



**APROKSIMASI FUNGSI SUHU TERHADAP
KOEFSIEN DIFUSI PADA SUATU
ZAT CAIR**

Skripsi

Oleh :
TAJ' ROSYIDAH
010210102015

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2005**



PENGARUH SUHU TERHADAP KOEFISIEN DIFUSI PADA SUATU ZAT CAIR

Skripsi

*Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi syarat-syarat untuk menyelesaikan Pendidikan Sarjana Program Studi Pendidikan Fisika
Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Jember*

Oleh :
TAJ' ROSYIDAH
010210102015

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2005**

MOTTO

Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal. Yaitu orang-orang yang mengingat Allah Swt sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): “ Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia. Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka”

(QS Ali Imran : 190-191)

Setiap orang memiliki kelebihan dan kekurangan. Maka dengan keikhlasan dan bersabar dalam kekurangan, adalah suatu kelebihan. Dan dengan bersyukur atas kelebihan, maka itu adalah kemuliaan di hadapan-Nya.

(@eda, with love)

PERSEMBAHAN

**Atas Asma Allah yang maha rahman dan maha rahim
Skripsi ini saya persembahkan untuk**

Bundaku, Siti Tajekiyah

Curahan kasihmu yang tak terputus dan do'a panjangmu yang tak henti untukku, takkan pernah dapat kubalas. Hanya dengan sebuah do'a agar keluarga kita dikumpulkan di kampung akhirat.

Ayahandaku, Suyono

Tak ada lelaki lain yang mampu menggantikan kedudukan istimewamu di hatiku. Kesederhanaan dan kejujuran adalah pelajaran terindah. Engkau mendorongku tapi bukan memaksa, dan aku tak pernah merasa terdera melakukan semua nasihat dan didikanmu.

Almamater dan Kemajuan Ilmu Pengetahuan

HALAMAN PENGAJUAN

PENGARUH SUHU TERHADAP KOEFISIEN DIFUSI PADA SUATU ZAT CAIR

SKRIPSI

Diajukan untuk menyelesaikan Program Sarjana Strata 1 (S1)
Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan MIPA
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Jember

Disusun Oleh:

Nama Mahasiswa	: Taj' Rosyidah
Nomor Induk Mahasiswa	: 010210102015
Program	: Pendidikan Fisika
Angkatan	: 2001
Daerah Asal	: Mojokerto
Tempat, Tanggal Lahir	: Mojokerto, 04 Desember 1983

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Drs. Nuriman, Ph.d
NIP. 132 046 354

Drs. Alex Hariyanto, Gdip.Sc
NIP. 131 945 802

HALAMAN PENGESAHAN

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji dan Diterima oleh Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember pada :

Pada Hari :

Tanggal :

Tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Tim Penguji :

Ketua

Sekretaris

(.....)
NIP.

Drs. Alex Hariyanto, Gdip.Sc
NIP. 131 945 802

Anggota :

1. **Drs. Nuriman, Ph.d** (.....)
NIP. 132 046 354

2. **Drs. Trapsilo Prihandono** (.....)
NIP. 131 660 790

Mengetahui,

Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Universitas Jember

Drs. H. Imam Muchtar, S.H, M.Hum
NIP. 130 810 936

KATA PENGANTAR

Dengan ucapan syukur kehadiran Allah SWT, atas segala limpahan Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Pengaruh Suhu Terhadap Koefisien Difusi Pada Suatu Zat Cair” tanpa halangan yang berat.

Selama penulisan skripsi ini, penulis banyak mendapat dukungan dan bantuan baik secara moral maupun materiil, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Rektor Universitas Jember.
2. Dekan FKIP Universitas Jember.
3. Ketua Jurusan P. MIPA FKIP Universitas Jember.
4. Ketua Program Studi P. Fisika FKIP Universitas Jember.
5. Drs. Nuriman, Ph.d selaku dosen pembimbing I.
6. Drs. Alex Hariyanto, Grad.DipSc selaku dosen pembimbing II.
7. teman-teman mahasiswa fisika dan semua pihak yang telah membantu terselesainya skripsi ini.

Semoga segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan mendapat balasan yang sepadan dari Allah SWT.

Penulis menyadari dalam penulisan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dalam menambah pengetahuan bagi pembaca dan dapat dikembangkan lebih lanjut.

Jember Februari 2005

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal.
HALAMAN JUDUL	i
MOTTO	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN PENGAJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GRAFIK	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
ABSTRAK	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Definisi Operasional Variabel	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian	3
1.6 Manfaat Penelitian	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Zat Cair	5
2.1.1 Massa Jenis	5
2.1.2 Elastisitas	6
2.1.3 Kapilaritas dan Tegangan Permukaan	8
2.1.4 Tekanan Uap	9
2.1.5 Viskositas	9
2.2 Madel Kinetik Molekuler	11

2.3 Difusi	14
2.4 Koefisien Difusi	16
2.5 Suhu dan Koefisien Difusi	20
2.6 Tinjauan Bahan	21
2.6.1 Aquades.....	21
2.6.1 Madu Alam	21
BAB III. METODE PENELITIAN	22
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	22
3.2 Desain Penelitian	22
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	22
3.4 Desain Alat	23
3.5 Langkah Eksperimen	23
3.6 Analisa Data	24
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Data Penelitian	26
4.2 Analisa Data	27
4.3 Pembahasan	33
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	37
5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran	38
DAFTAR PUSTAKA	39

DAFTAR TABEL

No. Tabel	Judul Tabel	Hal.
(1)	(2)	(3)
3.1	Data hasil pengamatan pada salah satu jenis madu.	23
4.1	Data Jarak Rata-Rata Difusi Yang Telah Ditempuh <i>Solut</i> Pada <i>solvent</i> Aquades Pada Suhu 4 °C, 27 °C dan 50 °C.	26
4.2	Hasil Perhitungan Kecepatan (v_i) dan Koefisien Difusi (D_i) Madu Hutan Pada <i>solvent</i> Aquades.	27
4.3	Hasil Perhitungan Kecepatan (v_i) dan Koefisien Difusi (D_i) Madu Australia Pada <i>solvent</i> Aquades.	27
4.4	Hasil Perhitungan Kecepatan (v_i) dan Koefisien Difusi (D_i) Madu Randu Pada <i>solvent</i> Aquades.	27
4.5	Hasil Ralat Standar Deviasi Koefisien Difusi Untuk <i>Solut</i> Madu Hutan Pada <i>Solvent</i> Aquades.	28
4.6	Hasil Ralat Standar Deviasi Koefisien Difusi Untuk <i>Solut</i> Madu Australia Pada <i>Solvent</i> Aquades.	28
4.7	Hasil Ralat Standar Deviasi Koefisien Difusi Untuk <i>Solut</i> Madu Randu Pada <i>Solvent</i> Aquades.	28
4.8	Besar Kecepatan Difusi <i>Solut</i> Pada <i>Solvent</i> Aquades.	30

DAFTAR GRAFIK

No. Grafik	Judul Grafik	Hal.
(1)	(2)	(3)
4.1	Kecepatan Difusi Madu Hutan Pada <i>Solvent</i> Aquades.	29
4.2	Kecepatan Difusi Madu Australia Pada <i>Solvent</i> Aquades.	29
4.3	Kecepatan Difusi Madu Randu Pada <i>Solvent</i> Aquades.	30
4.4	Pengaruh Suhu Terhadap Koefisien Difusi Madu Hutan Pada <i>Solvent</i> Aquades.	31
4.5	Pengaruh Suhu Terhadap Koefisien Difusi Madu Australia Pada <i>Solvent</i> Aquades.	32
4.6	Pengaruh Suhu Terhadap Koefisien Difusi Madu Randu Pada <i>Solvent</i> Aquades.	32

DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Judul Gambar	Hal.
(1)	(2)	(3)
2.1	Besar tekanan selalu sama di semua arah pada fluida, jika tidak maka fluida akan mengalir.	7
2.2	Zat cair yang naik pada air dan zat cair yang turun pada air raksa.	8
2.3	Penentuan viskositas.	10
2.4	Tumbukan elastik sebuah molekul dengan dinding wadah yang diidealkan.	11
2.5	Sebuah molekul bergerak menuju dinding wadah dengan laju v .	12
2.6	a. Kondisi awal. b. Kondisi akhir.	14
2.7	Grafik penurunan konsentrasi pada peristiwa difusi.	15
2.8	Gerak acak partikel.	17
2.9	Sel dengan penampang A yang seragam di mana terjadi perpindahan karena difusi.	18
2.10	Difusi dari batas awal yang tajam dalam sel berpenampang seragam.	19
3.2	Desain alat penelitian.	23

