-Z 20% coated)

Berdasarkan Gambar 6. menunjukkan bahwa membran PI-20% coated tidak memiliki kecenderungan terjadi plastisasi oleh adanya gas CO_2 . Hal ini sesuai dengan Bos, *et al* (2001), bahwa pada pemisahan gas murni maupun gas campuran, fenomena plastisasi oleh CO_2 dapat distabilkan dengan metode *blending* material polimer, misalnya *blending* antara polyimide matrimide-polysulfone (untuk gas murni) dan *blending* antara matrimide-copolyimide P84 (untuk gas campuran). Meskipun pada penelitian Bos, *et al* (2001) hanya membahas mengenai *blending* antar polimer, membran PI-Z 20% coated masih terdapat kemungkinan dapat mengurangi pengaruh plastisasi karena termasuk metode *blending*. Pada penelitian ini, metode *thermal treatment* juga dicobakan untuk mengetahui pengaruh tekanan terhadap permeabilitas gas karena membran PI-Z 20% coated tanpa pemanasan memiliki permeabilitas gas yang tidak stabil terhadap beda tekanan. Hasil percobaan menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu dan waktu pemanasan menyebabkan permeabilitas gas menurun dibandingkan dengan tanpa pemanasan.

Pengaruh Waktu Permeasi Terhadap Pemeabilitas Gas (PI-Z 20% coated)

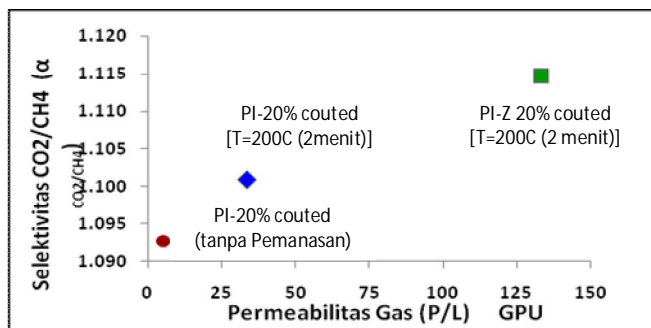
Gambar 9. (a) menunjukkan bahwa pada setiap proses (60 menit), permeabilitas gas cenderung stabil. Akan tetapi pada hari ke-3, harga permeabilitas gas lebih kecil dibandingkan hari sebelumnya. Pada Gambar 9. (b) menunjukkan bahwa permeabilitas gas juga cenderung stabil pada setiap proses (60 menit). Selain itu, harga permeabilitas hari ke-1 sampai hari ke-3 hampir sama (tidak terjadi perbedaan yang signifikan). Sedangkan pada Gambar 9. (c) menunjukkan pada setiap proses (60 menit), permeabilitas gas cenderung stabil. Akan tetapi pada hari ke-2 dan ke-3, harga permeabilitas gas lebih kecil dibandingkan hari sebelumnya. Pada Gambar 9. (d) menunjukkan bahwa permeabilitas gas juga cenderung stabil pada setiap proses (60 menit). Selain itu, harga permeabilitas hari ke-1 sampai hari ke-3 hampir sama. Hal ini menunjukkan pemanasan membran dapat mengurangi ketidakseimbangan rantai polimer terhadap waktu permeasi sesuai dengan oleh Cao, *et al* (2002), bahwa penurunan permeabilitas gas terhadap waktu pemeraman pada pemisahan CO_2/CH_4 menggunakan membran polyimide disebabkan karena semakin lama waktu, rantai polimer yang cenderung mengendur dan memadat dengan berjalannya waktu.



Gambar 9. Permeabilitas gas sebagai fungsi waktu permeasi pada membran PI-Z 20% coated : (a) pemanasan 150°C (1 menit); (b) pemanasan 150°C (3 menit); (c) pemanasan 200°C (3 menit); (d) pemanasan 200°C (3 menit)

Perbandingan Kinerja Transportasi Gas Pada Membran PI-Z 20% dan PI-20% coated

Tingkat keberhasilan proses permeasi biogas untuk memisahkan gas CO_2/CH_4 menggunakan 2 jenis membran dapat dilihat dari 2 aspek yaitu permeabilitas gas dan selektivitas membran. Gambar 10. menunjukkan bahwa permeabilitas gas dan selektivitas membran paling rendah yaitu 5,59839 GPU dan 1,093 terjadi pada membran PI-20% coated tanpa pemanasan. Sedangkan permeabilitas gas dan selektivitas membran paling tinggi yaitu 133,10688 GPU dan 1,115 terjadi pada membran PI-Z 20% coated suhu 200°C (2 menit).



