

MODEL PERALIHAN JISIM SERENTAK BAGI TITISAN-TITISAN YANG  
PELBAGAI SAIZ

SYAFIKAH BINTI AYOB

Tesis ini dikemukakan sebagai memenuhi  
syarat penganugerahan Ijazah Sarjana Sains (Matematik)

Fakulti Sains  
Universiti Teknologi Malaysia

JUN 2013

## ABSTRAK

Pengekstrakan cecair-cecair merupakan salah satu operasi pemindahan yang penting dalam kejuruteraan kimia. Dalam merekabentuk peralatan pengekstrakan, kefahaman asasi tentang mekanisme peralihan jisim antara titisan cecair dengan fasa selangar adalah sangat penting. Lazimnya, masalah ini diselesaikan dengan cara mengukur kadar pemindahan jisim yang diperolehi daripada turus penyarian cakera berputar (RDC) yang diramal oleh model pemindahan jisim serentak. Oleh kerana kadar pemindahan jisim bergantung kepada beberapa faktor yang mana kadangkala tidak dapat diukur secara tepat, seperti bentuk titisan, perbezaan saiz titisan serta proses yang berlaku semasa dalam turus RDC. Kajian ini berkisar tentang permodelan bagi masalah resapan fasa titisan yang berbeza saiz dalam suatu tahap dalam turus RDC menggunakan konsep resapan dalam titisan sfera dengan anggapan bahawa proses resapan dari fasa cecair ke fasa titisan berlaku serentak. Seterusnya, proses simulasi untuk proses peralihan jisim dari fasa media ke fasa titisan bagi satu tahap turus dilakukan menggunakan model peralihan jisim serentak.

## ABSTRACT

Liquid-liquid extraction is one of the important transfer operations in chemical engineering. In the design of extraction equipment, basic understanding of the mechanism of mass transfer between disperse phase and the continuous phase is very important. Typically, this problem is solved by means of measuring the mass transfer rate obtained from rotating disc extraction column (RDC) that was predicted by the model of simultaneous mass transfer. Because the mass transfer rate depends on several factors which sometimes can not be measured accurately, as the form of drops, drop size and the differences that occur in the RDC column. This study focuses on the modeling of the diffusion problem in different sizes of drop size in a stage of RDC column using the concept of diffusion in spherical drop with the assumption that the diffusion process from the continuous phase to the disperse phase occur simultaneously. Next, the simulation process for the mass transfer process of 10 drops with various sizes in a stage is done using simultaneous mass transfer model.

## KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
	<b>TAJUK</b>	i
	<b>PENGAKUAN</b>	ii
	<b>DEDIKASI</b>	iii
	<b>PENGHARGAAN</b>	iv
	<b>ABSTRAK</b>	v
	<b>ABSTRACT</b>	vi
	<b>KANDUNGAN</b>	vii
	<b>SENARAI JADUAL</b>	x
	<b>SENARAI RAJAH</b>	xi
<b>1</b>	<b>Pengenalan</b>	<b>1</b>
	1.1 Latar belakang kajian	1
	1.2 Penyataan masalah	2
	1.3 Objektif Kajian	3
	1.4 Skop Kajian	3
	1.5 Kepentingan Penyelidikan	3
	1.6 Organisasi Kajian	4
<b>2</b>	<b>KAJIAN LITERATUR</b>	<b>5</b>
	2.1 Pengenalan	5
	2.2 Pengekstrakan Cecair-cecair	5
	2.3 Turus Pengekstrakan Cecair Berputar(RDC)	7
	2.4 Proses Pengekstrakan dalam Turus RDC	11
	2.5 Peralihan Jisim	12
	2.6 Titisan	13

