

**PENGARUH KONSENTRASI POLIMER DAN TINGGI GAP  
TERHADAP MEMBRAN SERAT BERONGGA BERTEKANAN  
TINGGI UNTUK PEMISAHAN GAS CO<sub>2</sub> DAN CH<sub>4</sub>**

*(The Effect of Polymer Concentration and High Gap Against High  
Pressure Membrane Hollow Fiber For Gas Separation of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>)*

Adiwar, Yuffinawati Away, Arif Rahman Hakim, dan Priyadi

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"

Jl. Ciledug Raya Kav.109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan

Telepon: +62-21-7394422, Fax.: +62-21-7246150

[adiwar@lemigas.esdm.go.id](mailto:adiwar@lemigas.esdm.go.id)

Teregistrasi I tanggal 3 Maret 2016; Diterima setelah perbaikan tanggal 5 Agustus 2016;

Disetujui terbit tanggal: 31 Agustus 2016.

**ABSTRAK**

Telah dilakukan pembuatan membran serat berongga dengan bahan dasar polimer berupa campuran selulosa asetat dan polietilena glikol. Dikarenakan tidak dapat dibuat nozzle dengan diameter kurang dari 0.2 mm, peningkatan ketahanan tekan dilakukan dengan memvariasikan formamida, spinneret, konsentrasi dan berat molekul polietilena glikol (PEG) dalam larutan polimer. Komposisi formamida 6%, PEG 10% dengan berat molekul 4000 berhasil meningkatkan ketahanan tekan membran serat berongga sampai 400 psi yang dicetak menggunakan spinneret modifikasi iii. Keberadaan formamida yang lebih besar dalam larutan polimer relatif tidak berpengaruh terhadap selektivitas. Diperoleh beberapa komposisi dengan selektivitas yang baik dimana CH<sub>4</sub> tidak lewat dan CO<sub>2</sub> lewat dengan permeabilitas sekitar 10<sup>-7</sup> cm<sup>3</sup> (STP).cm.cm<sup>-2</sup>.cmHg<sup>-1</sup>.

**Kata Kunci:** membran serat berongga, formamida, ketahanan tekan, selektivitas.

**ABSTRACT**

Has made membrane hollow fiber with a polymer base material in the form of a mixture of cellulose acetate and polyethylene glycol. Caused can't be made nozzle with a diameter of less than 0.2 mm, increased resilience press is done by varying the formamide, spinnerets, concentration and molecular weight polyethylene glycol (PEG) in a polymer solution. The composition of formamide 6%, 10% PEG with a molecular weight of 4000 managed to increase the resilience of the hollow fiber membrane press up to 400 psi are printed using spinneret modification iii. The existence of a larger formamide in the polymer solution is relatively not effect on selectivity. Obtained several compositions with good selectivity where CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> are not passed through to the permeability of about 10<sup>-7</sup> cm<sup>3</sup>( STP) .cm.cm<sup>-2</sup>.cmHg<sup>-1</sup>.

