PENGUKURAN SOLUBILITAS N-AMYLALKOHOL DALAM POLY(N-BUTYL METHACRYLATE) DAN POLYISOBUTYLENE MENGGUNAKAN METODE PIEZO ELECTRIC-QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE SORPTION

Gede Wibawa, Rica Widi Lestari, Sofia Wardhani
Laboratorium Termodinamika,
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp. (031)5946240, Fax. (031)5999282
E-mail : gwibawa@chem-eng.its.ac.id

Naskah diterima 2 Oktober 2005, dinilai 4 Oktober 2005, dan disetujui 9 Nopember 2005

Abstrak

Dalam penelitian ini, metode Piezoelectric Quartz Crystal Microbalance (QCM) digunakan untuk mengukur kelarutan pelarut n-amylalkohol dalam polimer poly(n-butyl methacrylate) dan polyisobutylene pada temperatur 333,15 K, 343,15 K dan 353,15 K. Kristal yang digunakan adalah jenis AT-Cut 5 MHz, diameter 5,5 mm dan ketebalan 0,3 mm. Reliabilitas dari pengukuran di tes dengan membandingkan hasil pengukuran dengan data literatur untuk sistem benzene-polyisobutylene pada temperatur 338,15K. Kelarutan n-amyl alkohol dalam polyisobutylene tidak dapat terdeteksi pada range temperatur eksperimen dengan peralatan yang ada karena kelarutannya rendah. Untuk kelarutan n-amylalkohol dalam poly(n-butyl methacrylate), semakin besar suhu, kelarutannya semakin rendah dan data eksperimen dapat dikorelasikan menggunakan persamaan UNIQUAC dengan rata-rata deviasi absolut sebesar 3,8%.

Kata Kunci : Kelarutan, Quartz Crystal Microbalance, Pelarut, Polimer

Abstract

The Piezoelectric Quartz Crystal Microbalance (QCM) method was used to measure the solubilities of n-amylalcohol in poly(n-butyl methacrylate) and polyisobutylene at temperatures of 333.15 K, 343.15 K and 353.15 K. The crystals used were 5 MHz, AT-Cut, 5.5 mm in diameter and 0.3 mm in thick. Reliability of the measurements was confirmed by comparing the present data with the literature data for the system of benzene-polyisobutylene at temperature 338.15 K. The solubilities of n-amyl alcohol in polyisobutylene were undectedable in the range of temperature experiments by the present apparatus because of the low solubility. For the solubilities of n-amyl alcohol in ploy(n-butyl methacrylate) the higher temperature, the lower solubility and the experimental data could be correlated by the UNIQUAC equation with average absolute deviation between experimental and calculated solvent activities of 3.8%.

Keywords : Solubility, Quartz Crystal Microbalance, Solvent, Polymer

1. Pendahuluan

Dalam perkembangan teknologi polimer, material polimer telah diproduksi untuk beberapa aplikasi seperti teknologi pesawat terbang, elektronika, otomotif, biomedikal dan peralatan rumah tangga. Proses polimerisasi sendiri pada umumnya melibatkan pelarut yang mempunyai berat molekul rendah dan bersifat mudah menguap, sehingga perlu dihilangkan dari produk akhir polimer agar produk tersebut memenuhi standar kesehatan, keamanan dan peraturan-peraturan lingkungan. Untuk dapat mendesain proses dan peralatan pemisahan yang rasional diperlukan pengetahuan data kelarutan pelarut dalam polimer. Di samping itu data tersebut berguna sebagai perangkat dalam pengembangan teori kelarutan.

Data kelarutan pelarut dalam polimer diukur selama bertahun-tahun dan dikoleksi salah satunya dalam Polymer Data Collection oleh Wen dkk. (1992). Namun data tersebut masih sangat terbatas baik dari jumlah maupun kondisinya jika dibandingkan dengan banyaknya data yang tersedia untuk sistem non-polimer.