DAFTAR LAMPIRAN

No. Lampiran	Judul Lampiran	Hal.
(1)	(2)	(3)
Lampiran 1	Matriks Penelitian.	40
Lampiran 2	Data Pengamatan.	42
Lampiran 3	Analisa Data.	43
Lampiran 4	Analisa Grafik.	46
Lampiran 5	Scribt M-File Untuk Analisa data.	48
Lampiran 6	Pembuktian Rumus.	52
Lampiran 7	Foto Kegiatan	53
Lampiran 8	Ijin Penelitian	54
Lampiran 9	Lembar Konsultasi Penyusunan Skripsi Dosen Pembimbing I.	55
Lampiran 10	Lembar Konsultasi Penyusunan Skripsi Dosen Pembimbing II.	56
Lampiran 11	Daftar Riwayat Hidup.	57

ABSTRAK

Taj' Rosyidah, 2006, Pengaruh Suhu Terhadap Koefisien Difusi Pada Suatu Zat Cair. Skripsi, Program Pendidikan Fisika, Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Pembimbing I : Drs. Nuriman, Ph.d
Pembimbing II : Drs. Alex Hariyanto, Dip. Sc

Difusi adalah pengangkutan netto bahan dalam fase tunggal tanpa proses mekanik atau melakukan konveksi. Difusi terjadi salah satunya adalah karena gradien konsentrasi. Gradien konsentrasi ini menunjukkan adanya perbedaan tekanan antara dua sisi zat cair yang berbeda. Zat cair yang memiliki konsentrasi lebih tinggi akan bergerak menuju zat cair yang konsentrasinya lebih rendah. Gerak pelarutan ini memiliki model gerak tertentu dan memiliki nilai koefisien difusi yang berbeda untuk tiap-tiap zat. Suhu memiliki peranan penting dalam laju setiap proses termasuk peristiwa difusi, sehingga perlu adanya penelitian untuk melihat peranan suhu dalam proses difusi. Tujuannya adalah untuk mengetahui persamaan kecepatan difusi, mengetahui nilai koefisien difusi zat, dan untuk mengetahui bagaimana pengaruh suhu terhadap koefisien difusi suatu zat. Penelitian ini adalah jenis penelitian eksperimen. Sampel yang digunakan adalah jenis madu alami yang memiliki warna alami dan bersifat larut dalam aquades. Madu yang digunakan adalah madu hutan, madu australia dan madu randu. Analisa data dilakukan dengan menggunakan ralat asal standar deviasi dan ralat grafik. Dari penelitian didapatkan hasil bahwa persamaan kecepatan pelarutan menunjukkan kecepatan semakin lama semakin lambat. Dengan nilai koefisien difusi pada suhu 4 °C, 27 °C dan 50 °C berturut-turut untuk madu hutan adalah 0,3454 mm²/dt, 0,5379 mm²/dt, 1,2379 mm²/dt, untuk madu australia 0,2266 mm²/dt, 0,4180 mm²/dt, 1,7764 mm²/dt, dan untuk madu randu 0,5595 mm²/dt, 0,71 mm²/dt, 2,7161 mm²/dt. Dari nilai koefisien difusi yang diperoleh untuk tiap-tiap suhu terlihat bahwa koefisien difusi terus meningkat seiring kenaikan suhu.

Kata Kunci : Suhu, Koefisien Difusi, Zat Cair

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengkajian fluida dapat didekati dengan persamaan gas ideal pada suatu tekanan dan massa jenis tertentu. Model gas ideal ini dapat menjelaskan dan membantu pemahaman tentang laju berbagai proses. Salah satunya adalah peristiwa difusi yang melibatkan distribusi kecepatan molekul cairan dalam bereaksi. Difusi adalah pengangkutan netto bahan dalam fase tunggal tanpa proses mekanik atau melalui konveksi. Difusi dapat terjadi akibat adanya gradien tekanan, gradien temperatur, medan-medan gaya dari luar, dan gradien konsentrasi (Reid, Prausnitz dan Sherwood, 1997:532).

Difusi karena gradien konsentrasi menunjukkan bahwa ada perbedaan massa bahan yang mengalir. Aliran yang terjadi ini menunjukkan adanya gerakan molekul dari cairan sebagai zat terlarut (*solut*) yang berpindah. Untuk difusi dalam cairan berbeda dengan difusi gas. Pertemuan antara reaktan dalam gas berada dalam ruang kosong, sedangkan pertemuan reaktan dalam cairan partikel-partikelnya harus berdesakan melalui pelarut (*solvent*). Maka laju difusi pada fase cair lebih rumit dari fase gas. Tetapi kecepatan maksimum untuk difusi dalam fase cair dapat didekati dengan menentukan koefisien difusi dari zat terlarut (*solut*).

Suatu molekul yang berdifusi dalam cairan bergerak karena adanya perbedaan konsentrasi. Pengaruh perbedaan konsentrasi menyebabkan perubahan bentuk dari energi potensial menjadi energi kinetik, yaitu energi yang dimiliki benda karena geraknya. Dalam peristiwa difusi, molekul bergerak diikuti dengan penurunan gradien konsentrasinya. Gerakan molekul berhenti saat konsentrasi dalam seluruh cairan seimbang. Setiap zat terlarut yang berdifusi ke pelarutnya memiliki kecepatan gerak tertentu. Dengan gerakan yang tidak seperti biasanya

maka, gerak perpindahan dari zat terlarut kepada pelarutnya dapat digunakan untuk menentukan koefisien difusi zat terlarut pada pelarutnya.

Pengkajian kalor dan sifat-sifat termal dari materi, sebetulnya dapat dikatakan sebagai suatu pengkajian mengenai energi dan perpindahan energi. Kejadian-kejadian pada kalor dapat diartikan dengan pertimbangan gerak molekul. Sebagai contoh, air yang hangat memiliki derajat gerak yang lebih tinggi dari air yang dingin. Temperatur dapat dipikirkan sebagai suatu ukuran energi kinetik dari gerak ini, atau dapat dikatakan temperatur sebuah benda dihubungkan secara langsung kepada energi kinetik rata-rata dari atom dan molekul yang membentuk benda tersebut, sehingga temperatur berpengaruh langsung terhadap laju berbagai proses seperti halnya difusi.

Dalam bidang rekayasa, kebutuhan untuk menemukan solusi persoalan secara praktis adalah jelas. Persoalan matematis yang diselesaikan dengan metode analitik terbatas, maka solusi persoalan masih bisa diselesaikan dengan metode numerik yang memformulasikan persoalan matematis sehingga dapat diselesaikan. Solusi yang diberikan metode numerik disebut juga solusi hampiran (*approximation*). Dengan adanya data-data yang diperoleh dari lapangan, maka persamaan atau fungsi yang paling mendekati bisa ditemukan. Penyelesaian dengan metode numeric ini bias diselesaikan dengan mudah memakai *software* komputer yang tersedia banyak, diantaranya dengan *software* MATLAB.

Bertolak dari uraian di atas, bahwa difusi melibatkan perpindahan zat terlarut pada pelarutnya. Perpindahan zat terlarut ini memiliki nilai koefisien tersendiri yang disebut koefisien difusi. Koefisien difusi ini tidak tergantung pada konsentrasi zat terlarut, tetapi dipengaruhi oleh temperatur. Dan karena data yang diperoleh adalah terbatas, maka perlu adanya pendekatan untuk menemukan fungsi yang paling mendekati titik-titik data yang diperoleh. Maka penelitian ini akan mengamati peristiwa difusi dan mengambil judul penelitian “Aproksimasi Fungsi Suhu Terhadap Koefisien Difusi Pada Suatu Zat Cair”.

1.2 Pokok Permasalahan

Dari uraian latar belakang, maka permasalahan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut :

- 1.2.1 Bagaimana persamaan kecepatan difusi zat cair pada pelarut air murni pada setiap suhu yang berbeda?
- 1.2.2 Berapakah besar koefisien difusi zat cair pada pelarut air murni pada suhu yang berbeda?
- 1.2.3 Bagaimana bentuk aproksimasi fungsi suhu terhadap koefisien difusi pada suatu zat cair?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan :

- 1.5.1 Mengetahui persamaan kecepatan difusi *solut* pada pelarut air murni pada suhu yang berbeda.
- 1.5.2 Mengetahui nilai koefisien difusi *solut* pada pelarut air murni pada suhu yang berbeda.
- 1.5.3 Mendapatkan fungsi pengaruh suhu *solut* terhadap nilai koefisien difusi pada suatu zat cair.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini nantinya diharapkan bisa memberi manfaat sebagai berikut:

- 1.6.1 Koefisien difusi bisa digunakan sebagai faktor pengontrol dalam menentukan tekanan osmosis.
- 1.6.2 Bagi mahasiswa, bisa menambah wawasan dan menguatkan konsep yang dimiliki mengenai difusi pada khususnya dan fisika secara keseluruhan pada umumnya.
- 1.6.3 Bagi pembaca, bisa sebagai masukan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Zat Cair

Setiap bahan memiliki sifat seperti wujudnya. Zat padat pada umumnya mempunyai bentuk yang tertentu, sedangkan zat cair dan zat gas mempunyai bentuk sesuai dengan yang ditempatinya. Perbedaan pokok antara zat cair dan zat gas (sebagai fluida) adalah bahwa gas akan memenuhi semua wadah yang ditempatinya. Fluida didefinisikan sebagai suatu zat yang terus menerus berubah apabila mengalami tegangan geser.