**Keywords:** hollow fiber membrane, formamide, press resilience, selectivity.

## I. PENDAHULUAN

Teknologi pemisahan dengan membran untuk memisahkan  $\text{CO}_2$  dari  $\text{CH}_4$  telah dikembangkan sejak beberapa dasawarsa terakhir (Baker R W 2002). Teknologi ini merupakan teknologi pemisahan yang bersih yang tidak berdampak negatif terhadap lingkungan (Mulder M 1996), (Du N Y P *et al.* 2012) dan merupakan opsi yang potensial terhadap teknologi pemisahan  $\text{CO}_2$  pada gas alam yang lazim digunakan selama ini yaitu teknologi pemisahan dengan menggunakan sistem absorpsi (D.O. Cooney & C.C. Jackson 1987). Berbagai polimer telah dikembangkan sebagai bahan dasar pembuatan membran seperti polisulfon, selulosa asetat, poliimida dan lain-lain (Xuezhong H & May-Britt H 2014), (F. Falbo *et al.* 2014). Masing-masing polimer memberikan sifat intrinsik tersendiri terkait dengan permeabilitas, selektivitas dan kisaran temperatur pengoperasian di lapangan (Xuezhong H & May-Britt H 2014), (Leopold Braeuer 2009). Membran dapat dibuat dalam bentuk membran lembaran dan dalam bentuk membran serat berongga, dalam aplikasi komersialnya membran lembaran dikemas dalam bentuk modul *spiral wound element* atau dalam bentuk modul *hollow fibre element* (Xuezhong H & May-Britt H 2014), (Eric P R 2007). Pengemasan komposisi membran yang telah diperoleh ke dalam bentuk spiral wound elemen tidak bisa dilakukan karena terkendala ketidaktersediaannya sarana peralatan pembuat membran lembaran dengan lebar berukuran besar (Adiwar 2009), (Adiwar 2007), selain itu *spiral wound element* hanya mampu dioperasikan pada tekanan rendah. Sehubungan untuk keperluan pemisahan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{CH}_4$  pada tekanan tinggi di lapangan maka dilakukan pembuatan unit peralatan membran serat berongga (Adiwar 2007), (Cut M R 2012). Unit pembuatan membran serat berongga telah berhasil menghasilkan membran serat berongga untuk pemisahan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{CH}_4$  pada tekanan rendah sekitar 150 psi (Adiwar 2015).

Dalam penelitian ini akan dibahas pembuatan membran serat berongga yang dibuat dari polimer selulosa asetat untuk keperluan pemisahan  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  pada tekanan tinggi untuk lapangan yang mempunyai laju alir gas yang bertekanan  $\pm 400$  psi. Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah pembuatan membran serat berongga yang dikemas dalam modul elemen kemudian dilanjutkan dengan pengukuran ketahanan tekan yg merujuk pada pengujian laju alir, nilai selektivitas dan permeabilitas membran serat berongga. Dengan merujuk pada efek

efek formamida pada mekanisme *instantion/ delayed demixing* dalam pembuatan membran akan dilihat efek dan persentase keberadaan formamid terhadap kekuatan tekan membran serat berongga yang dihasilkan disamping beberapa faktor lain seperti persentase PEG (polietilen glikol), berat molekul PEG, perbedaan celah polimer pada spinneret yang digunakan.

## II. BAHAN DAN METODE

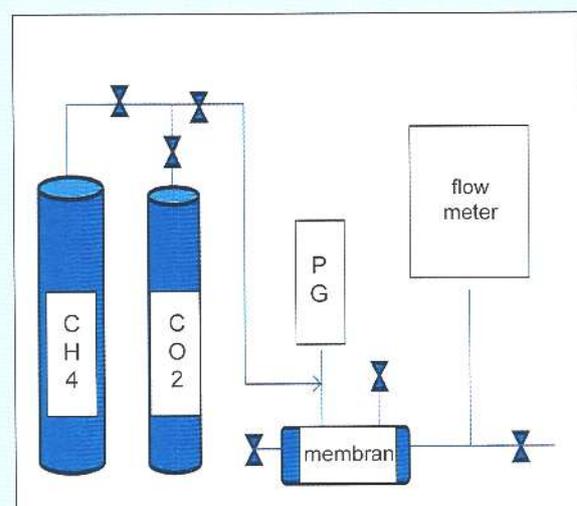
### A. Material

Pada penelitian ini, bahan yang digunakan adalah selulosa asetat dengan kandungan asetil 39,8%, aseton, formamida, poli etilen glikol (PEG) dengan berat molekul (BM) 1000, 4000 dan 10000 dan aquadest sebagai koagulan.

### B. Preparasi Membran

Pembuatan membran dilakukan menggunakan tehnik inversi fasa. Selulosa asetat (CA) dilarutkan dalam aseton (AC) kemudian ditambahkan dengan formamida (F) dengan konsentrasi tertentu. Setelah itu, larutan ditambahkan PEG dengan BM dan konsentrasi yang variatif. Larutan diaduk hingga homogen kemudian larutan didiamkan semalam untuk menghilangkan gelembung, membran serat berongga dicetak dengan menggunakan spinneret.

Membran serat berongga yang diperoleh diannealing pada suhu  $70^\circ\text{C}$  selama 10 menit, dan kemudian diberi perlakuan kepolaran bertahap. Membran dimasukkan ke dalam 9 wadah selama 15 menit secara berurutan dengan tingkat kepolaran wadah diturunkan secara gradual (Adiwar 2015)



Gambar 1  
Skema peralatan pengujian.