Aplikasi metode *quartz crystal microbalance* (QCM) untuk mengukur kelarutan uap pelarut dalam polimer telah digunakan diantaranya oleh Masuoka dkk. (1984), Wong dkk. (1997), French dkk (1999), Boudoris dkk. (2001), Wibawa dkk. (2002a) dan Wibawa dkk. (2002b) karena metode tersebut mempunyai kelebihan antara lain pencapaian kondisi kesetimbangan cepat, sensitif dan dibutuhkan sampel polimer dalam jumlah sangat sedikit jika dibandingkan teknik-teknik lain seperti *quartz spring balance* (Lieu dkk., 2000) dan kromatografi *gas-liquid* (Maloney dan Prausnitz, 1976)

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur kelarutan uap *n*-amilalkohol dalam polyisobutylene dan poly(*n*-butyl methacrylate) pada temperatur 333,15 K, 343,15 K dan 353,15 K dengan metode QCM. Data yang diperoleh dikorelasikan dengan persamaan UNIQUAC.

2. Fundamental

Kelarutan uap pelarut dalam larutan polimer adalah kesetimbangan termodinamika antara fasa uap dan cair sehingga salah satu syarat terjadinya kesetimbangan tersebut adalah isofugasitas yaitu fugasitas pelarut dalam fasa uap sama dengan fugasitas pelarut dalam fasa cair:

$$\hat{f}_1^V = \hat{f}_1^L \quad (1)$$

dimana

$$\hat{f}_1^V = \hat{\phi}_1 \cdot y_1 \cdot P \quad (2)$$

$$\hat{f}_1^L = a_1 \cdot f_1 \quad (3)$$

Karena polimer tidak mudah menguap maka fasa uap hanya terdiri dari pelarut murni, sehingga persamaan (2) menjadi:

$$\hat{f}_1^V = \hat{\phi}_1 \cdot P \quad (4)$$

Fugasitas komponen murni pada tekanan rendah bisa diperkirakan dengan persamaan berikut:

$$f_1 = \phi_1^{\text{sat}} \cdot P_1^{\text{sat}} \quad (5)$$

Sehingga persamaan (1) menjadi

$$\hat{\phi}_1 \cdot P = a_1 \cdot \phi_1^{\text{sat}} \cdot P_1^{\text{sat}} \quad (6)$$

Untuk tekanan rendah, koefisien fugasitas fasa uap, dan koefisien fugasitas ϕ_1 uap jenuh, ϕ_1^{sat} bisa diperkirakan dengan persamaan virial sampai term ke 2 sehingga persamaan (6) menjadi:

$$a_1 = \frac{P}{P_1^{\text{sat}}} \exp \left[\frac{-B_1(P_1^{\text{sat}} - P)}{RT} \right] \quad (7)$$

Dimana koefisien persamaan virial untuk pelarut, B_1 dapat dihitung dari korelasi Tsonopolous (1974). Pada umumnya, kelarutan pelarut dalam polimer pada temperatur tertentu dinyatakan sebagai hubungan antara fraksi masa pelarut dalam polimer dengan aktifitas pelarut. Sehingga berdasarkan persamaan (7) aktifitas mengekspresikan tekanan kesetimbangan.

Aktifitas pelarut dalam larutan polimer dapat dikorelasikan dengan persamaan UNIQUAC (Abrams dan Prausnitz, 1975), karena persamaan tersebut terdiri dari dua suku yaitu suku kombinatorial yang memperhitungkan perbedaan ukuran antara pelarut yang berukuran kecil dan polimer yang berukuran besar, dan bagian residual yang memperhitungkan pengaruh entalpi pencampuran yang diakibatkan oleh interaksi antar molekul. Untuk campuran biner, persamaan UNIQUAC dari koefisien aktifitas pelarut dalam polimer adalah:

$$\ln \gamma_1 = \ln \gamma_1^C + \ln \gamma_1^R \quad (8)$$

Hubungan aktifitas dengan koefisien aktifitas:

$$a_1 = x_1 \cdot \gamma_1 \quad (9)$$

dari persamaan (8) dan (9) diperoleh:

$$\ln a_1 = \ln \gamma_1^C + \ln \gamma_1^R + \ln x_1 \quad (10)$$

dimana C dan R menunjukkan suku kombinatorial dan residual. Untuk suku kombinatorial:

$$\ln \gamma_1^C = \ln \frac{\phi_1}{x_1} + \phi_2 + \frac{z}{2} M_1 q_1 \ln \frac{\theta_1}{\phi_1} - \frac{z}{2} M_1 q_1 \left(1 - \frac{\phi_1}{\theta_1} \right)$$