Fluida (zat cair dan gas) berhubungan dalam kehidupan sehari-hari. Gejala-gejala alam terjadi akibat gaya-gaya yang ditimbulkan oleh aliran fluida. Peristiwa naiknya air tanah ke daun, peristiwa tercampurnya air sungai dan air laut dan sebagainya adalah akibat dari adanya aliran suatu fluida. Semua fluida sejati mempunyai ciri-ciri khas yang penting dalam dunia rekayasa, antara lain kerapatan, elastisitas, kapilaritas, tekanan uap, dan viskositas (Muthmainah, 1999:1).

2.1.1 Massa Jenis

Salah satu sifat bahan yang umum adalah tentang massa jenisnya. Semua bahan terdiri dari molekul-molekul yang masing-masing tidak terikat di tempat tertentu, tetapi saling bergerak terhadap yang lain. Zat cair yang tersusun dari partikel-partikel yang diskret, tetapi zat cair itu tetap mempunyai sifat-sifat yang menyeluruh / *continuum* (Ruben M. Olsen dan Steven J Wright, 1993:12). Massa jenis ini ditentukan dengan cara menghitung nisbah (*ratio*) massa zat yang terkandung pada bagian tertentu terhadap volume bagian tersebut. Massa jenis ini disebut juga sebagai rapatan (*density*)

Jika suatu sampel bahan yang materialnya homogen mempunyai massa m dan volume v , maka massa jenis atau kerapatannya adalah :

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.1)$$

(simbol ρ adalah huruf Yunani “rho”). Dalam satuan SI massa jenis diukur dalam kilogram per meter kubik ($\frac{kg}{m^3}$).

(Young dan Fredman, 2000:426)

Massa jenis adalah sifat bahan yang bersifat intensif, yaitu sifat yang tidak tergantung dari ukuran sampel yang diperiksa. Sifat bahan yang lain adalah sifat ekstensif, yaitu sifat bahan yang tergantung dari ukuran sampel. Pada sifat ekstensif, angka pembandingnya adalah tetap. Sehingga sifat intensif dapat dibuat dengan membandingkan dua sifat ekstensifnya (James E Brady, 1999:31).

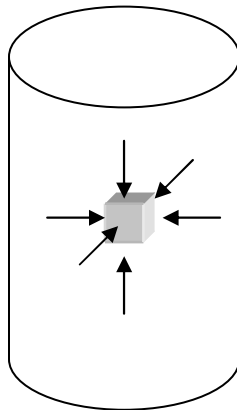
Suatu cairan baik itu senyawa ataupun campuran memiliki nilai massa jenis tertentu. Massa jenis dari cairan itu menunjukkan adanya komposisi penyusun yang berbeda dari cairan yang lain. Mengukur massa jenis cairan merupakan tehnik analisis yang penting. Sebagai contoh dalam peristiwa difusi, massa jenis zat terlarut dapat menentukan laju perpindahan zat terlarut yang akan menentukan nilai koefisien difusi cairan sebagai zat terlarut pada pelarutnya.

2.1.2 Elastisitas

Elastisitas atau kompreibilitas adalah pemampatan oleh suatu tekanan dari luar yang bekerja terhadap suatu tekanan dari luar yang bekerja terhadap suatu volume fluida (Muthmaningsih, 1998:2). Zat cair berbeda kompreibilitasnya dengan zat gas. Untuk gas, jika dimampatkan maka volumenya akan semakin mengecil. Sedangkan zat cair, jika dimampatkan maka tekanannya akan diteruskan ke segala arah. Oleh karena itu maka rem mobil tidak menggunakan gas, tetapi oli agar tekanan

bisa diteruskan. Hal ini sesuai dengan pernyataan bahwa fluida memberikan tekanan ke segala arah (Tipler, :327).

Jika fluida tidak mengalir, maka tekanan-tekanan pada setiap sisi harus sama. Sifat penting fluida dalam keadaan diam adalah bahwa gaya yang disebabkan oleh tekanan fluida adalah tegak lurus terhadap permukaan yang bersentuhan dengannya. Jika ada komponen gaya yang sejajar dengan permukaan seperti pada gambar 2.1, maka menurut hukum Newton ketiga, permukaan akan memberikan gaya kembali pada fluida yang juga akan memiliki komponen sejajar dengan permukaan.



Gambar 2.1. Besar tekanan selalu sama di semua arah pada fluida, jika tidak maka fluida akan mengalir.

Secara kuantitatif tekanan zat cair berbanding lurus dengan massa jenis (ρ) tertentu yang serba sama yang berada pada kedalaman (h) tertentu dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = \frac{F}{A} = \frac{\rho Agh}{A} \quad (2.2)$$

$$P = \rho gh \quad (2.3)$$

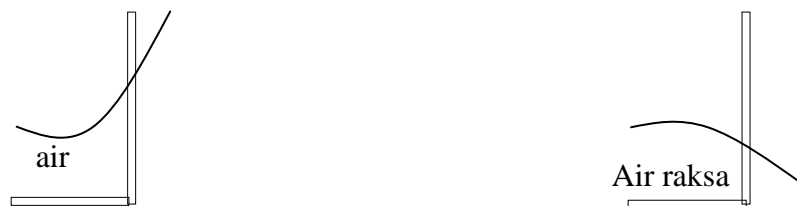
Pada suatu pertemuan dua zat cair yang berbeda konsentrasinya, memiliki tekanan yang berbeda. Permukaan yang bersentuhan menghasilkan perbedaan tekanan pada sisi zat cair. Sehingga kedua zat cair itu akan bergerak untuk

menyeimbangkan tekanan antara sisi-sisinya. Zat cair itu akan berhenti sampai keadaan setimbang terjadi.

2.1.3 Kapilaritas dan Tegangan Permukaan

Permukaan zat cair dalam keadaan diam menunjukkan bahwa permukaannya berperilaku seperti membran yang teregang karena tegangan. Permukaan zat cair berperilaku seakan-akan mengalami tegangan, dan tegangan ini yang bekerja sejajar dengan permukaan muncul dari gaya tarik menarik antar molekul. Efek ini disebut sebagai tegangan permukaan. Tegangan permukaan muncul akibat molekul-molekul yang berada dalam zat cair memberikan gaya tarik satu sama lain. Molekul dalam zat cair berada dalam kesetimbangan karena gaya-gaya molekul lain yang bekerja ke semua arah.

Tegangan permukaan memberikan peranan penting pada fenomena kapilaritas. Pada tabung yang diameternya sangat kecil, zat cair tampak naik atau turun relatif terhadap tingkat zat cair yang mengelilinginya. Kapilaritas terjadi akibat perbedaan tarik menarik timbal balik antara molekul-molekul zat cair dekat permukaan dan molekul-molekul yang terletak agak lebih jauh dari permukaan dalam massa zat cair yang sama. Zat cair naik atau turun bergantung pada kekuatan relatif gaya adhesi dan kohesinya.



Sumber : Giancoli tahun 1996

Gambar 2.2. Zat cair yang naik pada air dan zat cair yang turun pada air raksa.

Adesi adalah gaya antar molekul di dalam zat cair dengan molekul di luarnya. Kohesi adalah gaya di antara molekul-molekul sejenis yang sama. Jika gaya adesi lebih kuat dari kohesinya, maka yang terjadi zat cair akan naik, seperti yang terjadi

pada air di gelas kaca. Sedangkan jika adesi lebih kecil dari gaya kohesinya, yang terjadi adalah zat cair akan turun, seperti pada air raksa pada gelas kaca. Besar naik atau turunnya bergantung pada tegangan permukaan.

2.1.4 Tekanan Uap

Tekanan uap didefinisikan sebagai tekanan uap jenuh yang diberikan oleh keadaan setimbang antara zat cair dan uapnya yang disebut uap jenuh. Untuk setiap zat, tekanan uap adalah fungsi temperatur. Jika pada suatu suhu tekanan uap sama dengan tekanan di luar, maka suhu itu adalah titik didih zat tersebut.