Selanjutnya membran disimpan dalam desikator.

### C. Pengujian Laju Alir

Gas yang digunakan pada penelitian ini merupakan gas CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> dengan tingkat kemurnian 99,9%. Pengujian dilakukan dengan metode variable volume. Skema peralatan pengujian dapat dilihat pada Gambar 1.

Membran diletakkan dalam sel permeasi yang dialiri dengan gas CH<sub>4</sub> atau gas CO<sub>2</sub> murni secara bergantian dengan variasi tekanan gas 20-400 Psi, gas yang melewati membran dialirkan ke *buble flow* dan diukur waktu tempuhnya untuk beberapa jarak tertentu.

### D. Penentuan Permeabilitas dan Selektivitas

Laju permeasi gas dapat dihitung dengan membandingkan antara luas permukaan terhadap laju dan tekanan. Sedangkan nilai selektivitas ideal ( $\alpha$ ) membran merupakan perbandingan antara laju permeasi gas CO<sub>2</sub> terhadap CH<sub>4</sub>.

## III. HASIL DAN DISKUSI

### A. Pengaruh komposisi formamid membran serat berongga terhadap ketahanan tekan.

**Tabel 1**  
Variasi Komposisi membran serat berongga yang dibuat dengan perbedaan variasi formamid.

Kode	Komposisi (%)			
	CA	AC	F	PEG
1	30	70	0	5
2	30	69,9	0,1	5
3	30	69,7	0,3	5
4	30	69,5	0,5	5
5	30	69	1	5
6	30	68	2	5
7	30	67	3	5
8	24	52	24	5

Komposisi formamid yang variatif pada pembuatan membran serat berongga memberikan perbedaan daya tekan membran serat berongga. Pada Tabel 1 dapat dilihat variasi komposisi formamid membran serat berongga yang dibuat.

Komposisi polimer membran serat berongga yang dihasilkan dengan perbedaan variasi formamid

**Tabel 2**  
Variasi formamid pada membran serat berongga dengan nilai selektivitas dan ketahanan tekan yang optimal.

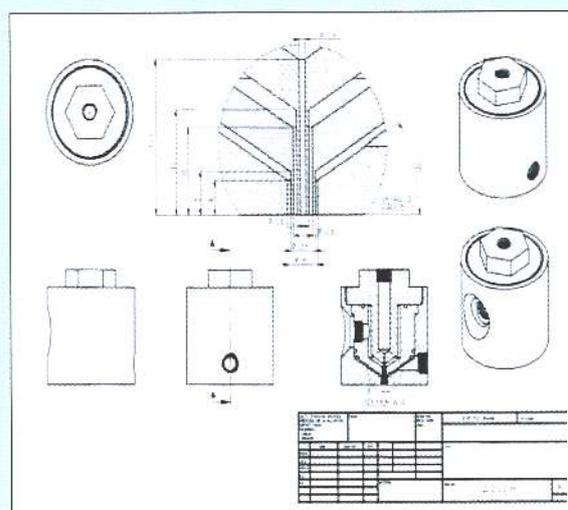
Komposisi (%)				Ketinggian air gap (cm)	Perlakuan	Tekanan (P) (psi)	Selektivitas		Permeabilitas	
CA (%)	Ac (%)	F (%)	PEG (% w/w CA)				P rendah	P tinggi	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
24	52	24	5	36	Annealing	≥ 400	12,53	5,12	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>
					Tanpa annealing	≥ 400	3,20	2,86	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>
				58	Annealing	≥ 400	1,37	7,20	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>
					Tanpa annealing	≥ 400	~	20,08	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>
30	58	12	5	80	Annealing	≥ 360	~	13,89	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>
					Tanpa annealing	≥ 360	17,70	13,70	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>
				56	Annealing	≥ 300	~	37,12	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-8</sup>
					44	Annealing	≥ 300	11,9	14,02	10 <sup>-6</sup>
30	64	6	5	58	Tanpa annealing	≥ 300	~	5,42	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-8</sup>
					Annealing	≥ 400	17,21	35,75	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-8</sup>
				58	Tanpa annealing	≥ 400	~	8,07	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>
					Annealing	≥ 400	~	8,07	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>

