

# PROGRAM SIMULASI PEMISAHAN CAMPURAN GAS MULTIKOMPONEN MELALUI PERMEATOR MEMBRAN

HAMDANI SAIDI  
SUTRASNO  
RAMLAN ABDUL AZIZ  
Jabatan Kejuruteraan Kimia  
Fakulti Kejuruteraan Kimia dan Kejuruteraan Sumber Asli  
Universiti Teknologi Malaysia  
Jalan Semarak, 54100 Kuala Lumpur

## **Abstrak**

*Proses pemisahan gas melalui permeator membran dapat disimulasikan dalam sebuah komputer untuk mendapatkan komposisi keluaran gas. Program simulasi dibuat dalam bahasa pemrograman Turbo Pascal 5.0, menggunakan algoritma yang dibuat oleh Shindo et. al. Hasil simulasi yang didapati dari program mempunyai perbezaan purata 0.1% bila dibandingkan dengan yang dibuat oleh Shindo et. al. walaupun kemampuan komputer yang digunakan berbeza.*

## **1. Pengenalan**

Dalam loji pemrosesan kimia (Chemical Processing Plant), kos operasi dan kos modal sebahagian besarnya berasal dari kos proses pemisahan. Oleh itu, banyak usaha yang dilakukan oleh jurutera dan ahli sains untuk memperbaiki teknologi pemisahan yang sedia ada yang berdasarkan pada penyerapan, penjerapan, penyulingan pada suhu rendah (Cryogenic Distillation) dan proses pemisahan yang masih baru. Salah satu proses pemisahan yang tergolong baru tadi ialah proses pemisahan gas menggunakan permeator membran.

Membran dapat memisahkan gas dalam campuran gas kerana ianya mempunyai sifat kememilihan dan penelapan yang berbeza ke atas gas tersebut. Gas yang mempunyai kebolehtelapan yang besar akan mudah menembusi membran (tertelap) dan yang mempunyai kebolehtelapan yang rendah akan mudah tertolak (retente).

Pada masa ini pemisahan gas menggunakan permeator membran banyak diminati oleh industri, kerana ianya mempunyai beberapa kelebihan berbanding dengan proses pemisahan lainnya iaitu:

- (i) Pemisahan yang dilakukan berdasarkan pada ukuran molekul samada bentuk atau casnya, sehingga suhu operasinya tidak terlalu tinggi yang dapat menyebabkan terpecahnya gas.
- (ii) Tenaga yang diperlukan pada proses relatif rendah kerana tidak adanya perubahan fasa dari gas yang akan dipisahkan.
- (iii) Permeator membran tidak membabitkan komponen lain selain komponen yang akan dipisahkan dan tidak ada sisa buangan tambahan yang dihasilkan.
- (iv) Proses pemisahan mudah dilakukan samada secara kelompok (batch) ataupun secara berterusan.
- (v) Peralatan prosesnya hanya memerlukan ruang yang kecil.



Walaupun demikian Permeator membran mempunyai kekurangan berbanding dengan proses lain, iaitu kesetabilannya yang kurang baik ke atas suhu yang tinggi, dan pemisahan yang dilakukan tidak boleh sempurna.

Kertas kerja ini akan membahas beberapa jenis aliran yang berlaku pada permeator membran, penyelesaian matematik yang boleh digunakan pada proses tersebut dan akhirnya pembuatan program yang boleh digunakan untuk simulasi pada permeator membran.

## 2. Kajian Analisis

Pola aliran (flow pattern) dalam suatu permeator membran mempunyai kesan yang penting ke atas pemisahan yang dilakukan oleh permeator membran tersebut. Oleh itu pemahaman secara analisis kesan ini sangatlah penting.

Ada beberapa pola aliran dalam permeator tunggal iaitu:

- (i) Aliran arus berlawanan (counter current)
- (ii) Aliran sehalu (cocurrent)
- (iii) Aliran silang (cross flow)
- (iv) Aliran pencampuran sempurna (perfect mixing)
- (v) Aliran pencampuran satu sisi (one side mixing)

Pada permeator aliran arus berlawanan, permeator aliran sehalu dan permeator aliran silang, profil kepekatan komponen gas di sepanjang membran berbeza samada untuk aliran tertelap dan aliran tertolak. Pada permeator pencampuran sempurna profil kepekatan gas pada sisi tertelap sama di setiap titik, demikian juga pada sisi tertolak. Sedangkan pada permeator pencampuran satu sisi profil kekentalan pada sisi tertelap adalah sama, tetapi pada sisi tertolak berbeza.