Tekanan uap memiliki peranan penting dalam barometer, sistem pipa pompa, dan juga berperan dalam pembentukan rongga-rongga uap di daerah bertekanan rendah dalam zat cair. Fenomena peronggaan atau kavitasi ini dianggap penting dalam bidang rekayasa karena pembentukan rongga-rongga uap yang kemudian meletus ketika fluida pindah ke daerah bertekanan lebih tinggi yang bisa menyebabkan erosi, vibrasi dan hilangnya sebagian energi mekanik (Olson dan Wright,1993:20)

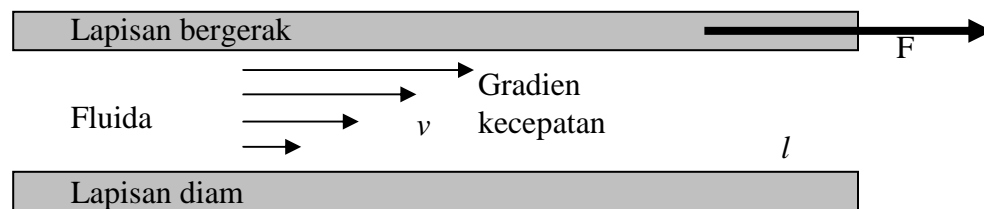
2.1.5 Viskositas

Viskositas (kekentalan) dapat dianggap sebagai gesekan di bagian dalam suatu fluida. Karena adanya viskositas ini, maka untuk menggerakkan salah satu lapisan fluida di atas lapisan lainnya, atau supaya satu permukaan dapat meluncur di atas permukaan lainnya bila di antara permukaan-permukaan ini terdapat lapisan fluida, haruslah dengan gaya (Sears Zemansky, 1994:340). Viskositas berhubungan dengan perubahan bentuk zat cair. Sifat yang disebut viskositas ini merupakan ukuran ketahanan sebuah fluida terhadap deformasi atau perubahan bentuk.

Viskositas sebuah gas bertambah dengan naiknya temperatur, karena makin besarnya aktivitas molekuler. Saat temperatur meningkat, gerak molekuler saling tumpang tindih semakin meningkat, sehingga tumbukan dan tukar menukar antar

momentum molekuler ini diwujudkan sebagai viskositas fluida. Pada zat cair, jarak antar molekul jauh lebih kecil dibanding pada gas, sehingga kohesi molekulernya kuat sekali. Peningkatan temperatur mengurangi kohesi molekuler, dan ini diwujudkan dengan berkurangnya viskositas fluida.

Viskositas fluida yang berbeda dapat dinyatakan secara kuantitatif oleh koefisien viskositas. Untuk lebih memahami tentang viskositas dapat diperhatikan gambar berikut :



Sumber : Giancoli tahun 1996

Gambar 2.3. Penentuan viskositas.

Suatu lapisan tipis zat cair ditempatkan antara dua lempeng yang rata. Satu lempeng diam dan lempeng lain digerakkan dengan laju konstan. Fluida yang langsung bersentuhan dengan setiap lempeng ditahan dipermukaan oleh gaya adhesi antara molekul zat cair dan lempeng. Dengan demikian permukaan atas fluida bergerak dengan laju konstan yang sama dengan lempeng, dan yang diam tetap diam.

Kecepatan fluida bervariasi secara kontinu dari 0 sampai v . Perubahan kecepatan terhadap ruang ini disebut dengan gradien kecepatan yang sama dengan v/l . Untuk menggerakkan lempeng yang atas dibutuhkan gaya F , sebanding dengan luas fluida yang bersentuhan, sebanding dengan laju v , dan berbanding terbalik dengan jarak l . Untuk fluida yang berbeda kekentalannya diperlukan konstanta perbandingan yang didefinisikan sebagai koefisien viskositas η .

$$F = \eta A \frac{v}{l} \quad (2.4)$$

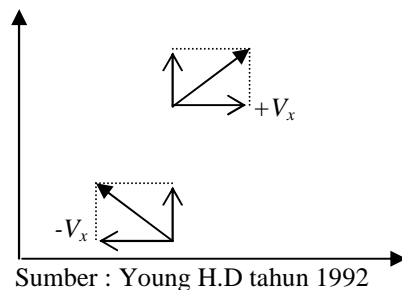
$$\eta = \frac{Fl}{vA} \quad (2.5)$$

Satuan untuk η dalam SI adalah $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ atau sama dengan $\text{Pa}\cdot\text{s}$ (paskal sekon). Pada sistem cgs, satuan tersebut adalah $\text{dyne}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ dan disebut poise (P). temperatur juga perlu disertakan dalam memberikan koefisien viskositas karena memiliki pengaruh yang besar (Giancoli, 1996:347).

2.2 Model Kinetik Molekuler

Sifat Makroskopik materi yang berkaitan dengan struktur dan perilaku molekulnya dipahami dengan teori molekuler materi. Model kinetik molekuler menggambarkan gas sebagai sejumlah besar partikel yang saling bertumbukan di dalam wadah tertutup. Selama bertumbukan, molekul mengeluarkan gaya ke dinding wadah: inilah awal dari adanya tekanan yang dihasilkan wadah.

Menurut Hugh. D Yound dan Roger A. freedman, dalam tumbukan sejenis seperti pada gambar komponen kecepatan yang sejajar dengan bidang tidak berubah, dan komponen yang tegak lurus terhadap bidang akan berbalik arah tetapi besarnya akan tetap sama (2000:503)

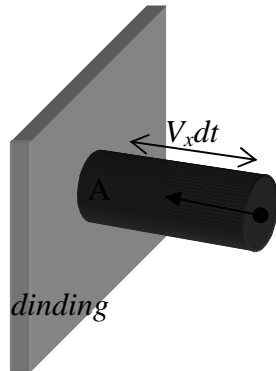


Gambar 2.4. Tumbukan elastik sebuah molekul dengan dinding wadah yang diidealkan

Untuk komponen x , tumbukan berubah dari kecepatan $-v_x$ menjadi $+v_x$. Maka komponen- x pada momentum berubah dari $-mv_x$ menjadi $+mv_x$, dan perubahan pada komponen- x dari momentum adalah $+mv_x - (-mv_x) = 2mv_x$.

Jika sebuah molekul akan menumbuk bidang dengan luas A selama selang waktu dt yang kecil, maka pada awal dari dt molekul itu haruslah berada pada jarak $v_x dt$ dari dinding dan harus terarah pada dinding. Seperti pada gambar 2.5 maka

jumlah molekul yang menumbuk A selama dt adalah setara dengan jumlah molekul dalam silinder dengan luas dasar A dan panjang $v_x dt$.



Sumber : Young H.D tahun 1992

Gambar 2.5. Sebuah molekul bergerak menuju dinding dengan laju v .

Dengan mengasumsikan bahwa jumlah molekul persatuan volume (N/V) adalah seragam, maka jumlah molekul dalam silinder adalah $(N/V)(Av_x dt)$. Secara rata-rata, setengah dari molekul bergerak menjauhinya dan setengahnya bergerak menuju dinding. Maka jumlah tumbukan A selama dt adalah

$$\frac{1}{2} \left(\frac{N}{V} \right) (Av_x dt) \quad (2.6)$$

Untuk sistem dengan seluruh molekul berupa gas, perubahan momentum total dP_x , selama dt adalah jumlah tumbukan dikalikan dengan $2mv_x$:

$$dP_x = \frac{1}{2} \left(\frac{N}{V} \right) (Av_x dt) (2mv_x) = \frac{NAmv_x^2 dt}{V} \quad (2.7)$$

P adalah momentum total dan p adalah tekanan. Laju perubahan komponen momentum P_x adalah

$$\frac{dP_x}{dt} = \frac{NAmv_x^2}{V} \quad (2.8)$$

laju perubahan momentum ini setara dengan gaya yang dikeluarkan oleh dinding seluas A terhadap molekul gas. Dan ini berarti setara dan berlawanan dengan gaya

yang dikeluarkan pada dinding oleh molekul. Tekanan p adalah besar dari gaya yang dikeluarkan pada dinding persatuan luas, dan kita dapatkan

$$p = \frac{F}{A} = \frac{Nmv_x^2}{V} \quad (2.9)$$

tekanan yang dihasilkan oleh gas bergantung pada jumlah molekul per volume, massa, dan laju molekulnya.

Kita telah menyebutkan bahwa v_x sebenarnya tidak sama untuk semua molekul. Tetapi kita dapat memilah molekul menjadi kelompok-kelompok dengan v_x yang sama pada masing-masing grup, kemudian menjumlahkan kontribusinya terhadap tekanan. Efek total dari semua ini akan menggantikan v_x^2 dalam persamaan 2.9 dengan nilai rata-rata dari v_x^2 yang selanjutnya kita nyatakan. Lebih lanjut lagi, $(v_x^2)_{rt}$ berhubungan secara sederhana dengan laju molekul. Laju v dari molekul manapun berhubungan dengan komponen kecepatan v_x , v_y , dan v_z dengan

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$$

dari sini dapat kita susun lagi hubungan untuk semua molekul

$$(v^2)_{rt} = (v_x^2)_{rt} + (v_y^2)_{rt} + (v_z^2)_{rt}$$

Dalam model ini, tak ada perbedaan yang nyata antara arah x , y dan z . Akhirnya $(v_x^2)_{rt}$, $(v_y^2)_{rt}$ dan $(v_z^2)_{rt}$ haruslah setara. Sehingga $(v^2)_{rt}$ setara dengan $3(v_x^2)_{rt}$

$$\text{dan } (v_x^2)_{rt} = \frac{1}{3}(v^2)_{rt} \quad (2.10)$$

maka persamaan 2.9 menjadi

$$pV = \frac{1}{3}Nm(v^2)_{rt} = \frac{2}{3}N\left[\frac{1}{2}m(v^2)_{rt}\right] \quad (2.11)$$

dari persamaan di atas maka $\frac{1}{2}m(v^2)_{rt}$ adalah rata-rata energi kinetik translasi dari molekul tunggal.