Ket : "~"CH<sub>4</sub> tidak lewat  
Dengan CA (Selulosa Asetat), Ac (Aseton), F (Formamid) PEG (polietilen glikol)

pada tabel diatas tidak memberikan hasil yang baik (kode 1-7) untuk pemisahan CO<sub>2</sub> dengan CH<sub>4</sub> karena ketahanan tekan yang dihasilkan masih rendah dengan ketahanan tekan ≤ 150 psi (Adiwar 2015), kemudian dicetak membran dengan beberapa variasi formamid yang lain (kode 8) untuk melihat perbedaan yang dihasilkan. Dari hasil pengamatan tersebut dapat dilihat bahwa komposisi membran dengan formamid 24% memberikan hasil yang baik untuk pemisahan membran serat berongga dapat dilihat pada Tabel 2.

Dengan perbedaan ketahanan tekan dan nilai selektivitas membran serat berongga yang dihasilkan untuk pemisahan gas CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> tersebut maka dilakukan beberapa variasi komposisi polimer yang lain. Pada Tabel 2 dapat dilihat komposisi membran serat berongga yang memberikan hasil yang optimal.

Dari data diatas dapat dilihat bahwa terdapat tiga komposisi yang potensial untuk pemisahan gas CO<sub>2</sub> dari CH<sub>4</sub> pada tekanan tinggi, dan 6 variasi ketinggian *air gap*. Disamping itu dapat disimpulkan bahwa pada setiap komposisi polimer yang sama dengan variasi ketinggian gap yang berbeda mempunyai ketahanan tekan, nilai selektivitas dan permeabilitas yang berbeda. Pada komposisi CA (24%), Ac (52%), Formamid (24%) dan PEG (5%) nilai selektivitas masih sangat rendah, jika dilihat terdapat satu komposisi dengan nilai selektivitas yang cukup tinggi yaitu pada perlakuan tanpa annealing dengan ketinggian air gap 58 cm, begitu juga pada komposisi polimer CA (30%) formamid (6%) nilai selektivitas yang baik untuk pemisahan yaitu pada ketinggian air gap 58 cm tetapi perlakuan terhadap membran yang berbeda yaitu dengan annealing nilai selektivitas mencapai 35,72 cm<sup>3</sup>(STP).cm.cm<sup>-2</sup>.cmHg<sup>-1</sup>. Sedangkan pada komposisi CA (30%) dan F (12%) nilai selektivitas yang paling tinggi dapat dilihat



**Gambar 2**  
Desain spinneret.

dengan ketinggian 56 cm dengan perlakuan annealing dengan nilai 37,12 cm<sup>3</sup>(STP).cm.cm<sup>-2</sup>.cmHg<sup>-1</sup>.

**B. Pengaruh spinneret terhadap ketahanan tekan membran serat berongga**

Pencetakan membran serat berongga dilakukan dengan alat pencetak membran yang berupa spinneret. Spinneret ini memiliki tiga *nozzle/* celah dengan fungsi keluaran yang berbeda, yaitu celah paling tengah berfungsi untuk pengestruksian air, celah kedua untuk pengestruksian larutan polimer, dan celah ketiga untuk pengestruksian fluida ke-3. Desain spinneret adalah seperti yang terlihat pada Gambar 2.

Untuk menghasilkan membran serat berongga sesuai dengan ketahanan tekan yang diperlukan dilakukan modifikasi spinneret. Modifikasi spinneret yang dilakukan adalah memodifikasi ukuran nozzle

**Tabel 3**  
Ukuran nozzle dan celah spinneret.

Dimensi	Spinneret Bawaan Alat	Spinneret Modifikasi Tipe i	Spinneret Modifikasi Tipe ii	Spinneret Modifikasi Tipe iii	Spinneret Modifikasi Tipe iv
Nozle air	0.8	0.8	0.4	0.2	0.2
Metal	0.45	0.4	0.4	0.4	0.4
Celah Polimer	0.35	0.5	0.5	0.5	0.7
Metal	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Celah fluida	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2