Gambar 10. Perbandingan kinerja transportasi gas

Pada membran PI-20% coated terlihat bahwa permeabilitas gas dan selektivitas membran meningkat oleh karena pengaruh suhu dan waktu pemanasan yaitu dari permeabilitas 5,59839 GPU dan selektivitas 1,093 (tanpa pemanasan) menjadi 33,52330 GPU dan 1,101 ($T = 200^{\circ}\text{C}$ (2 menit)). Gambar 10. menunjukkan bahwa pada komposisi polyimide yang sama (yaitu 20%) dan perlakuan yang sama, adanya zeolit dalam membran dapat meningkatkan permeabilitas gas dan selektivitas membran. Selain itu, meningkatnya suhu dan waktu pemanasan pada membran berbahan dasar polyimide dapat meningkatkan harga permeabilitas gas dan selektivitas membran.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut:

- Permeasi gas pada biogas mampu memisahkan gas CO₂ dan gas CH₄ (harga permeabilitas dan selektivitas lebih dari 1). Gas CO₂ bersifat permeabel, polar dan *soluble* dalam membran dibandingkan dengan gas CH₄.
- Pada PI-20% coated semakin tinggi suhu pemanasan, maka permeabilitas gas meningkat dan selektivitas menurun dan sebaliknya terjadi pada PI-Z 20 % coated.
- Pada PI-20% coated pada suhu 150 °C yaitu, semakin lama waktu pemanasan membran menyebabkan permeabilitas gas menurun. Pada suhu 200°C permeabilitas gas menurun ketika waktu pemanasan 3 menit. Sedangkan pada PI-Z 20 % coated pemanasan 150°C, permeabilitas gas meningkat dari waktu pemanasan 1 menit ke 2 menit dan kemudian menurun dari waktu pemanasan 2 menit ke 3 menit. Pada suhu pemanasan 200°C, permeabilitas gas menurun dari waktu pemanasan 1 menit ke 2 menit dan kemudian meningkat dari waktu pemanasan 2 menit ke 3 menit.
- Pada PI-20% coated, semakin tinggi tekanan membran, maka permeabilitas gas semakin tinggi dan selektivitas CO₂/CH₄ rendah dan sebaliknya terjadi pada PI-Z 20 % coated.
- Pada membran PI-Z 20% yaitu semakin lama waktu menyebabkan permeabilitas gas cenderung stabil.
- Membran PI-Z20% coated memiliki harga permeabilitas gas dan selektivitas membran yang lebih tinggi dibandingkan membran PI-20% coated.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami sampaikan kepada Ir. Hantoro Satriadi, M.T. selaku dosen pembimbing penelitian, Ir. Budiyo, M.Si. dan Dr. Tutuk Djoko Kusworo, S.T., M. Eng selaku Dosen Pembimbing Penelitian Biogas dan Teknologi Membran. Teman-teman mahasiswa Teknik Kimia Undip dan semua pihak atas bantuan yang diberikan.

Daftar Pustaka

- Bos, A and Punt, I.G.M, and Wessling, M. and Strathmann, H, 1999, *CO₂-Induced Plasticization Phenomena in Glassy Polymers*, Journal of Membrane Science, vol. 155, pp. 67-78.
- Bos, A and Punt, I.G.M, and Wessling, M. and Strathmann, H, 2001, *Suppression of Gas Separation Membrane Plasticization by Homogeneous Polymer Blending*, AIChE Journal, vol. 47, pp. 1088-1093.
- Budiyo, T.D. Kusworo, A.F. Ismail, I.N. Widiasta, Seno Johari and Sunarso, 2009, *Synthesis and Characterization of Polyimide-Zeolite Mixed Matrix Membrane for Biogas Purification*, International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS, vol. 10, pp. 1-7.
- Cao, Chun, R. Wang, T. S. Chung and Y. Liu, 2002, *Formation Of High-Performance 6FDA-2,6-DAT Asymmetric Composite Hollow Fiber Membranes For CO₂/CH₄ Separation*, Journal of Membrane Science, vol. 209, pp. 309 – 319.
- Chung, Tai-Shung, L.Y. Jiang, Y.Li, S. Kulprathipanja, 2007, *Mixed Matrix Membranes (MMMs) Comprising Organic Polymers With Dispersed Inorganic Fillers For Gas Separation*, Journal of Progress in Polymer Science, vol. 32, pp. 483-507.
- <http://en.wikipedia.org/wiki/biogas>, Biogas, 2009.
- Kapantaidakis, G.C., Koops G.H., Wessling M., Kaldis S. P. and Sakellarodoulos G. P., 2003, *CO₂ Plasticization Of Polyethersulfone/Polyimide Gas-Separation Membranes*, AIChE Journal, vol. 49, pp. 1702-1711.
- Li, Yi, T.S Chung, C. Cao, S. Kulprathipanja, 2005, *The Effect of Polymer Chain Rigidification, Zeolit Pore Size And Pore Blockage on Polyethersulfone (PES)-Zeolite A Mixed Matrix Membranes*, Journal of Membrane Science, pp. 1 – 11.
- Omole, Imona C, 2008, *Crosslinked Polyimide Hollow Fiber Membranes for Aggressive Natural Gas Feed Streams*, Georgia Institute of Technology, Georgia.