Pada peristiwa difusi gas kecepatan molekul tunggal tak mungkin teramati, oleh karena itu nilai v merupakan sebaran kecepatan molekul rata-rata. Demikian juga

untuk difusi cairan, dapat diperoleh kecepatan dari molekul untuk perpindahan rata-rata molekulnya.

Molekul-molekul bergerak, saling tumbuk, dan mungkin meneruskan momentum atau energi jika terdapat gradien kecepatan atau temperatur, proses seperti itu juga menyebabkan terjadinya perpindahan bila gradien konsentrasi memang ada. Fluks netto momentum, energi, atau massa komponen antara dua lapisan diandaikan sebanding dengan gradien momentum, energi, atau kerapatan massa, yaitu

$$\text{fluks} \propto \left(-\frac{d\rho'}{dx} \right) \quad (2.12)$$

Persamaan (2.12) juga digunakan untuk mendefinisikan koefisien transpor difusivitas D yang sama dengan

$$\text{Fluks } J_2 = -D_2 \left(\frac{dc_2}{dx} \right) \quad (2.13)$$

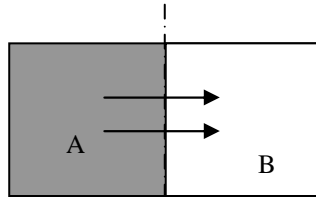
Dengan dc_2/dx adalah laju perubahan konsentrasi bahan yang berdifusi.

2.3 Difusi

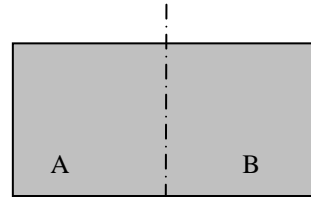
Jika dua macam gas ditempatkan dalam wadah yang sama, maka semua molekulnya berangsur-angsur bercampur sampai susunan (komposisi) gasnya seragam. Proses pencampuran ini dinamakan difusi (James E. Brady, 1994:407). Pada kejadian sehari-hari penyebaran minyak wangi pada udara yang tenang, baunya akan menyebar pada seluruh ruangan. Demikian juga bila setetes cat ditempatkan di pelarutnya, secara lambat laun akan menyebar melalui wadahnya walau tanpa diaduk.

Difusi juga dapat dijelaskan sebagai aliran dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah (Strenheim & Kane, 1996:462). Jika larutan yang diteteskan ke dalam aquades dengan hati-hati tanpa mengusikanya, molekul-molekul dari larutan akan berdifusi ke aquades sampai larutan itu menyebar merata.

Peristiwa difusi dapat digambarkan secara sederhana sebagai berikut :

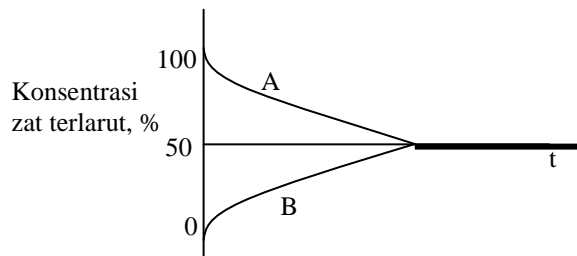


Gambar 2.6a. kondisi awal



Gambar 2.6b. kondisi setimbang

Pada gambar 2.6a diperlihatkan bahwa pada ruang A diisi dengan suatu zat cair dengan molekul atau ion yang konsentrasinya dapat diukur dengan mudah. Ruang B diisi dengan aquades, kemudian selanjutnya akan kita lihat bahwa lambat laun zat cair dalam ruang A bergerak ke ruang B sehingga semua molekul akan menyebar merata, seperti diperlihatkan pada gambar 2.6b.



Sumber : John W. Kimball tahun 1990

Gambar 2.7. Grafik penurunan konsentrasi pada peristiwa difusi

Difusi dapat terjadi karena gerakan acak molekul yang kontinu yang menjadi ciri khas semua molekul yang tidak terikat dalam zat padat. Tiap molekul bergerak secara lurus sampai ia bertabrakan dengan molekul lainnya. Pada setiap tabrakan molekul terpental dan melaju ke arah lain. Inilah yang menyebabkan gerakan acak dari molekul tersebut. Pada peristiwa difusi, molekul pada konsentrasi yang lebih tinggi, tabrakan antara molekul sangat tinggi, sehingga pergerakan molekul akan mengarah pada ruangan yang lebih luas, yaitu menuju konsentrasi yang lebih rendah, sehingga konsentrasi akan sama atau seimbang.

Difusi adalah salah satu sifat transport zat, yaitu kemampuan zat itu untuk memindahkan materi, energi, atau suatu sifat tertentu lainnya dari satu tempat ke tempat lain. Molekul-molekul (dalam gas, cairan, padatan) berdifusi menurut suatu gradien konsentrasi, sampai komposisinya seragam. Peristiwa difusi adalah peristiwa yang lambat, tapi proses difusi ini berperan besar dalam penyerapan dan pendistribusian zat-zat yang diperlukan sel hidup, seperti sebagai faktor penghambat dalam proses osmosis. Beberapa eksperimen menunjukkan bahwa gas yang lebih rapat, berdifusi lebih lambat dari gas yang kurang rapat, pada temperatur yang sama. Hal ini tentunya berlaku juga untuk difusi larutan. Rapatan (density) / massa jenis larutan yang lebih besar akan berdifusi lebih lambat dari larutan yang massa jenisnya lebih kecil.

Berdasarkan hukum Graham bahwa jika laju diukur pada suhu dan tekanan yang sama maka diperoleh laju efusi berbanding terbalik dengan akar pangkat dua dari rapatannya.

$$\text{laju efusi} = \sqrt{\frac{1}{d}} \quad (2.14)$$

dan bila laju efusi untuk dua gas dapat dibandingkan dengan membagi laju keduanya

$$\frac{\text{laju efusi A}}{\text{laju efusi B}} = \sqrt{\frac{d_B}{d_A}} \quad (2.15)$$

dari persamaan dia atas, maka rapatan (d), berbanding lurus dengan massa molekulnya. Dengan demikian nisbah laju efusi dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{\text{laju efusi A}}{\text{laju efusi B}} = \sqrt{\frac{d_B}{d_A}} = \sqrt{\frac{M_B}{M_A}} \quad (2.16)$$

dengan M_A dan M_B berturut-turut adalah massa molekul gas A dan gas B.

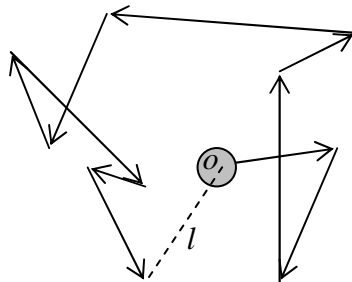
(James E. Brady, 1994:408)

2.4 Koefisien Difusi

Jarak rata-rata zat terlarut dalam berdifusi akan bertambah dengan waktu, tetapi di dalam pola yang berbeda. Molekul-molekul dalam zat terlarut membuat

banyak tumbukan dan mengubah arahnya berulang-ulang. Seringkali efek sepotong garis lurus atau langkah hampir ditiadakan oleh langkah selanjutnya.

Secara rata-rata, maka jarak l dari titik permulaan O bertambah besar, tetapi jauh lebih lambat daripada banyaknya langkah, N_s . Bila metode statistik dipakaikan ke sebuah jalan seperti itu, maka didapatkan bahwa l bertambah besar menurut akar kuadrat dari banyaknya langkah, atau $l^2 \propto N_s$.



Sumber : Strenheim & Kane tahun 1991

Gambar 2.8. Gerak acak partikel.

Karena banyaknya langkah adalah sebanding dengan waktu, maka l^2 sebanding dengan t . Secara konvensional, persamaan untuk pergeseran kuadrat rata-rata dalam satu arah adalah

$$x_{rms} = \sqrt{2 D t} \quad (2.17)$$

dimana D adalah koefisien difusi. Nilai D tergantung pada sifat zat terlarutnya dan pilihan pelarutnya atau medium (Strenheim dan Kane, 1996:462).