2.7	Pergerakan Titisan dalam Turus RDC	14
2.8	Halaju Titisan	17
2.8.1	Halaju Terminal Titisan	17
2.9	Taburan dan Hirodinamik Titisan	19
2.10	Model Perpecahan Titisan dalam Turus RDC	19
2.11	Model Kelas Titisan dalam turus RDC	20
2.12	Model Saiz titisan dalam suatu kelas dalam turus RDC	23
2.13	Model Matematik bagi proses Peralihan Jisim	24
2.13.1	Daya Pacu Linear dan Daya Pacu Kuadratik	24
2.13.2	Model Matematik Terlibat dalam Peralihan Jisim dari Media ke Titisan	25
2.14	Rumusan	27
<b>3</b>	<b>KAJIAN METODOLOGI</b>	<b>28</b>
3.1	Pengenalan	28
3.2	Pembentukan Model Peralihan Jisim Serentak bagi titisan pelbagai saiz	28
3.2.1	Proses Peralihan Jisim dari fasa media ke fasa titisan	29
3.2.1.1	Pekali filem peralihan bagi fasa selanjar	31
3.2.1.2	Pekali filem peralihan bagi fasa selanjar	32
3.2.2	Persamaan Resapan bagi Sfera	33
3.3	Model Matematik bagi Peralihan Jisim	38
3.3.1	Model Peralihan Jisim Diskret	39
3.3.2	Model Peralihan Jisim Diskret Serentak	40
3.4	Model Resapan pada satu tahap	42

<b>4</b>	<b>SIMULASI DAN ANALISIS DATA</b>	<b>50</b>
	4.1 Pengenalan	50
	4.2 Proses Simulasi	50
	4.3 Algoritma Peralihan Jisim Serentak bagi Titisan Pelbagai Saiz dalam satu tahap	52
	4.4 Keputusan Simulasi	53
	4.5 Kesimpulan	58
<b>5</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	<b>59</b>
	5.1 Pengenalan	59
	5.2 Kesimpulan	59
	5.3 Cadangan	60
	Rujukan	61

**SENARAI JADUAL**

<b>NO. JADUAL</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
2.1a	Sifat geometrik turus RDC	8
2.1b	Sifat fizikal sistem	9
3.1	Purata saiz diameter dan jejari dalam kelas $i$	47
4.1	Halaju terminal dan masa bagi titisan berada dalam suatu tahap	53
4.2a	Kepekatan titisan dan cecair media bagi titisan $d_1, d_2, d_3, d_4,$ dan $d_5$	54
4.2b	Kepekatan titisan dan cecair media bagi titisan $d_6, d_7, d_8, d_9,$ dan $d_{10}$	55

## SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Pengekstrakan Cecair-cecair	6
2.2	Rajah Skematik Turus RDC	10
2.3	Gambaran pergerakan titisan dalam turus RDC	16
2.4	Diameter kelas dalam suatu tahap turus RDC berdasarkan nilai R	22
3.1	Teori Dua- Filem Whitman	30
3.2	Proses Resapan Titisan dalam Cecair Media	31
3.3	Kepekatan awal titisan, $c_1$ dan kepekatan pada permukaan titisan, $c_0$	34
3.4	Titisan berjejari $a$	36
3.5	Kepekatan awal cecair media dalam suatu tahap	44
4.1a	Graf kepekatan bagi setiap titisan terhadap masa	56
4.1b	Graf kepekatan bagi cecair media bagi setiap titisan terhadap masa	57



## BAB 1

### Pengenalan

#### 1.1 Latar Belakang Kajian

Kajian pengekstrakan cecair-cecair adalah subjek penting yang diperbincangkan bukan sahaja di kalangan jurutera kimia tetapi juga di kalangan ahli matematik. Pengekstrakan cecair-cecair merupakan operasi pemindahan besar-besaran di mana ia adalah proses memisahkan komponen cecair dengan menggunakan cecair lain yang dikenali sebagai pelarut [1, 2, 3]. Dua fasa yang terbentuk selepas penambahan pelarut(*solvent*), kerana perbezaan ketumpatan. Pelarut dipilih supaya bahan larut(*solute*) dalam larutan mempunyai lebih cenderung ke arah pelarut. Oleh itu, pemindahan jisim bahan larut daripada larutan kepada pelarut berlaku.