Kertas kerja ini akan membahas program simulasi untuk permeator aliran silang, aliran pencampuran satu sisi dan aliran pencampuran sempurna gas multikomponen dengan menggunakan algoritma yang dibuat oleh Shindo et. al. [4].

Algoritma ini dipilih kerana lebih sederhana, dalam erti lebih mudah untuk dibuat dalam suatu program komputer dengan hasil yang baik. Selain itu ianya dapat digunakan untuk gas multikomponen tanpa batasan yang menyulitkan seperti halnya pada algoritma Pan dan Habgood [3].

Sebelum membahas mengenai algoritma, terlebih dahulu akan diambil beberapa andaian iaitu:

1. Hukum Fick berlaku pada permeator membran.
2. Kebolehtelapan setiap gas dalam campuran gas tetap di sepanjang membran.
3. Kejatuhan tekanan antara suapan pada sisi suapan diabaikan.

## 3. Permeator Aliran Silang

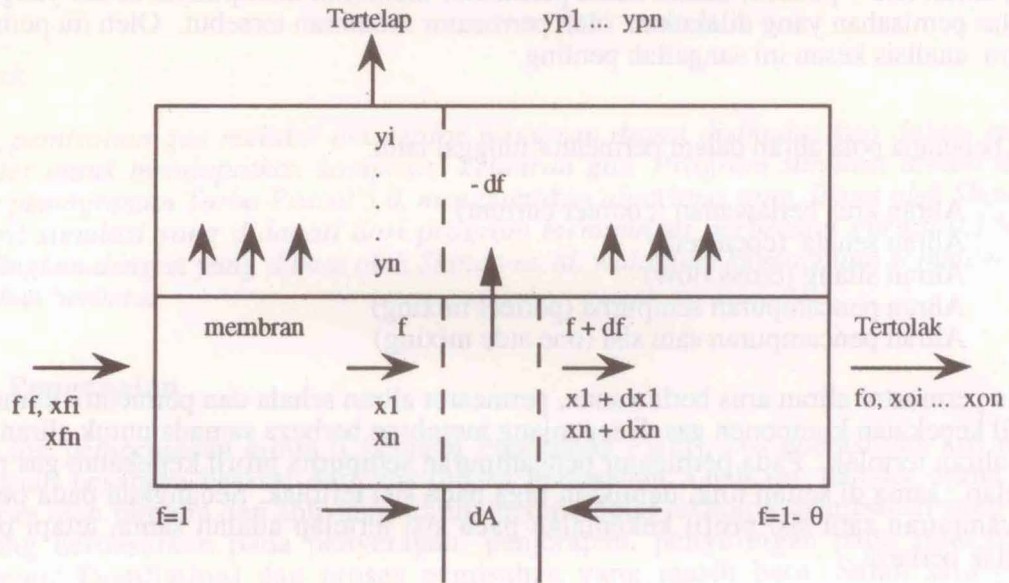
Rajah permeator aliran silang dapat dilihat pada Gambarajah 1.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung kepekatan gas yang tertolak ialah,

$$\frac{dx_i}{df} = \frac{R_i (x_i - \gamma \cdot y_i) - x_i \cdot R_k (x_k - \gamma \cdot y_k)}{R_k (x_k - \gamma \cdot y_k)} \quad (1)$$

Nilai  $Y_i$  dihitung dengan persamaan

$$\sum_{k=1}^n \frac{x_k \cdot R_k/R_i}{p_l/P_h \{ (R_k/R_i) - 1 \} + (x_i/y_i)} = 1 \quad (2)$$



Gambarajah 1: Permeator membran aliran silang

Persamaan (1) diselesaikan menggunakan kaedah Runge-Kutta untuk mengkamilkannya dari  $f=1$  dan  $x_i=x_{fi}$  sampai  $f=1-\theta$ , di mana  $x_{fi}$  merupakan pecahan mol gas suapan dan  $\theta$  potongan peringkat atau pecahan gas yang tertelap.