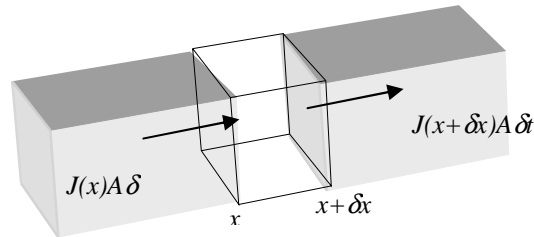
Kecepatan maksimum untuk difusi pereaksi dapat dihitung dengan teori difusi makroskopik dan secara eksperimen dengan penentuan koefisien difusi dari pereaksi. Secara makroskopik kecepatan difusi dapat diperoleh dengan menghitung dari koefisien difusi D yang didefinisikan oleh hukum Fick yang pertama yang diperoleh dengan persamaan

$$J_2 = -D_2 \left(\frac{dc_2}{dx} \right) \quad (2.18)$$

Koefisien difusi D_2 dari zat terlarut didefinisikan dalam fluks J_2 dari zat terlarut dan gradien konsentrasinya dc_2/dx .

Dalam mempelajari proses perpindahan fluks J , yang diukur adalah perubahan konsentrasi dengan waktu pada berbagai titik. Aliran zat terlarut berlangsung dalam arah x dalam sel dengan penampang A yang seragam.

Untuk menghitung perubahan konsentrasi pada suatu sayatan tipis dengan tebal dx . Banyaknya materi yang melewati bidang pada x dalam jangka waktu δt adalah $J(x)A\delta t$, sedangkan kuantitas yang meninggalkan bidang pada $x+\delta x$ pada waktu yang sama adalah $J(x+\delta x)A\delta t$.



Sumber : Alberty & Farrington tahun 1981

Gambar 2.9. Sel dengan penampang A yang seragam di mana terjadi perpindahan karena difusi.

Persamaan aliran kontinuitas tersebut dapat ditulis dengan persamaan

$$\left(J(x) + \frac{\partial J}{\partial x} \delta x \right) A \delta t \quad (2.19)$$

Perubahan konsentrasi dalam volume $A \delta x$ dapat menyatakan jumlah materi antara bidang hipotetik tersebut. Sehingga diperoleh persamaan

$$A \delta x \delta c = JA \delta t - \left(J(x) + \frac{\partial J}{\partial x} \delta x \right) A \delta t = - \frac{\partial J}{\partial x} A \delta x \delta t \quad (2.20)$$

Pada limit, jika jarak dan waktu dibuat kecil maka

$$\frac{\partial c}{\partial t} = - \frac{\partial J}{\partial x} \quad (2.21)$$

Untuk dapat menginterpretasikan percobaan difusi seperti pada gambar 2.9 Maka hukum Fick pertama (2.18) dikombinasikan dengan persamaan kontinuitas (2.21) yang memberikan hukum Fick kedua

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial c}{\partial x} \quad (2.22)$$

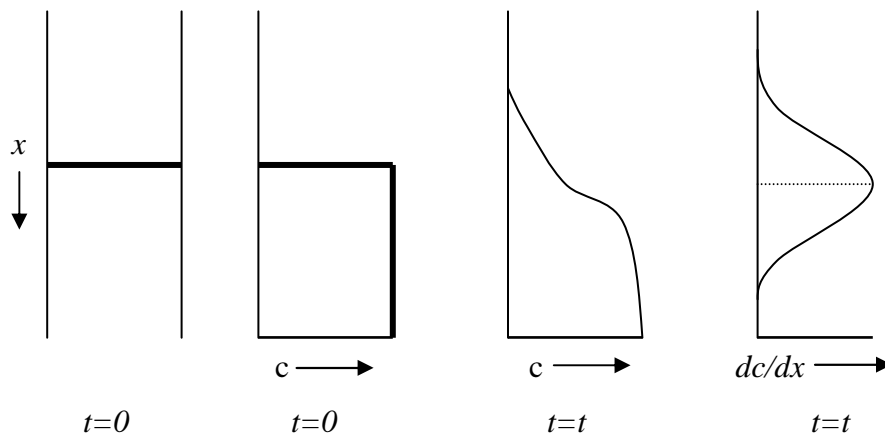
Jika koefisien difusi D tidak tergantung pada konsentrasi dan dengan demikian juga pada jarak, maka

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (2.23)$$

Persamaan ini disebut hukum Fick kedua.

Dalam menurunkan ungkapan untuk konsentrasi sebagai fungsi jarak dan waktu, maka persamaan (2.23) diintegrasikan dengan kondisi batas sebagai berikut: bila $t=0$, $c=c_0$ untuk $x>0$, dan $c=0$ untuk $x<0$; dan bila $t>0$, c mendekati c_0 apabila x mendekati ∞ dan c mendekati 0 apabila x mendekati $-\infty$, yang menghasilkan

$$c = \frac{c_0}{2} \left(1 + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{x/2\sqrt{Dt}} e^{-\beta^2} d\beta \right) \quad (2.24)$$



Sumber : Alberty & Farrington tahun 1981

Gambar 2.10. Difusi dari batas awal yang tajam dalam sel berpenampang seragam.

persamaan untuk kurva turunan dalam gambar 2.10 adalah

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \frac{c_0}{2\sqrt{\pi Dt}} e^{-x^2/4Dt} \quad (2.25)$$

fungsi $(2\pi)^{-1/2} e^{-y^2/2}$ merupakan fungsi kebolehjadian normal dari y.

Kuadrat deviasi standart dari kurva eksperimental adalah

$$\sigma^2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x^2 (\partial c / \partial x) dx}{\int_{-\infty}^{\infty} (\partial c / \partial x) dx} \quad (2.26)$$

substitusi persamaan 2.25 ke persamaan 2.26 menjadi

$$\sigma^2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x^2 (e^{-x^2/4Dt}) dx}{\int_{-\infty}^{\infty} (e^{-x^2/4Dt}) dx} = 2Dt \quad (2.27)$$

(Alberty dan Farrington, 1984: 251-255)

Pada peristiwa difusi, suatu molekul bergerak dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. Tentunya di sini ada perpindahan molekul yang jaraknya semakin bertambah seiring dengan waktu. Dan akan kita dapatkan energi kinetik molekul selama bergerak sampai terjadi keseimbangan.

2.5 Suhu dan Koefisien Difusi

Suhu atau temperatur memegang peranan penting dalam peristiwa sehari-hari. Temperatur sebuah benda biasanya dihubungkan secara langsung kepada energi kinetik rata-rata dari atom atau molekul yang membentuk benda tersebut (Strenheim dan Kane, 1996:447). Karena energi kinetik berhubungan langsung dengan kecepatan, maka tentunya hal ini berkaitan dengan gerak perpindahan partikel.

Suhu dapat mempengaruhi nilai massa jenis suatu zat cair, ketika temperatur dirubah maka yang terjadi adalah perubahan ukuran dan perubahan keadaan bahan.

Saat temperatur dinaikkan maka jarak rata-rata di antara atom-atom bahan tersebut akan bertambah. Dengan bertambahnya jarak tersebut, maka volume benda akan membesar dan massa jenisnya mengecil.

Sesuai dengan sifat fluida (zat cair dan gas) yang bergantung pada keadaan suhu, maka dapat dikatakan koefisien difusi yang mengaitkan laju proses difusi bertambah secara nyata mengikuti kenaikan temperatur. Pada rentang temperatur yang lebar, maka perbedaan nilai koefisien difusi dapat kita lihat.

Berdasarkan rumus gas ideal yang diberikan oleh persamaan

$$PV = nRT \quad (2.27)$$

Di mana p adalah tekanan, jika variabel lain adalah konstanta maka tekanan ini berbanding lurus dengan suhu di mana jika tekanan dinaikkan maka suhu akan bertambah pula demikian sebaliknya. Pada persamaan 2.11 diberikan bahwa energi kinetik translasi bisa kita tuliskan menjadi

$$nRT = \frac{2}{3} N \left[\frac{1}{2} m(v^2) \right] \quad (2.28)$$

Dari persamaan di atas terlihat bahwa suhu adalah fungsi kuadrat dari kecepatan translasi partikel. Kecepatan pada peristiwa difusi yang merupakan gradien konsentrasi dapat diperoleh dari koefisien difusi seperti pada persamaan 2.23. Dengan begitu terlihat hubungan antara suhu dan koefisien difusinya, dan bisa kita temukan persamaan dari keduanya adalah

$$nRT = \frac{2}{3} N \left[\frac{1}{2} m \left(D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \right)^2 \right] \quad (2.29)$$

2.6 Tinjauan Bahan

2.6.1 Aquades

Aquades (air murni) memiliki rumus kimia H_2O merupakan cairan yang tidak berbau, tidak berasa dan tidak berwarna. Pada suhu $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ air mencapai maksimum massa jenis 1 g/cm^3 . Apabila didinginkan dengan suhu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, air berubah menjadi es

yang lebih ringan daripada air. Air mengembang waktu membeku. Bila dipanaskan sampai titik didih 100 °C air berubah menjadi uap. Air juga menguap pada tekanan yang lebih rendah dari 1 atm. Air murni bukan konduktor yang baik.