Pemindahan jisim adalah pergerakan jisim dari satu lokasi, contohnya daripada fasa, pecahan atau komponen yang lain. Pemindahan jisim berlaku dalam banyak proses, seperti penyerapan, penyejatan, penyerapan, pengeringan, hujan, penapisan membran, dan penyulingan. Pemindahan jisim digunakan oleh bidang saintifik yang berbeza untuk proses dan mekanisme yang berbeza [4, 5, 7].

Terdapat banyak alatan yang digunakan dalam proses pengekstrakan cecair-cecair. Keberkesanan proses pengekstrakan adalah bergantung kepada penggunaan alat pengekstrakan. Justeru itu, banyak kajian dan penyelidikan dijalankan bagi memastikan keberkesanan dan kecekapan suatu alat. Dalam kajian ini, alat pengekstrakan yang dipertimbangkan adalah turus pengekstrakan cakera berputar (*Rotating Disc Contactor column, RDC*).

Turus pengestrakan cakera berputar(RDC) telah diperkenalkan oleh Royal Dutch / Shell Group pada pertengahan abad yang lalu. Turus RDC adalah salah satu peralatan mekanikal yang digunakan secara meluas dalam proses pengestrakan cecair-cecair. Ia biasanya digunakan apabila proses pengestrakan melalui penyulingan tidak berkesan kerana sifat cecair tertentu yang sensitif terhadap suhu yang terlalu tinggi semasa proses penyulingan [2].

Beberapa model telah dibangunkan bagi proses pengestrakan di dalam turus RDC. Model-model yang dibangunkan menunjukkan bahawa taburan saiz titisan dan proses pemindahan jisim adalah faktor penting untuk keberkesanan turus [2, 7]. Dalam ruang RDC yang sebenar, fasa serakan disuntik ke dalam ruang turus dalam bentuk titisan. Kumpulan titisan akan bergerak ke atas dan memecah membentuk titisan kecil kerana terkena cakera yang berputar di bahagian tengah turus. Pada masa yang sama, proses pemindahan jisim berlaku dalam proses pengestrakan di dalam RDC. Kajian ini adalah lanjutan daripada model DMT dan S-DMT yang masing-masing dibangunkan oleh Talib[26] dan Mohamed[29]. Kedua-dua model yang dibangunkan adalah berdasarkan peralihan jisim secara diskret.

## **1.2 Pernyataan Masalah**

Model pemindahan jisim yang dibangunkan sebelum ini adalah berdasarkan andaian bahawa proses peralihan jisim yang berlaku dalam proses pengestrakan cecair-cecair adalah serentak. Penyelesaian masalah resapan adalah berdasarkan persamaan resapan sfera. Kajian ini menganggap titisan mencapai keseimbangan dari segi kedudukan titisan yang berada dalam turus, adakah model bagi menentukan bahawa proses peralihan jisim serentak bagi 10 titisan yang berbeza saiz dapat dibangunkan?

### **1.3 Objektif Kajian**

Kajian ini mempunyai tiga objektif utama iaitu:

- i. mengenalpasti persamaan resapan yang digunakan dalam menentukan kepekatan
- ii. membentuk model matematik bagi masalah resapan serentak dalam turus RDC pada satu tahap
- iii. mensimulasi kepekatan titisan berbagai saiz bagi satu tahap.

### **1.4 Skop Kajian**

Kajian ini melibatkan pengekstrakan cecair-cecair dengan anggapan titisan berbentuk sfera dengan diameter antara 0.49mm sehingga 7.05mm. Kajian ini dihadkan kepada satu tahap dalam turus RDC.

