



LABORATORIUM KIMIA FISIKA
 Jurusan Kimia - FMIPA
 Universitas Gadjah Mada (UGM)


KINETIKA KIMIA
Sifat Transpor Molekul

Drs. Iqmal Tahir, M.Si.
 Laboratorium Kimia Fisika, Jurusan Kimia
 Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
 Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 55281
 Tel : 0857 868 77886; Fax : 0274-545188
 Email : iqmal@ugm.ac.id atau iqmal.tahir@yahoo.com
 Website : <http://iqmal.staff.ugm.ac.id>
<http://iqmaltahir.wordpress.com>


LABORATORIUM KIMIA FISIKA
 Jurusan Kimia - FMIPA, UGM

Sifat Transpor

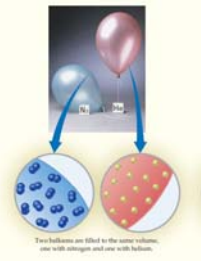
- Sifat transpor berupa perpindahan materi pada gas melewati lubang yang sangat kecil berupa fenomena efusi
- Gerakan atau transpor partikel lebih banyak diulas untuk kasus pada cairan.
- Sifat transpor yang dipelajari untuk cairan meliputi :
 - Diffusi \equiv perpindahan materi menurun mengikuti gradien perubahan konsentrasi
 - Konduksi Thermal \equiv perpindahan energi menurun mengikuti gradien perubahan temperatur
 - Konduksi listrik \equiv perpindahan muatan menurun mengikuti gradien perubahan potensial muatan
 - Viskositas \equiv perpindahan momentum linear materi menurun mengikuti gradien perubahan kecepatan


LABORATORIUM KIMIA FISIKA
 Jurusan Kimia - FMIPA, UGM

EFUSI

Sifat transpor berupa perpindahan materi pada gas melewati lubang yang sangat kecil.

Fenomena efusi pada balon



Jelaskan mengapa sekarang banyak orang menyukai pengisian ban kendaraan dengan menggunakan nitrogen daripada udara biasa ?


LABORATORIUM KIMIA FISIKA
 Jurusan Kimia - FMIPA, UGM

3

LAJU EFUSI

Untuk suatu gas pada tekanan p dan suhu T yang bersebelahan oleh ruang vakum dengan lubang kecil, laju yang ditempuh molekul untuk meninggalkan lubang adalah sama dengan laju molekul pada saat menumbuk luasan lubang.




LABORATORIUM KIMIA FISIKA
 Jurusan Kimia - FMIPA, UGM

4


LAJU EFUSI

Untuk suatu gas pada tekanan p dan suhu T yang bersebelahan oleh ruang vakum dengan lubang kecil, laju yang ditempuh molekul untuk meninggalkan lubang adalah sama dengan laju molekul pada saat menumbuk luasan lubang. Jika luas lubang adalah A_0 , maka jumlah molekul yang meninggalkan luasan per satuan waktu adalah :

$$Zw.A_0 = \frac{pA_0}{(2\pi m.kT)^{1/2}}$$

Persamaan tersebut menyatakan **hukum efusi Graham** :
 "Laju efusi berbanding terbalik dengan akar kuadrat massa molekul gas."

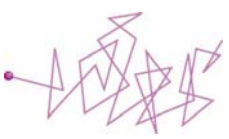
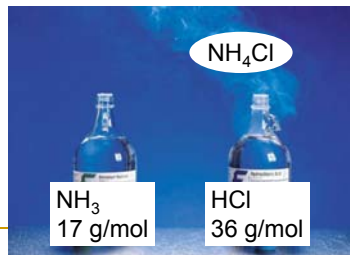
$$Zw.A_0 \sim \frac{1}{m^{1/2}}$$


LABORATORIUM KIMIA FISIKA
 Jurusan Kimia - FMIPA, UGM


5

Diffusion - the gradual mixing of molecules of one gas with molecules of another by virtue of their kinetic properties

Brownian motion

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{MM_2}{MM_1}}$$


LABORATORIUM KIMIA FISIKA
 Jurusan Kimia - FMIPA, UGM

LAJU EFUSI

Persamaan tersebut juga digunakan sebagai dasar metoda Knudsen untuk penentuan massa molar.

Untuk suatu massa molekul yang tidak diketahui dengan tekanan uap sampel yang diketahui misal pada padatan. Padatan ditempatkan pada wadah dengan tekanan uap p dan dihubungkan ke ruang dengan lubang kecil, laju hilangnya massa akan sebanding dengan p . Metode ini tidak bisa digunakan jika jalan bebas rata-rata atom sangat besar dibandingkan dengan diameter logam.