2.6.2 Madu Murni

Madu murni adalah nektar atau eksudat gula dari tanaman yang dikumpulkan oleh lebah madu, diolah dan disimpan dalam sarang madu dari lebah (Winarno, 1982). Nectar berupa cairan manis yang terdapat di dalam bunga dan mengandung zat-zat seperti asam amino, amida, asam organik beberapa vitamin, mineral dan senyawa aromatik (*www.Warmal.co.id*). Madu memiliki sifat sangat higroskopis, yaitu mudah menyerap air dari udara dan dapat menyerap bau dari sekitarnya.

Madu memiliki kandungan gizi yang tinggi. Setiap 100 gram madu mengandung 280-330 kalori (Geocities, 2003). Selain itu madu mengandung vitamin A, B1, B2, B6 sampai B12, C, K dan H. Untuk madu hutan berkhasiat meningkatkan daya tahan tubuh, menyembuhkan darah tinggi/darah rendah, mengobati reumatik dan memperlancar fungsi otak. Madu randu berkhasiat meningkatkan nafsu makan, meningkatkan daya tahan tubuh, mengobati sariawan dan menyembuhkan luka bakar (*apiari.pramuka.or.id*). Komposisi kimia madu pada umumnya tersusun dari karbohidrat, air serta mineral. Madu memiliki variasi komposisi gula bervariasi tergantung pada nektar, tetapi tetap gula utama madu adalah fruktosa.

Tabel 2.1 Komposisi kimiawi utama dalam madu.

Komposisi	Jumlah	Komposisi	Jumlah
Total karbohidrat	78,90 g	Ca	2,00 mg
Kadar air	78,00 g	P	12,00 mg
Protein	1,20 g	Fe (mg %)	0,80 mg
Lemak	0,00 g	Na	10,00 mg
Serat kasar	0,00 g	Thianmin	0,10 mg
Abu	0,20 g	Riboflavin	0,02 mg
kalori	294,00 kal	Niacin	0,20 mg

Sumber : Winarno F.G. tahun 1982.

2.7 Aproksimasi Fungsi Dengan Metode Numerik

Masalah yang sering muncul dalam data tabel adalah menentukan nilai di antara titik-titik diskrit tersebut tanpa perlu pengukuran lagi. Masalah tersebut tidak bisa langsung dijawab karena fungsi yang menghubungkan peubah y dan peubah x tidak diketahui. Salah satu solusi yang diberikan adalah mencari fungsi yang mencocokkan (*fit*) titik data di dalam tabel. Pendekatan ini dinamakan pencocokan kurva (*curve fitting*) yang dibedakan atas dua metode yaitu regresi dan interpolasi.

2.7.1 Regresi

Data hasil pengukuran biasanya mengandung deuru (*noise*) atau galat yang cukup berarti. Karena data ini tidak teliti, maka kurva yang mencocokkan titik data tidak perlu melewati semua titik. Kurva tersebut sedemikian hingga selisih antara titik data dengan titik hampirannya di kurva sedemikian kecil mungkin. Metode pencocokan kurva ini disebut dengan regresi kuadrat terkecil (*least square regression*).

Pada *software* komputer disediakan fungsi untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Fungsi tersebut adalah

<code>Polyfit (x,y,n)</code>	Menghasilkan vektor baris yang berisi koefisien-koefisien polinomial.
<code>Linspace</code>	Membandingkan titik-titik data yang ada dengan kurva solusi yang telah diperoleh.
<code>Polyval(p,xi)</code>	mengevaluasi polinomial dari koefisien polyfit pada setiap titik data.

2.7.2 Interpolasi

Data hasil penelitian mempunyai ketelitian yang sangat tinggi, maka kurva pencocokannya dibuat melalui setiap titik garis secara persis sama kalau kurva fungsi yang sebenarnya. Pekerjaan menginterpolasi titik data dengan sebuah polinom

disebut interpolasi polinomial. Interpolasi titik data dapat dilakukan dengan polinom linier (2 titik data), polinom kuadrat (3 titik data), polinom kubik (4 titik data) atau polinom dari derajat yang lebih tinggi tergantung dari titik data yang telah diperoleh.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian eksperimen sebagai pemodelan untuk mendapatkan solusi fungsi suhu terhadap koefisien difusi pada suatu zat cair.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fisika Dasar Program Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember selama bulan Desember 2005.

3.3 Definisi Operasional Variabel

Untuk menghindari persepsi yang berbeda-beda, maka dijelaskan definisi operasional untuk variabel :

- a. Aproksimasi fungsi adalah metode numerik yang memberikan solusi hampiran atau solusi pendekatan untuk mendapatkan fungsi dari data-data penelitian yang telah diperoleh dalam eksperimen di laboratorium.
- b. Suhu adalah suhu cairan yang dikondisikan agar saat peristiwa difusi diamati pada waktu penelitian berada pada suhu yang dimaksud.
- c. Koefisien difusi adalah koefisien perbandingan untuk fluks materi atau laju migrasi *solut* yang diperoleh dari perhitungan berdasarkan jarak pelarutan pada satuan waktu tertentu.
- d. Zat cair adalah materi di alam yang memiliki kemampuan mengalir dan dapat terus menerus berubah jika mengalami tegangan geser. Pada penelitian ini zat

cair yang digunakan adalah aquades sebagai *solvent* dan madu alami sebagai *solut*. Madu tersebut adalah :

1. Madu Hutan

Madu hutan pada penelitian ini diperoleh dari penyadap randu di sekitar hutan Wonosalam yang bertempat tinggal di desa Galengdowo kecamatan Kandangan kabupaten Jombang.

2. Madu Australia

Madu australia diperoleh dari hasil peternakan POLITEKNIK Negeri Jember yang berada di jalan Mastrib Jember.

3. Madu Randu

Madu randu diperoleh dari peternak lokal yang bertempat tinggal di rumahnya di jalan Danau Toba Jember dan dipasarkan di toko Qonita di jalan Karimata Jember.

3.4 Sampel Penelitian

3.4.1 Jumlah Sampel Penelitian

Pada penelitian diambil sampel 5 pengulangan untuk masing masing bahan. Kemudian sampel juga diambil pada 3 suhu berbeda, yaitu pada suhu 4 °C kemudian pada suhu 27 °C dan pada suhu 50 °C.

3.4.2 Penggolongan Sampel Penelitian

Pada penelitian ini untuk memudahkan menggolongkan sampel, maka digunakan tabel penelitian sebagai berikut :

Tabel 3.1. Data pengamatan pada satu jenis randu.

t (detik)	Jarak yang telah ditempuh (meter)														
	T = 4 °C					T = 27 °C					T = 50 °C				
	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄	n ₅	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄	n ₅	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄	n ₅
20															
40															
60															
80															
100															

3.5 Alat dan Bahan Penelitian

Pada penelitian ini digunakan alat dan bahan sebagai mana yang disebutkan di bawah ini.

3.5.1 Alat Penelitian

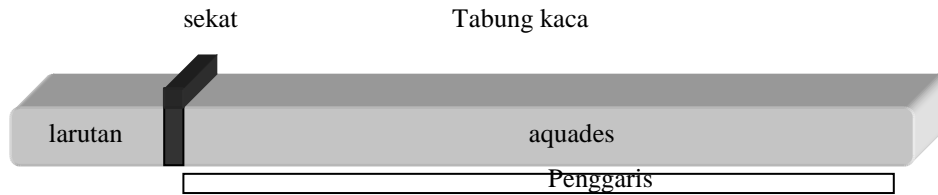
- Tabung kaca tanpa penutup ukuran $p = 75$ mm, $l = 10$ mm dan $t = 5$ mm.
- Mistar atau kertas milimeter.
- Sekat dari kertas minyak.
- Termometer.
- Stopwatch.
- Bunsen dan kaki tiga.
- Gelas ukur 10 mL.
- Termos es.

3.5.2 Bahan Penelitian

- Aquades.
- Madu hutan.
- Madu australia.
- Madu randu
- Balok es.

3.6 Prosedur Penelitian

a. Menyiapkan alat penelitian sebagaimana gambar berikut :



Gambar 3.2. Desain alat penelitian.