### **1.5 Kepentingan Kajian**

Kajian ini adalah untuk mendapatkan model matematik bagi menunjukkan bahawa proses resapan dalam turus RDC berlaku serentak. Ketepatan ramalan suatu andaian proses pengekstrakan yang berlaku dalam turus adalah penting bagi menjamin kecekapan dan keberkesanan perjalanan turus RDC bagi menghasilkan pengekstrakan yang maksimum dalam memisahkan komponen-komponen cecair. Pemisahan komponen ini penting dalam mendapatkan bahan tulen dari sistem cecair yang bercampur atau bercampur separa. Konsep resapan cecair dalam proses pengekstrakan ini juga boleh digunakan untuk resapan menggunakan gas. Model yang akan dibangunkan ini juga boleh diaplikasikan dalam menentukan peralihan jisim bagi kelas titisan yang berbeza.

## **1.6 Oganisasi Kajian**

Kajian ini adalah untuk menentukan peralihan jisim serentak bagi titisan-titisan yang pelbagai saiz. Pada bab 1, ia menerangkan pendahuluan kajian yang memperihalkan tentang latar belakang kajian, pernyataan masalah, objektif kajian, skop kajian dan kepentingan penyelidikan. Bab 2 pula memuatkan kajian literatur yang menerangkan asas proses pengekstrakan cecair-cecair, latar belakang turus pengekstrakan cakera berputar (RDC) dan beberapa faktor serta model yang terlibat. Metodologi dan pembentukan model pula dijelaskan secara terperinci dalam bab 3. Bab ke 4 pula membincangkan keputusan yang diperolehi dari simulasi menggunakan model peralihan jisim serentak bagi titisan-titisan pelbagai saiz. Akhir sekali, didalam bab 5, kesimpulan dan cadangan dibincangkan.

**Rujukan:**

- [1] Herdi Budiman, Jamalludin Talib, *Prolate Spheroidal Coordinate: An Approximation To Modeling Of Ellipsoidal Drops In Rotating Disc Contractor Column*, Journal of Science Technology. 87-95.
- [2] Arshad, K. A., Talib, J., & Maan, N. (2006). *Mathematical Modelling Of Mass Transfer In Multi-Stage Rotating Disc Contactor Column*.
- [3] Robbins, L. A., "Liquid-Liquid Extraction", in Perry's Chemical Engineers' Handbook, Sixth Ed., D. Green and R. H. Perry, McGraw Hill, New York, NY, p 51-1, (1984)
- [4] Herdi Budiman, Jamalludin Talib, *Modeling Of Mass Transfer Process of Prolate Spheroidal Drops In Rotating Disc Contractor Column*, Journal of Science Technology.73-79
- [5] Koster, W.C.G. *Handbook of Solvent Extraction*. J. Wiley and Sons. 1983
- [6] Korchinsky, W.J. Rotating Disc Contactor. In: Godfrey, J.C. and Slater, M.J. *Liquid-Liquid Extraction Equipment*. England: J. Wiley and Sons. 247-276; 1994
- [7] Laddha, G.S. and Degaleesan, T.E. *Transport Phenomena in Liquid Extraction*. Tata Mc.Graw-Hill Publishing Co Ltd. 1976
- [8] Laddha, G.S. ,Degaleesan, T.E and Kannapan,R. *Hydrodynamics and Mass Transport in Rotary Disc Contactors*. The Canadian Journal of Chemical Engineering. 137-150.1978
- [9] Kumar A., Hartland S., *Unified Correlations for the Prediction of Drop Size in Liquid-Liquid Extraction Columns*, Ind. Eng. Chem. Res., 35, p. 2682 (1996).
- [10] Desnoyer C., Masbernat O., Gourdon C., *Experimental Study of Drop Size Distributions at High Phase Ratio in Liquid-Liquid Dispersions*, Chemical Engineering Science, 58, p. 1353 (2003).
- [11] Bahmanyar, H., Chang-Kakoti D.K., Garro, L., Liang, T.B. and Slater, M.J. *Mass Transfer from single Drops in Rotating Disc, Pulsed Sieve Plate and Packed Liquid-liquid Extraction columns* Trans. Institute Chemical Engineers. 1990. 68A: 74-83
- [12] Crank, J. *The Mathematics of Diffusion*. Second Edition. London: Oxford University Press. 1978
- [13] Michel Perrut, Jean-Yves Clavier, *Supercritical Fluid Formulation: Process Choice and Scale-up*, Ind. Eng. Chem. Res., 42, p. 6375 (2003).