Untuk bagian residual :

$$\ln \gamma_i^R = M_i q_i \left[1 - \ln \left(\sum_j \theta_j \tau_{ji} \right) - \sum_j \left(\theta_j \tau_{ji} / \sum_j \theta_j \tau_{ji} \right) \right] \quad (12)$$

Dimana z ditetapkan nilainya sama dengan 10.
 ϕ dan θ_j masing-masing didefinisikan:

$$\phi_i = \frac{r_i w_i}{\sum_j r_j w_j} \quad (13)$$

$$\theta_i = \frac{q_i w_i}{\sum_j q_j w_j} \quad (14)$$

Parameter r_i dan q_i dihitung dari penjumlahan parameter-parameter grup volume molar, R_k dan parameter area group Q_k :

$$r_i = 1/M_i \sum_k v_k^{(i)} R_k \quad (15)$$

$$q_i = 1/M_i \sum_k v_k^{(i)} Q_k \quad (16)$$

Parameter group R_k dan Q_k didapat dari volume group Van der Waals, V_{wk} dan luas permukaan, A_{wk} diberikan oleh (Bondi, A, 1968).

$$R_k = V_{wk} / 15.17 \quad (17)$$

$$Q_k = A_{wk} / 2.5 \times 10^9 \quad (18)$$

Harga R_k dan Q_k untuk tiap fungsional group terdapat pada Poling *et al.* Parameter-parameter interaksi antara molekul didefinisikan:

$$\tau_{ij} = \exp \left(- \frac{a_{ij}}{T} \right) \quad (19)$$

dimana a_{ij} dioptimasi dari data eksperimen. Untuk sistem biner, dibutuhkan 2 parameter interaksi (a_{12} dan a_{21}) untuk tiap sistem.

3. Metodologi

Metode *piezoelectric quartz crystal microbalance* merupakan metode gravimetri dimana massa uap pelarut yang terserap dalam polimer, Δm dapat diketahui dengan mengukur perubahan frekuensi (*frequency shift*, ΔF) yang dinyatakan oleh (Sauerbrey, 1959) :

$$\Delta F = -C \cdot \Delta m \quad (20)$$

konstanta C adalah konstanta yang tergantung dari sifat fisik dan geometris kristal. Persamaan diatas diaplikasikan pada dua kasus dari pelapisan polimer (*frequency shift*, ΔF_0 akibat dari massa film polimer, Δm_0) dan uap pelarut yang terserap pada polimer (*frequency shift*, ΔF_1 akibat dari massa pelarut yang terserap ke film polimer). Sehingga, fraksi massa pelarut yang terserap pada

polimer, w_1 dapat diperoleh dari pengukuran perubahan frekuensi yang ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$w_1 = \frac{\Delta m_1}{\Delta m_0 + \Delta m_1} = \frac{\Delta F_1}{\Delta F_0 + \Delta F_1} \quad (21)$$

Bahan yang digunakan dalam eksperimen ini adalah dua jenis pelarut organik, yaitu: *benzene* dan *n-amylalkohol p.a* (99%) yang diperoleh dari E. Merck, Darmstadt tanpa dilakukan pemurnian lebih lanjut. Polimer yang digunakan ada dua jenis yaitu yaitu *poly n-butylmethacrylate* (PBMA) dan *polyisobutylene* (PIB) diperoleh dari Aldrich Chemical Co., Inc., dengan karakteristik ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik PIB dan PBMA

Polimer	T_g/K	T_m/K	$10^{-3} M_w/g.mol^{-1}$
PIB	197,2	274,7	500
PBMA	288,2	-	337

Diagram skematis peralatan QCM ditunjukkan dalam Gambar 1, dimana terdiri dari 4 bagian utama yaitu *sorption cell*, tangki pelarut, unit pengukuran frekuensi dan unit vakum. Temperatur *sorption cell* dan tangki pelarut diukur dengan *four-wire platinum resistance temperature detectors*, kemudian dicatat dengan *digital temperature indicator* (YOKOGAWA 7563) Kays dengan ketelitian 0,03 K.