**Tabel 4**  
Selektivitas dan ketahanan tekan membran serat berongga dengan spinneret modifikasi iv.

Komposisi Polimer				Perlakuan	GAP (cm)	Ketahanan Tekan (psi)	Permeabilitas		Selektivitas
CA (%)	AC (%)	F (%)	PEG 4000				CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	
24	52	24	5	Annealing	21	80	5,56 x 10 <sup>-6</sup>		3,82
					68	80	2,32 x 10 <sup>-6</sup>		
				Tanpa Annealing	21	100	1,16 x 10 <sup>-6</sup>		
					52	120	1,05 x 10 <sup>-6</sup>	2,75 x 10 <sup>-7</sup>	
					60	100	1,49 x 10 <sup>-6</sup>		
					68	120	7,10 x 10 <sup>-6</sup>	2,15 x 10 <sup>-7</sup>	

dan atau celah polimer dan fluida seperti yang tertera pada Tabel 3.

Telah berhasil dibuat membran serat berongga menggunakan spinneret bawaan alat kemudian dikembangkan jenis spinneret yang dibedakan dari ukuran setiap *nozzle*/celah, pada modifikasi tipe i sampai dengan modifikasi iii perbedaan yang dapat dilihat yaitu pada *nozzle* air (Adiwar 2015) kemudian spinneret modifikasi iii dan iv perbedaan yang dapat dilihat yaitu pada ukuran celah polimer dimana modifikasi iv mempunyai ukuran celah polimer 0,7 mm lebih besar dibandingkan dengan modifikasi iii dengan celah 0,5 mm, perbedaan ini dikembangkan karena belum ditemukan teknologi untuk membuat *nozzle* dengan ukuran dibawah 0,2 mm. Dari hasil pengujian ini diperoleh data seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa pemakaian perangkat spinneret modifikasi iv tidak memberikan hasil yang optimal, ketahanan tekan dari polimer jenis ini berkisar antara 80 psi – 120 psi. Komposisi ini juga digunakan pada spinneret modifikasi 3 dan memiliki ketahanan tekan mencapai 400 psi Tabel 2.

### C. Pengaruh konsentrasi PEG terhadap ketahanan tekan membran serat berongga

Variasi selanjutnya di ukur berdasarkan jumlah PEG yang di tambahkan, jika sebelumnya jumlah PEG 4000 yang ditambahkan sebanyak 5 % dari komposisi CA, penambahan selanjutnya dengan cara menurunkan dan menaikkan komposisi, yaitu dengan penambahan komposisi PEG 2,5 % dan 10% dari berat komposisi CA. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan diperoleh data yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Membran komposisi PEG 10 % dengan variasi ketinggian *air gap* 64 cm memiliki nilai selektivitas tak berhingga, permeabilitas CO<sub>2</sub> berkisar 10<sup>-6</sup> sedangkan CH<sub>4</sub> tidak lewat dan mempunyai ketahanan tekan yang tinggi yaitu 400 psi. Sedangkan pada komposisi PEG 2,5% tidak memberikan hasil yang optimal dimana ketahanan tekan yang dihasilkan hanya sampai 100 psi.

### D. Pengaruh BM PEG terhadap ketahanan tekan membran serat berongga

Dari pengujian membran berdasarkan variasi komposisi polimer yang telah dilakukan, maka

**Tabel 5**  
Data selektivitas dan ketahanan tekan membran serat berongga berdasarkan perbedaan komposisi PEG.

Komposisi (%)				Tinggi Gap (cm)	Perlakuan	Ketahanan Tekan (psi)	Permeabilitas		Selektivitas
CA	AC	F	PEG				CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	
30	64	6	2,5	64	Annealing	100	1,12 x 10 <sup>-7</sup>	1,81 x 10 <sup>-7</sup>	0,619
30	64	6	10	64	Annealing	400	1,61 x 10 <sup>-6</sup>	≈	∞