Perhitungan tekanan dapat dilakukan dengan urutan sebagai berikut, massa yang hilang pada selang waktu Δt berkaitan dengan frekuensi tumbukan.

$\Delta m = Z_w \cdot A_0 \cdot m \cdot \Delta t$
maka tekanan uap dapat dihitung :

$$P = \left(\frac{2\pi RT}{M} \right)^{1/2} \cdot \frac{\Delta m}{A_0 \Delta t}$$



LAJU EFUSI

Persamaan tersebut juga digunakan sebagai dasar metoda Knudsen untuk penentuan massa molar.

Untuk suatu massa molekul yang tidak diketahui dengan tekanan uap sampel yang diketahui misal pada padatan. Padatan ditempatkan pada wadah dengan tekanan uap p dan dihubungkan ke ruang dengan lubang kecil, laju hilangnya massa akan sebanding dengan p . Metode ini tidak bisa digunakan jika jalan bebas rata-rata atom sangat besar dibandingkan dengan diameter logam.

Perhitungan tekanan dapat dilakukan dengan urutan sebagai berikut, massa yang hilang pada selang waktu Δt berkaitan dengan frekuensi tumbukan.

$\Delta m = Z_w \cdot A_0 \cdot m \cdot \Delta t$
maka tekanan uap dapat dihitung :

$$P = \left(\frac{2\pi RT}{M} \right)^{1/2} \cdot \frac{\Delta m}{A_0 \Delta t}$$



Sifat transpor dan fluks

Sifat transpor dari suatu substansi adalah kemampuan untuk memindahkan materi, energi atau beberapa sifat spesifik lain dari satu tempat ke tempat lain.

- Difusi : transpor molekul (dalam fase gas, cairan atau padatan) yang berdifusi dari konsentrasi pekat ke konsentrasi yang lebih rendah sampai komposisi di semua bagian sama.
- Laju konduksi thermal: transpor energi akibat perbedaan temperatur adalah contoh karakteristik sifat transpor dari senyawa.
- Konduksi listrik adalah transpor muatan (oleh suatu ion atau elektron) dalam perbedaan potensial dan konduktivitas elektrik senyawa adalah sifat transpor juga.
- Viskositas adalah ukuran laju momentum linear yang dipindahkan pada suatu cairan juga contoh sifat transpor.

Laju perpindahan sifat yang diukur sebagai **fluks, J**, yang merupakan jumlah dari kuantitas sifat yang dipindah per satuan luas per satuan waktu.

- Massa yang mengalir \rightarrow satuan fluks massa : $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{detik}^{-1}$,
- Transpor energi \rightarrow satuan fluks energi : $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{detik}^{-1}$.



Sifat transpor dan fluks

Pengamatan eksperimen pada sifat transpor menunjukkan bahwa fluks suatu sifat sebanding dengan gradien dari sifat terkait pada sistem.

Sebagai contoh fluks materi sepanjang sumbu z sebanding dengan perubahan konsentrasi sepanjang sumbu :

$$J_z(\text{materi}) \approx \frac{dN}{dz}$$

Kesetaraan fluks materi dengan gradien konsentrasi ini disebut hukum difusi Fick yang pertama.

Untuk laju difusi thermal (fluks energi dari gerakan panas) adalah sebanding dengan gradien suhu :

$$J_z(\text{energi}) \approx \frac{dT}{dz}$$



Laju difusi termal

Harga fluks J_z adalah suatu komponen vektor. Jika $J_z > 0$, maka fluks sebanding dengan kenaikan z (ke arah kanan) dan jika $J_z < 0$ maka fluks ke arah kiri. Materi mengalir sesuai gradien konsentrasi sehingga jika $dN/dz < 0$ maka J_z adalah positif.

Dengan demikian koefisien penyetera dalam persamaan fluks materi haruslah negatif dan kita nyatakan sebagai $-D$.
Persamaan fluks difusi

$$J_z(\text{materi}) = -D \frac{dN}{dz}$$

dimana konstanta D adalah koefisien difusi.

Persamaan fluks difusi thermal

$$J_z(\text{energi}) = -K \frac{dT}{dz}$$

dimana K adalah koefisien konduktivitas thermal.

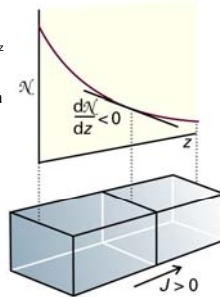


Figure 21-10
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 W. H. Freeman and Co. All rights reserved.