Keterangan :

1. Pompa vakum
2. Waterbath
3. Tangki pelarut
4. Heater
5. Sorption cell
6. Quartz crystal
7. AC supply
8. Oscillator
9. Scanner
10. Frequency counter

Gambar 1. Diagram Skematis Metode QCM

Untuk menjaga temperatur pada *sorption cell*, *waterbath* dengan temperatur kontrol dipasang pada *sorption cell*. Sedangkan temperatur *solvent tank* dikontrol dengan pengontrol temperatur (Shimaden CO., LTD Japan). Ketelitian dari kedua pengontrol temperatur tersebut adalah 0,1 K. Untuk menghindari terjadinya kondensasi uap pelarut, temperatur saluran dari tangki pelarut ke *sorption cell* diset (5-10) K lebih tinggi dari temperatur sel dengan memasang *heating tape* sepanjang aliran tersebut.

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap yaitu: tahap *polymer coating*, tahap pengukuran frekuensi kristal dan tahap pengolahan data. Pada tahap *polymer coating*, kedua permukaan dari kristal dilapisi dengan larutan polimer. Larutan polimer dibuat dengan melarutkan polimer dalam toluena dengan konsentrasi 1 % massa polimer dan dipanaskan pada temperatur 80°C. Satu tetes larutan diinginkan (0,3 - 0,8) μm sesuai dengan *frequency shift* untuk *polymer coating* ($\Delta F_o = 3000\text{-}8000\text{ Hz}$) (Masuoka dkk., 1984).

Pada tahap pengukuran frekuensi, frekuensi kristal yang bersih ditentukan pertama kali pada temperatur yang diinginkan dan frekuensinya dicatat sebagai F_o . Setelah semua kristal dilapisi polimer kemudian kristal diinstall pada *sorption cell*. Zat-zat yang mudah menguap, kotoran dan udara dikeluarkan dari cell dengan menjalankan pompa vakum sampai frekuensi kristal konstan dan frekuensi kristal terlapisi polimer dicatat sebagai F_1 . Uap pelarut selanjutnya dialirkan dari tangki pelarut ke *sorption cell* dan frekuensi masing-masing kristal dicatat sebagai fungsi waktu. Jika frekuensi telah mencapai nilai stabil dengan toleransi kurang lebih 5 Hz, maka nilai frekuensi dicatat sebagai nilai kesetimbangan F_2 . Pada saat kesetimbangan tersebut suhu *sorption cell* dan tangki pelarut juga dicatat.

Fraksi massa pelarut yang terserap pada polimer ditentukan dengan menghitung perubahan frekuensi akibat lapisan polimer, ΔF_o dan perubahan frekuensi akibat terserapnya pelarut pada polimer, ΔF_1 :

$$\Delta F_o = F_o - F_1$$

$$\Delta F_1 = F_2 - F_1$$

Sehingga fraksi massa dapat ditentukan dengan persamaan (21). Aktivitas pelarut dihitung dengan persamaan (7) dimana tekanan kesetimbangan P sama dengan tekanan uap pelarut murni pada suhu tangki pelarut dan tekanan uap pelarut, P_1^{sat} pada suhu *sorption cell*. Tekanan uap dari

pelarut dihitung dengan persamaan Wagner dengan konstanta diperoleh dari Poling dkk. (2001).

Ketidakpastian dalam eksperimen dapat timbul dari pengukuran frekuensi dan temperatur baik pada *sorption cell* maupun tangki pelarut. Akurasi dalam pengukuran perubahan frekuensi selama eksperimen adalah 5 Hz dan akurasi pengukuran temperatur termasuk kontrol 0,13 K. Dari analisa ketidakpastian yang telah dilakukan diperoleh bahwa maksimum ketidakpastian dalam pengukuran fraksi masa pelarut adalah 7% yang ditemukan pada pengukuran kelarutan terendah untuk sistem *n*-amylalkohol + PBMA. Untuk data dengan kelarutan lebih tinggi ketidakpastian semakin rendah. Berdasarkan akurasi pengukuran suhu, korelasi untuk perhitungan tekanan uap dan korelasi untuk perhitungan koefisien persamaan virial, ketidakpastian dari aktifitas pelarut lebih rendah dari 1 %.