Persamaan (2) boleh diselesaikan dengan menggunakan Kaedah Newton - Raphson untuk mendapatkan nilai  $y_i$  di sepanjang membran.

Persamaanimbangan bahan keseluruhan untuk setiap komponen gas dapat ditulis menjadi

$$x_{fi} = x_{oi} (1-\theta) + y_{pi} \theta \quad (3)$$

di mana  $x_{oi}$  ialah pecahan mol gas pada sisi tertolak dan  $y_{pi}$  ialah pecahan mol gas pada sisi tertelap.

#### 4. Permeator Pencampuran Sempurna

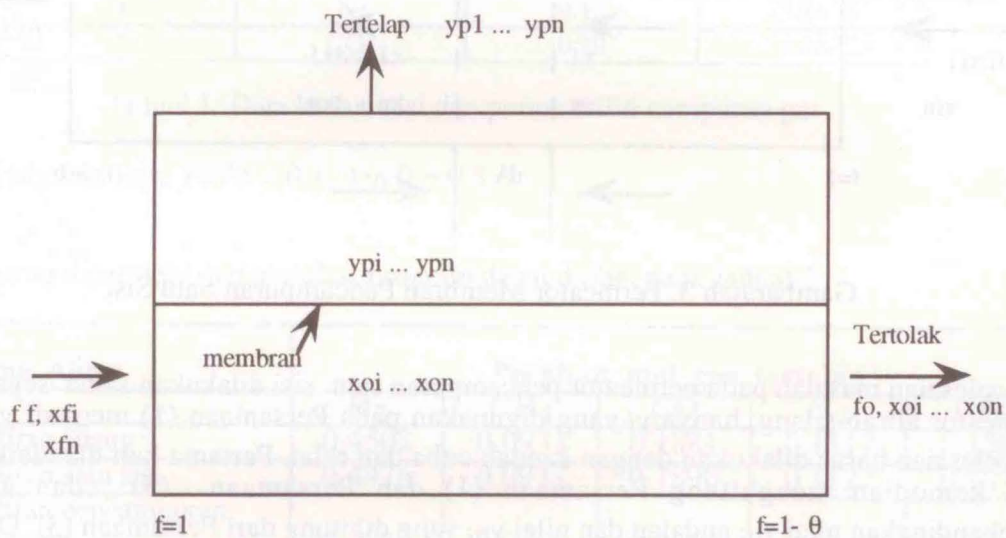
Rajah permeator pencampuran sempurna dapat dilihat pada Gambarajah 2.



Komposisi gas tertelap pada permeator pencampuran sempurna dapat diselesaikan melalui persamaan

$$\sum_{k=1}^n \frac{x_k \cdot R_k/R_i}{(\gamma + \theta - \gamma\theta) \{ (R_k/R_i) - 1 \} + (x_i/y_i)} = 1 \quad (4)$$

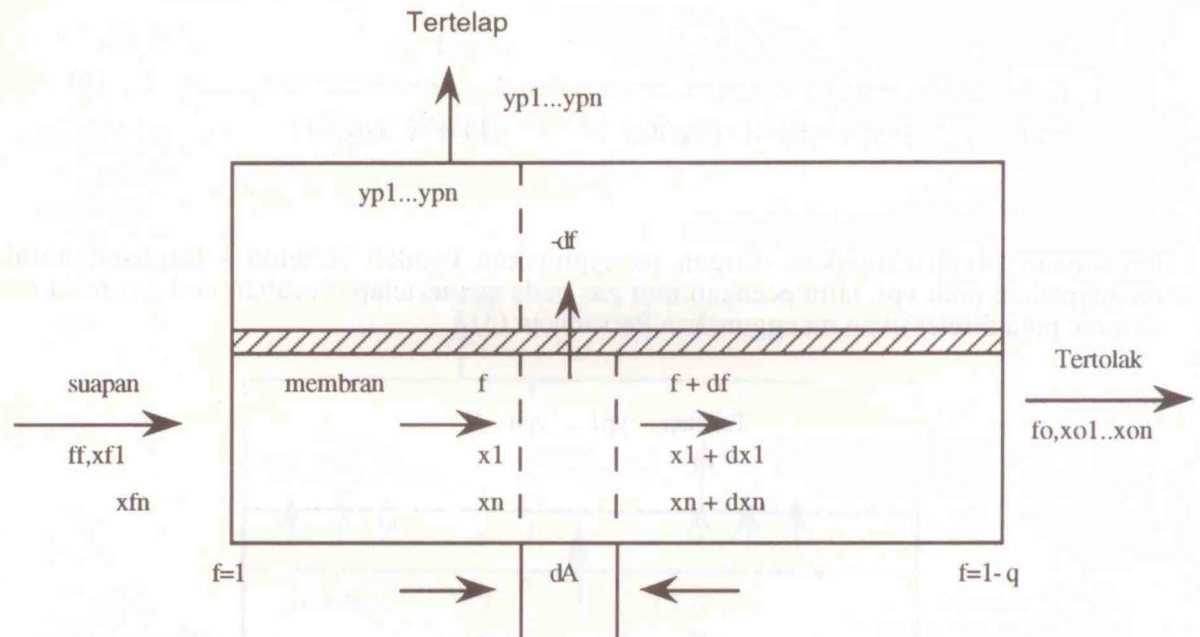
Persamaan (4) diselesaikan dengan menggunakan kaedah Newton - Raphson untuk mendapatkan nilai  $y_{pi}$ , iaitu pecahan mol gas pada sisi tertelap. Pecahan mol gas pada sisi tertolak pula diselesaikan menggunakan Persamaan (3).