Sifat transpor dan fluks

Untuk melihat hubungan antara fluks momentum dengan viskositas kita lihat fluida dalam bentuk aliran newton (suatu aliran dapat dibayangkan sebagai seri aliran yang disebut dengan lamina).

Lapisan di dekat dinding cenderung diam dan kecepatan lapisan berikutnya linear dengan jarak dari dinding. Molekul akan bergerak antara lamina dan membawa momentum pada komponen x dari bentuk lamina asalnya.

Lamina sebelah kanan akan lebih cepat dan menghasilkan kecepatan yang sama dengan penyamaan dan diinterpretasikan sebagai viskositas cairan.

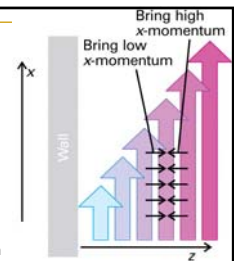


Figure 21-11
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 W. H. Freeman and Co. All rights reserved.

Karena efek tersebut tergantung pada perpindahan momentum $-x$ terhadap lamina terkait, viskositas tergantung pada fluks momentum $-x$ ke arah z . Fluks momentum sebanding dengan dv_x/dz karena tidak ada fluks netto jika semua lamina bergerak dengan kecepatan yang sama.

$$J_z(\text{momentum sepanjang } x) \approx \frac{dv_x}{dz} \quad \text{atau} \quad J_z(\text{momentum sepanjang } x) = -\eta \frac{dv_x}{dz}$$

dengan η adalah koefisien viskositas.



Proses viskositas

$$J_z(\text{momentum sepanjang } x) = -\eta \frac{dv_x}{dz}$$

dengan η adalah koefisien viskositas

$$\begin{aligned} J_z(\text{momentum}) &= -\eta \frac{dV_x}{dz} \\ \eta &= \frac{1}{3} \chi \bar{c} m \cdot N \\ &= \frac{m \bar{c}}{(3\sqrt{2}) \sigma} \end{aligned}$$

Satuan viskositas adalah $\text{kg m}^{-1} \text{ detik}^{-1}$



Proses konduktivitas

$$J_z(\text{energi}) = -K \cdot \frac{dT}{dz}$$

K = Koefisien konduktivitas thermal

$$\begin{aligned} K &= \frac{1}{3} \lambda \bar{c} c_v [X] \\ &= \frac{\bar{c} \cdot C_v}{(3\sqrt{2}) \sigma \cdot N_A} \end{aligned}$$

Satuan : $\text{JK}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{detik}^{-1}$



Data koefisien untuk beberapa jenis gas

Synoptic table 21.2* Transport properties of gases at 1 atm

	$\kappa/(\text{J K}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1})$			$\eta/(\mu\text{P})^\dagger$		
	273 K	273 K	293 K	273 K	273 K	293 K
Ar	0.0163	210	223			
CO ₂	0.0145	136	147			
He	0.1442	187	196			
N ₂	0.0240	166	176			

* More values are given in the *Data section*.

† $1 \mu\text{P} = 10^{-7} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$.



Data koefisien untuk beberapa jenis cairan

Synoptic table 21.4* Viscosities of liquids at 298 K

	$\eta/(\text{10}^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1})$
Benzene	0.601
Mercury	1.55
Propane	0.224
Water [†]	0.891

* More values are given in the *Data section*.

† The viscosity of water corresponds to 0.891 cP.

Table 21.4
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula



Proses difusi massa

$$J_z(\text{materi}) = -D \frac{dN}{dz}$$

D = koefisien difusi

$$D = \frac{1}{2} \lambda \cdot \bar{c}$$

Satuan $\text{m}^2 \text{ S}^{-1}$



Rangkuman

Table 21.3 Transport properties of perfect gases

Property	Transported quantity	Simple kinetic theory	Units
Diffusion	Matter	$D = \frac{1}{2} \lambda \bar{c}$	$\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$
Thermal conductivity	Energy	$\kappa = \frac{1}{3} \lambda \bar{c} C_{v,m} [A]$ $= \frac{\bar{c} C_{v,m}}{3\sqrt{2} \sigma N_A}$	$\text{J K}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$
Viscosity	Linear momentum	$\eta = \frac{1}{2} \lambda \bar{c} m \mathcal{N}$ $= \frac{m \bar{c}}{3\sqrt{2} \sigma}$	$\text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$

Table 21.3
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