**Tabel 6**  
Data selektivitas dan ketahanan tekan membran serat berongga berdasarkan perbedaan BM PEG.

CA (%)	Komposisi Polimer				Perlakuan	Variasi air gap yang di uji	Ketahanan Tekan (psi)
	AC (%)	F (%)	PEG 1000	PEG 10000			
30	64	6	5	X	Annealing	4	60 s/d 80
					Tanpa Annealing	4	40 s/d 100
30	58	12	5	X	Annealing	4	40 s/d 120
					Tanpa Annealing	4	40 s/d 120
30	64	6	X	5	Annealing	4	40 s/d 120
					Tanpa Annealing	4	40 s/d 120
30	58	12	X	5	Annealing	4	40 s/d 100
					Tanpa Annealing	4	40 s/d 80

variasi selanjutnya dibedakan berdasarkan BM PEG terhadap komposisi yang memiliki ketahanan tekan tinggi dan komposisi yang mempunyai selektivitas tinggi dan kemudian diperoleh data yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Data diatas menunjukkan komposisi membran serat berongga yang di variasikan berdasarkan berat molekul dari PEG yaitu berat 1000 dan 10000. Berbeda dengan berat molekul 4000 yang digunakan sebelumnya, pada berat tersebut terdapat komposisi polimer dari membran yang mempunyai ketahanan tekan yang tinggi, sedangkan pada komposisi membran dengan BM 1000 dan 10000 ketahanan tekan yang diperoleh berkisar antara 40 psi sampai dengan 120 psi. Hal ini menunjukkan bahwa BM PEG 1000 dan 10000 tidak memberikan hasil yang optimal terhadap selektivitas dan ketahanan tekan membran.

**E. Konsistensi tekanan membran serat berongga**

Dari data yang diperoleh dalam setiap variasi yang mencakup variasi komposisi, BM PEG, jumlah PEG (%) dan variasi spinneret yang digunakan maka didapat hasil yang optimal. Kemudian pada hasil yang optimal ini dilakukan konsistensi membran yang mencakup *repeatability* dan *reproduksi*, hal ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana konsistensi membran yang dihasilkan pada setiap produksi. Namun sejauh ini penentuan konsistensi membran yang dilakukan hanya *repeatability*. Pada Tabel 7 dapat dilihat data hasil *repeatability* membran.

Pada data *repeatability* diatas dilakukan produksi membran pada komposisi membran yang optimal yaitu pada komposisi 30% CA, 64%AC, 6%F dan PEG 10% dengan 7 kali produksi membran dan 5 kali pengujian pada setiap produksi. Namun pada komposisi membran 10% ini hanya didapat 3 produksi membran yang memberikan hasil yang maksimal dari 7 kali produksi, maka dapat

**Tabel 7**  
Data hasil pengamatan *repeatability* membran serat berongga.

CA (%)	Komposisi				Pengulangan Uji	Ketahanan Tekan
	AC (%)	F (%)	PEG 4000			
30	64	6	10	5 kali	≤ 100	
					≤ 100	
					≤ 340	
					≤ 340	
					≤ 400	
					≤ 200	
					≤ 100	

disimpulkan bahwa tidak semua membran yang dihasilkan dari setiap produksi memberikan hasil yang maksimal.

#### IV. KESIMPULAN

Telah diperoleh membran yang mempunyai ketahanan tekan  $\geq 400$  psi dengan komposisi polimer 30% CA, 64% Ac, 6% F, 10% PEG dan ketinggian *air gap* 64 cm dengan nilai selektivitas yang tak berhingga. Perubahan spinneret modifikasi 3 ke modifikasi 4 tidak memberikan hasil yang optimal terhadap ketahanan tekan dan nilai selektivitas membran serat berongga. Konsistensi produksi membran yang dihasilkan hanya berkisar 40% dari 7 kali produksi membran dengan 5 kali pengujian pada setiap produksi.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang setulusnya disampaikan kepada tim penelitian di laboratorium KPPP proses PPPTMGB "Lemigas" atas bantuannya yang telah diberikan dalam pelaksanaan kegiatan ini. Terima kasih yang setulusnya juga disampaikan kepada manajemen PPPTMGB "Lemigas" atas bantuannya dalam bentuk pendanaan Kajian Strategis yang telah memungkinkan terlaksananya kegiatan ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

**Adiwar**, 2007. *Efek of Delayed Evaporation In Cellulosa Acetate Membrane Preparation to Separate CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> at Low Pressure*, Lemigas Scientific Contribution, Vol 32. No. 3, 162-168.