Gambarajah 2: Permeator Pencampuran Sempurna

## 5. Permeator Pencampuran Satu Sisi

Permeator pencampuran satu sisi dapat dilihat pada Gambarajah 3.



Gambarajah 3. Permeator Membran Pencampuran Satu Sisi

Penyelesaian masalah pada permeator pencampuran satu sisi dilakukan sama seperti pada permeator aliran silang, hanya  $y_i$  yang digunakan pada Persamaan (1) menjadi  $y_{pi}$ . Jadi penyelesaian harus dilakukan dengan kaedah cuba dan ralat. Pertama kali diandaikan nilai  $y_{pi}$ , kemudian menghitung Persamaan (1) dan Persamaan (3), dan akhirnya membandingkan nilai  $y_{pi}$  andaian dan nilai  $y_{pi}$  yang dihitung dari Persamaan (3). Demikian seterusnya perhitungan dilakukan sehingga beza antara  $y_{pi}$  andaian dan  $y_{pi}$  perhitungan lebih kecil dari batas yang diberikan.

## 6. Program Simulasi

Program simulasi untuk permeator membran yang dibahas dibuat dalam bahasa Turbo Pascal V. 5.0. Sebagai parameter masukan program ialah,

- Komposisi gas suapan ( $x_i$ )
- Kebolehtelapan gas dalam campuran ( $R_i$ )
- Tekanan gas pada sisi suapan dan tekanan gas tertelap ( $P_h$  dan  $P_l$ )
- Potongan peringkat ( $\theta$ )

Keluaran program simulasi ialah komposisi gas pada sisi tertelap dan pada sisi tertolak. Program simulasi ini pada asasnya masih boleh dikembangkan untuk mendapatkan luas permukaan membran yang diperlukan.



## 7. Keputusan dan Perbincangan

Program simulasi yang dibuat telah diuji untuk permeator membran berkaca pada pemisahan campuran gas H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, N<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>, dengan mengandaikan kebolehtelapan setiap gas sama dengan keadaan tulennya.

Data mengenai campuran gas seperti pada Jadual 1.

No.	Gas	Pecahan mol	R(mol/s.m.pa)
1	H <sub>2</sub>	0.30	48.0e-12
2	CH <sub>4</sub>	0.10	19.1e-12
3	CO	0.25	14.0e-12
4	N <sub>2</sub>	0.15	13.8e-12
5	CO <sub>2</sub>	0.20	14.8e-12

Jadual 1. Data komposisi dan permeabiliti campuran gas

Data yang lain iaitu  $PI/Ph = 0.1$ , dan  $\theta = 0.5$ .

Hasil yang diperolehi dari simulasi program dapat dilihat pada Jadual 2.