4. Hasil Pembahasan

Reliabilitas pengukuran dikonfirmasi dengan membandingkan data kelarutan yang diperoleh pada penelitian ini dan data publikasi yang ada (Masuoka dkk, 1984) untuk sistem benzene + PIB pada temperatur 338,15 K. Data eksperimen sesuai dengan data publikasi, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2. Aktivitas Benzene dalam PIB

Data kelarutan yang diperoleh pada eksperimen untuk sistem *n*-amylalkohol + PBMA ditunjukkan pada Tabel 2. Dari hasil yang diperoleh terlihat bahwa kelarutan amylalkohol dalam PBMA meningkat dengan naiknya suhu seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Kelarutan amylalkohol dalam PIB tidak dapat diukur secara akurat dengan peralatan yang ada, karena kelarutannya sangat rendah.

Tabel 2. Kelarutan N-amilalkohol dalam PBMA

T/K	w ₁	a ₁
333,15	0,025	0,312
	0,027	0,342
	0,030	0,379
	0,031	0,422
343,15	0,020	0,341
	0,024	0,411
	0,028	0,492
	0,031	0,555
	0,036	0,627
	0,038	0,693
	0,042	0,750
	0,046	0,813
353,15	0,051	0,897
	0,008	0,211
	0,013	0,331
	0,020	0,407
	0,023	0,483
	0,027	0,556
	0,031	0,626
	0,033	0,694
	0,037	0,761
	0,040	0,828
	0,046	0,891

Gambar 3. Aktivitas N-amilalkohol, dalam PBMA

Persamaan UNIQUAC dipilih untuk mengkorelasikan data eksperimen karena persamaan tersebut mengandung bagian kombinatorial yang dapat mengakomodasi

perbedaan ukuran molekul yang sangat besar antara pelarut dan polimer (Abrams dan Prausnitz, 1975).

Parameter interaksi dari persamaan UNIQUAC didefinisikan dengan fungsi linier terhadap temperatur:

$$a_{ij} = a_{ij}^{(0)} + a_{ij}^{(1)}(T - 273,15) \quad (21)$$

dimana untuk sistem biner $a_{12}^{(0)}$, $a_{21}^{(0)}$, $a_{12}^{(1)}$, dan $a_{21}^{(1)}$ adalah parameter yang tidak tergantung pada temperatur. sehingga untuk satu sistem pada range temperatur 333,15 sampai 353,15 K hanya dibutuhkan satu set parameter.

Parameter-parameter interaksi dari persamaan UNIQUAC yang diperoleh pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3. *Average absolute deviation* (AAD) untuk aktifitas pelarut antara data eksperimen dan hasil perhitungan adalah 3,8%.

Tabel 3. Parameter Interaksi Persamaan UNIQUAC untuk Sistem N-amilalkohol-PBMA

Parameter		AAD*/%
$a_{12}^{(0)} =$	-1230,622	3,8
$a_{12}^{(1)} =$	-197,036	
$a_{21}^{(0)} =$	32,070	
$a_{21}^{(1)} =$	0,001	

$$*AAD / \% = 1/N \left| (a_{1,cal} - a_{1,exp}) / a_{1,exp} \right| \times 100$$

5. Kesimpulan

Pada eksperimen ini, kelarutan untuk sistem *n*-amilalkohol dalam PBMA telah diukur dengan peralatan QCM pada range temperatur 333,15 K, 343,15 K dan 353 K. Validasi pengukuran dikonfirmasi dengan membandingkan data eksperimen dan data literatur yang ada untuk sistem benzene + PIB pada temperatur 338,15 K. Kelarutan *n*-amilalkohol dalam PIB tidak terdeteksi secara akurat. Kelarutan *n*-amilalkohol dalam PBMA menurun dengan kenaikan temperatur. Data tersebut dapat dikorelasikan menggunakan persamaan UNIQUAC dengan AAD 3,8%.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Dept. of Chem. Eng., Graduate School of Engineering, Hiroshima University atas Hibah peralatan eksperimen dan Jurusan Teknik kimia FTI-ITS atas bantuan dana melalui kontrak Hibah Penelitian Tahun Anggaran 2004/2005 No: 1676/K03.2.4/PL/2005.