**Adiwar**, 2009. *Efek Poli Etilen Glikol Cair Terhadap Selektivitas Membran Selulosa Asetat untuk Pemisahan CH<sub>4</sub> Dan CO<sub>2</sub> Pada Tekanan Rendah*, Lembaran Publikasi Lemigas. Vol 43 No. 3, 2009. 177-185.

**Adiwar**, 2012. *Pembuatan Unit Peralatan Pembuat Membran Serat Berongga*. Laporan Akhir DIPA 2012.

**Adiwar**, 2015. Pengaruh ukuran nozzle spinneret terhadap ketahanan tekan dan selektivitas membran serat berongga untuk pemisahan gas CO<sub>2</sub> pada tekanan rendah.

**Baker Richard W.**, 2002. *Future Directions of Membrane Gas Separation Technology*. Ind. Eng. Chem. Res. 2002, 41, 1393-1411 1393.

**Bernardo, P. Drioli, E., and Golemme, G.**, 2009. *Membrane Gas Separation: A Review/State of the Art*. Ind. Eng. Chem. Res., 48, 4638-4663.

**Cut Meurah Rosnelly**, 2012. Pengaruh Rasio Aditif *Poli etilen Glikol Terhadap Selulosa Asetat* pada Pembuatan Membran *Selulosa Asetat* Secara Inversi Fasa. Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan Vol. 9, No. 1, hal. 25 - 29, ISSN 1412-5064.

**D.O. Cooney, and C.C. Jackson.**, 1987. *Gas Absorption in a hollow fibre device*, Chemical Engineering Communication, 61, pp. 159-167.

**Du, N. Y., Park, H. B., Dal-Cin, M. M., and Guiver, M. D.**, 2012. *Advances in High Permeability Polymeric Membrane Materials for CO<sub>2</sub> Separations*. Energy Environ. Sci., 5, 7306-7322.

**Eric P. Robertson**, 2007. *Analysis of CO<sub>2</sub> Separation from Flue Gas, Pipeline Transportation, and Sequestration in Coal*. U.S. Department of Energy. Idaho National Laboratory. Idaho Falls, Idaho 83415.

**F. Falbo, F. Tasselli, A. Brunetti, E. Drioli and G. Barbieri**, 2014. Polyimide Hollow Fiber Membranes For CO<sub>2</sub> Separation From Wet Gas Mixtures. Brazilian Journal of Chemical Engineering. ISSN 0104-6632. Vol. 31, No. 04, pp. 1023 - 1034.

**Koros, W. J., Mahajan, R.**, 2000. *Pushing the Limits on Possibilities for Large Scale Gas Separation: Which Strategies?* J. Membr. Sci., 175, 181-196.

**Leopold Braeuer**, 2009. *Membranes for CO<sub>2</sub> removal at a natural gas plant: pretreatment challenge, solution and operating experience*. uop™ www.UOP.com.

**Lively, R. P., Chance, R. R., Kelley, B. T., Deckman, H. W., Drese, J. H., Jones, C. W., and Koros, W. J.**, 2009. *Hollow Fiber Adsorbents for CO<sub>2</sub> Removal from Flue Gas*. Ind. Eng. Chem. Res., 48, 7314-7324.

**Mulder M.**, 1996. *Basic Principle of Membrane Technology*. Second Edition. Kluwer Academic Publisher. Netherlands.

**Syahril Ahmad**, 2012. Pengaruh Annealing pada Sifat Membran *Folisulfon Serat Berongga*. Prosiding Simposium Nasional Polimer II. ISSN 1410-8720

**Vu, D. Q., Koros, W. J., and Miller, S. J.**, 2002. *High Pressure CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> Separation Using Carbon Molecular Sieve Hollow Fiber Membranes*. Ind. Eng. Chem. Res. 2002, 41, 367-380.

**Xuezhong H. and May-Britt Hägg.**, 2014. *CO<sub>2</sub> Removal from High Pressure Natural Gas Using a Novel Fixed-site-carrier Membrane*. 3rd Trondheim. Gas Technology Conference. Department of Chemical Engineering, Norwegian University of Science and Technology (NTNU).