Jenis Aliran	Pecahan mol gas tertelap				
	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Aliran silang	0.4502	0.0933	0.1881	0.1117	0.1567
Aliran satu sisi	0.4476	0.0937	0.1890	0.1122	0.1574
Aliran pencampuran sempurna	0.4039	0.0967	0.2064	0.1229	0.1702

Jadual 2. Hasil perhitungan program simulasi

Dari hasil perhitungan yang dibuat oleh program menunjukkan bahawa komponen yang paling besar kebolehtelapannya (dalam kes ini H<sub>2</sub>) paling baik dipisahkan pada permeator aliran silang bila dibandingkan dengan dua permeator lainnya. Bila dibandingkan hasilnya dengan yang dibuat oleh Shindo et. al. perbezaan puratanya sekitar 0.1 %. Akan tetapi beliau menggunakan komputer yang kemampuannya jauh lebih baik dari pada kemampuan komputer penulis (untuk penyelesaian matematik dengan kaedah berangka kemampuan komputer akan memberi kesan ke atas ketepatan hasil dan kecepatan perhitungan). Jadi pada akhirnya ketepatan program dan kecepatan menghitungnya akan dibatasi oleh kemampuan komputer itu sendiri.

Lebih jauh lagi program simulasi yang dibuat boleh digunakan untuk melihat kesan potongan peringkat, tekanan gas pada sisi suapan dan tekanan pada sisi tertelap ke atas komposisi gas yang tertolak ataupun komposisi gas yang tertelap. Dari pada itu selanjutnya dapat ditentukan keadaan pengopersian permeator membran yang menguntungkan.

## 8. Kesimpulan

Program dapat digunakan untuk mendapatkan komposisi gas tertelap dan komposisi gas tertolak pada proses pemisahan gas menggunakan permeator membran.

Permeator aliran silang memberikan pemisahan yang terbaik, untuk komponen gas yang paling besar kebolehtelapannya, dibandingkan dengan permeator pencampuran satu sisi dan permeator pencampuran sempurna.

Kecepatan program dan ketepatan hasil yang didapati akan dibatasi oleh kemampuan komputer yang digunakan.

Program simulasi dapat digunakan untuk menentukan keadaan operasi (potongan peringkat, tekanan gas suapan dan tekanan gas tertelap) daripada permeator membran berasaskan pada kepekatan hasil yang diinginkan samada pada aliran tertelap ataupun pada aliran tertolak.

## Rujukan

- [1] Acharya K. Li. and Hughes R., " Mathematical Modelling of Multicomponent Membrane Permeators", *Journal of Membrane Science*, 52: 205-219, 1990.
- [2] F. P. McCandless," Iterative Solution of Multicomponent Permeator Model Equations", *Journal of Membrane Science*, 48: 115 - 122, 1990.
- [3] C. Y. Pan and H. W. Habgood," Gas Separation by Permeation Part 1. Calculation Method Parametric Analysis" , *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 56 : 197-209 , 1978.
- [4]. Y. Shindo, T. Hakuta and H. Yoshitome," Calculation Methods for Multicomponent Gas Separation by Permeation", *Separation Science and Technology*, 20:445-459, 1985.
- [5] A. Sengupta and K.K. Sirkar," Multicomponent Gas Separation by an Asymmetric Permeator Containing Two Different Membranes", *Journal of Membrane Science*, 21 : 73 - 109, 1984.
- [6] S. A. Stern and W. P. Walawender Jr.," Analysis of Membrane Separation Parameter", *Separation Science and Technology*, 4:129-159, 1969.
- [7] Ungku Ibrahim Effendi and Md. Yusof Saidin," Kaedah Berangka II, Siri Nota Kuliah", *Universiti Teknologi Malaysia*, 1989.



## Tata nama

$f$	:	pecahan kadar alir gas pada sisi suapan
$n$	:	jumlah komponen
$P_h$	:	tekanan gas pada sisi suapan
$P_l$	:	tekanan gas pada sisi tertelap
$R_i$	:	kebolehtelapan komponen gas $i$
$x_i$	:	pecahan mol komponen gas $i$ pada sisi suapan
$x_{oi}$	:	pecahan mol komponen gas $i$ pada sisi tertolak
$y_i$	:	pecahan mol komponen gas $i$ pada sisi tertelap
$y_{pi}$	:	pecahan mol komponen gas $i$ yang tertelap
$\gamma$	:	$P_l/P_h$
$\theta$	:	potongan peringkat, pecahan kadar alir gas suapan yang tertelap