- [14] Perrut M., Loutaty R., *Drop Size in a Liquid-Liquid Dispersion: Formation in Jet Break-up*, Chem. Eng. J., 3(3), p. 286 (1972).
- [15] Kumar A., Hartland S., *Prediction of Drop Size Produced by a Multiorifice Distributor*, Trans. Inst. Chem. Eng., 60, p. 35 (1982).
- [16] Chun B. S., Wilkinson G. T., *Drop Size and Hold-up in Countercurrent Extraction with Supercritical CO<sub>2</sub> in Spray Column*, Ind. Eng. Chem. Res., 39, p. 4673 (2000).
- [17] Vedaiyan S., Degaleesan T. E., Laddha G. S., *Mean Drop Size & Characteristic Velocity of Drop Swarm in Spray Column*, Indian J. Technol., 12, p. 135 (1974).
- [18] Seibert A. F., Fair J. R., *Hydrodynamics and Mass Transfer in Spray and Packed Liquid-Liquid Extraction Columns*, Ind. Eng. Chem. Res., 27, p. 470 (1998).
- [19] Bahmanyar, H. *Drop Breakage and Mass Transfer Phenomena in a Rotating Disc Contactor Column*. Ph.D. Thesis. Bradford University, Bradford, U.K.; 1988
- [20] Bahmanyar, H. and Slater M.J. *Studies of Drop Break-up in Liquid-liquid Systems in a rotating Disc Contactor*. Part 1: Conditions of No Mass Transfer. Chemical Engineering & Technology. 1991. 14(2):78-89.
- [21] Bahmanyar, H. Dean, D.R., Dowling, I.C., Ramlochan, K.M. and Slater M.J. *Studies of Drop Break-up in Liquid-liquid Systems in a rotating Disc Contactor*. Part II: Effects of Mass Transfer and Scale-up. Chemical Engineering & Technology. 1991. 14(3):178-185.
- [22] Delgado, J.M.P.Q. (2007). *Mass transfer around a spheroid buried in granular beds of small particles and exposed to fluid flow*. Chemical Engineering Technology. 50(6): 797-801
- [23] Godfrey J.C., Slater, M. J., *Liquid-Liquid Extraction Equipment*, John Wiley & Sons, 1994.
- [24] Slater, M. J., Godfrey J.C., Chang-Kakoti D.K., Fei, W.Y., *Drop Sizes and Distribution in Rotating Disc Contactors*. J. Separ. Proc. Tech. 1985:40-48.
- [25] Vermuelen, T. *Theory for Irreversible and Constant-Pattern Solid Diffusion*. Industrial and Engineering Chemistry. 1953. 45(8):1664-1669.
- [26] Talib, J. *Mathematical Model of Rotating Disc Contactor Column*. Ph.D. Thesis. Bradford University, Bradford, U.K.; 1994
- [27] Harold R., Null and Horner F. Johnson, *Drop Formation in Liquid-Liquid System from Single Nozzles*, AIChE Journal, 4(3), p. 273 (1958).

[28] Maan, N., Talib, J., Arshad, K. A., & Ahmad, T. (2005). *On determination of input parameters of the mass transfer process by fuzzy approach. Matematika, 21(2), 89-101.*

[29] Muhamed, A.H. *Model Peralihan Jisim Diskret Serentak Bagi Resapan Titisan*, Ms. Thesis. Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, Malaysia; 2000