Daftar Notasi

a	= aktivitas
a_{ij}	= group interaction parameter, K
B	= koefisien virial, $\text{m}^3 \text{mol}^{-1}$
F	= frekuensi, Hz
f	= Fugasitas
M	= berat molekul rata-rata
N	= banyak data
P	= tekanan, Pa
Q	= group surface parameter, m^2/mol
R	= group size parameter, m^3/mol
r	= molecular size parameter, m^3/mol
T	= temperatur, K
T_g	= glass temperature, K
T_m	= temperatur pelelehan, K
w	= fraksi massa
x	= fraksi mol
z	= bilangan koordinasi ($z = 10$)
θ	= fraksi area permukaan
φ	= fraksi volume
ϕ	= koefisien fugasitas
τ_{ij}	= parameter interaksi

Upperscript

C	= combinatorial term
L	= fasa cair
R	= term residual
V	= fasa uap

Subscript

$1, 2$	= pelarut, polymer
cal	= calculated value
exp	= experimental value
i, j	= komponen
sat	= saturated

Daftar Pustaka

- [1] Abrams, S. dan Prausnitz, J. M., (1975), "Statistical Thermodynamics of Liquid Mixtures: A New Expression for the Excess Gibbs Energy of Partly or Completely Miscible Systems", *AIChE J.* 21, hal.116-128.
- [2] Boudouris, D., Prinos, J., Bridakis, M., Pantoula, M. dan Panayiotou, C., (2001), "Measurement of HFC-22 and HFC-152 a sorption by Polymers using a Quartz Crystal Microbalance", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 40, hal. 604-611.
- [3] French, R. N. dan Koplos, G. J., (1999), "Activity Coefficients of Solvents in Elastomer Measured with a Quartz Crystal Microbalance", *Fluid Phase Equilib.*, 158-160, hal. 879-892.
- [4] Lieu, J.G., Prausnitz, J. M. dan Gauthier, M., (2000), "Vapor-liquid Equilibria for Binary Solutions Arborescent and Linear Polystyrenes", *Polymer*, 41, hal. 219 - 224.
- [5] Maloney, D. P. dan Prausnitz, J. M., (1976), "Solubilities of Ethylene and other Organic Solutes in Liquid, Low-density Polyethylene in The Region 124° to 300°C" *AIChE J.*, 22, hal. 74-82.
- [6] Masuoka, H., Murashige, N. dan Yorizane, M., (1984), "Measurement of Solubility of Organic Solvents in Polyisobutylene using the Piezoelectric-Quartz Sorption Method", *Fluid Phase Equilib.*, 18, hal 155-169.
- [7] Poling, B. E., Prausnitz, J. M. dan O'Connel, J. P., (2001), "The Properties of Gas and Liquids", fifth ed., The McGraw-Hill Companies Inc., USA, hal.7.3-7.7.
- [8] Sauerbrey, G., (1959), "Verwendung von schwingquarzen zur schichten und zur", *Z. Phys.*, 155, hal. 206-222.
- [9] Tsonopoulos, C., (1974), "An Empirical Correlation of Second Virial Coefficients" *AIChE J.*, 20, hal. 263.
- [10] Wen, H.; Elbro, H. S. dan Alessi, P. *Polymer Solution Data Collection Part 2+3; DECHEMA Chemistry Data Series; DECHEMA: Frankfurt am Main, Germany, 1992*
- [11] Wibawa, G., Takahashi, M., Sato, Y.; Takishima, S. dan Masuoka, H., (2002a), "Solubility of Seven Nonpolar Organic Solvents in Four Polymers using The Piezoelectric-quartz Sorption Method" *J. Chem. Eng. Data*, 47, hal. 518-524
- [12] Wibawa, G., Hatano, R., Sato, Y., Takishima, S. dan Masuoka, H., (2002b), "Solubility of 11 Polar Organic Solvents in Four Polymers using The Piezoelectric-Quartz Sorption Method", *J. Chem. Eng. Data*, 47, hal. 1022-1029
- [13] Wong, H., C., Campbell, S., W. dan Bhethanabotla, V. R., (1997), "Sorption of Benzene, Toluene and Chloroform by Poly(styrene) at 298.15 K and 323.15 K using a Quartz Crystal Balance", *Fluid Phase Equilib.*, 139, hal. 371-389