- b. Melakukan eksperimen untuk suhu $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan meletakkan alat penelitian di termos es dan memberi disekitarnya pecahan es balok sehingga suhu aquades dan madu berada pada suhu stabil air es yaitu $4\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- c. Mengambil data penelitian untuk suhu $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ sebanyak lima kali pengulangan.
- d. Melakukan eksperimen pada suhu $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ atau suhu ruang. Pada penelitian ini tidak ada perlakuan khusus. Semua peralatan dan bahan diletakkan dalam ruangan tanpa pengaturan suhu.
- e. Mengambil data penelitian untuk suhu $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ sebanyak lima kali pengulangan.
- f. Penelitian dilakukan dengan bahan dipanaskan terlebih dahulu dengan bunsen sehingga mencapai suhu $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ kemudian sekat dibuka.
- g. Mengambil data penelitian untuk suhu $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ sebanyak lima kali pengulangan.
- h. Menentukan besar kecepatan pada tiap interval waktu untuk tiap suhu yang berbeda.
- i. Menentukan koefisien difusi *solut* pada *solvent* aquades pada setiap suhu.

3.7 Analisa Data

3.7.1 Analisa Data Standar Deviasi

Ralat asal standar deviasi digunakan untuk mendapatkan besarnya kecepatan dan koefisien difusi dari data penelitian yang meliputi ralat mutlak (Δ), ralat relatif (Kr) dan ralat keseksamaan (Ks).

- a. Jarak Pelarutan solut.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

- b. Kecepatan difusi solut.

$$v_i = \frac{\bar{x}}{t_i} \text{ m/dtk}$$

$$\Delta v_i = \frac{\partial v_i}{\partial x_i} \Delta x_i + \frac{\partial v_i}{\partial t} \Delta t = \frac{1}{t} \Delta x - \frac{x_i}{t^2} \Delta t$$

$$Kr = \frac{\Delta v_i}{v_i} \times 100\% \qquad Ks = 100\% - Kr$$

- c. Koefisien difusi solut.

$$\bar{D} = \frac{\sum \frac{x_i^2}{2t}}{n} \text{ mm}^2/\text{dtk}$$

$$\Delta D = \sqrt{\frac{\sum (D_i - \bar{D})^2}{n(n-1)}}$$

$$Kr = \frac{\Delta D}{D} \times 100\% \qquad Ks = 100\% - Kr$$

(Agus Subekti, 2001 : 31)

3.7.2 Analisa Numerik

Persamaan kecepatan difusi solut pada solvent aquades pada masing-masing suhu diperoleh dengan *curve fitting* dengan metode regresi kuadrat terkecil. Di mana variabel x mewakili waktu (dtk) dan variabel y adalah kecepatan (mm/dtk).



Grafik 3.1. Persamaan Kecepatan Difusi

Untuk mendapatkan aproksimasi fungsi suhu terhadap koefisien difusi digunakan aproksimasi dengan interpolasi polinom kuadrat. Dengan variabel x adalah suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan variabel y adalah koefisien difusi (D). Dengan fungsi M-file di matlab adalah sebagai berikut :

```
function y = taj(x,Y)
N=length(x); x=x(:); Y=Y(:);
sx=sum(x); sx2=sum(x.^2); sx3=sum(x.^3); sx4=sum(x.^4);
sxY=sum(x.*Y); sx2Y=sum(Y.*x.^2); sY=sum(Y);
A=[sx4 sx3 sx2;sx3 sx2 sx; sx2 sx N];
B=[sx2Y sxY sY]'; s=inv(A)*B;
a=s(1); b=s(2); c=s(3); n=2;
Px=a.*x.^2+b.*x+c
P=polyfit(x,Y,n)
xi=linspace(0,50,50);
z=polyval(P,xi);
table=[x Y Px Y-Px]
display('x Y Px Y-Px')
display(table)
error2=sum(table(:,4).^2)
plot(x,Y,'*')
hold on
grid
xlabel('T (C)'); ylabel('D(mm.^2/dtk)')
plot(xi,z,'-b'); hold off
legend('data penelitian','nilai pendekatan')
```

BAB 4. HASIL DAN ANALISA DATA

4.1 Data Hasil Penelitian

Berikut ini akan dipaparkan tentang data eksperimen yang diperoleh dari percobaan di Laboratorium Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember pada bulan Desember 2005. Data tersebut meliputi waktu pengambilan data waktu (t) dalam detik, suhu cairan dalam celcius dan jarak pelarutan solut dalam milimeter. Data hasil pengamatan berikut ini merupakan rata-rata yang diperoleh dari hasil percobaan yang dilakukan sebanyak lima kali pengulangan. Sedangkan data keseluruhan dapat dilihat pada lampiran 2.

Tabel 4.1. Data Jarak Rata-Rata Difusi Yang Telah Ditempuh *Solut* Pada *solvent* Aquades Pada Suhu 4°C, 27°C dan 50°C.

t	Madu Hutan			Madu Australia			Madu Randu		
	4°C	27°C	50°C	4°C	27°C	50°C	4°C	27°C	50°C
20	3.80	5.00	7.40	3.40	4.20	8.60	5.20	5.50	10.48
40	5.20	7.00	9.40	4.20	5.60	12.00	6.40	7.80	14.40
60	6.60	7.80	12.20	5.00	7.20	14.20	8.20	9.20	17.80
80	7.60	8.80	-	5.80	8.20	-	9.20	10.20	-
100	7.80	9.60	-	6.40	9.00	-	10.20	11.40	-

Berdasarkan data pengukuran tersebut di atas, kemudian diperoleh nilai untuk kecepatan dan koefisien difusi *solut* pada *solvent* aquades menggunakan scribt MATLAB. Untuk lebih jelasnya, kecepatan difusi dan koefisien difusi *solut* pada *solvent* aquades disajikan dalam tabel berikut :

Tabel. 4.2. Hasil Perhitungan Kecepatan (v_i) dan Koefisien Difusi (D_i) Madu Hutan Pada *solvent* Aquades.

t (dtk)	T=4°C		T=27°C		T=50°C	
	v_I	D_i	v_I	D_i	v_i	D_I
20	0.1900	0.3610	0.2300	0.5290	0.3700	1.3690
40	0.1300	0.3380	0.1750	0.6125	0.2350	1.1045
60	0.1100	0.3630	0.1367	0.5603	0.2033	1.2403
80	0.0950	0.3610	0.1150	0.5290	-	-
100	0.0780	0.3042	0.1020	0.5202	-	-
	$\bar{D} = 0.3454$		$\bar{D} = 0.5502$		$\bar{D} = 1.2379$	

Tabel. 4.3. Hasil Perhitungan Kecepatan (v_i) dan Koefisien Difusi (D_i) Madu Australia Pada *solvent* Aquades.

t (dtk)	T=4°C		T=27°C		T=50°C	
	v_I	D_i	v_I	D_i	v_i	D_I
20	0.1700	0.2890	0.2100	0.4410	0.4300	1.8490
40	0.1050	0.2205	0.1400	0.3920	0.3000	1.8000
60	0.0833	0.2083	0.1200	0.4320	0.2367	1.6803
80	0.0725	0.2102	0.1025	0.4202	-	-
100	0.0640	0.2048	0.0900	0.4050	-	-
	$\bar{D} = 0.2266$		$\bar{D} = 0.4180$		$\bar{D} = 1.7764$	

Tabel. 4.4. Hasil Perhitungan Kecepatan (v_i) dan Koefisien Difusi (D_i) Madu Randu Pada *solvent* Aquades.

t (dtk)	T=4°C		T=27°C		T=50°C	
	v_I	D_i	v_I	D_i	v_I	D_I
20	0.2600	0.6760	0.2800	0.7840	0.5400	2.9160
40	0.1600	0.5120	0.1950	0.7605	0.3600	2.5920
60	0.1367	0.5603	0.1533	0.7053	0.2967	2.6403
80	0.1150	0.5290	0.1275	0.6502	-	-
100	0.1020	0.5202	0.1140	0.6498	-	-
	$\bar{D} = 0.5595$		$\bar{D} = 0.7100$		$\bar{D} = 2.7161$	

4.2 Analisa Data Hasil Penelitian

4.2.1 Hasil Analisa Data Standar Deviasi

Perhitungan ralat asal standar deviasi untuk kecepatan difusi *solut* pada *solvent* aquades dapat dilihat pada lampiran 3. Dan hasil perhitungan ralat asal standar deviasi koefisien difusi *solut* pada *solvent* aquades dapat dilihat dalam tabel berikut ini :

Tabel 4.5. Hasil Ralat Standar Deviasi Koefisien Difusi Untuk *Solut* Madu Hutan Pada *Solvent* Aquades.

Suhu	D	ΔD	$Kr(\%)$	$Ks(\%)$
4°C	0.3454	0.0113	3.2679	96.7321
27°C	0.5379	0.0339	6.2989	93.7011
50°C	1.2379	0.0764	6.1686	93.8314

Tabel 4.6. Hasil Ralat Standar Deviasi Koefisien Difusi Untuk *Solut* Madu Australia Pada *Solvent* Aquades.

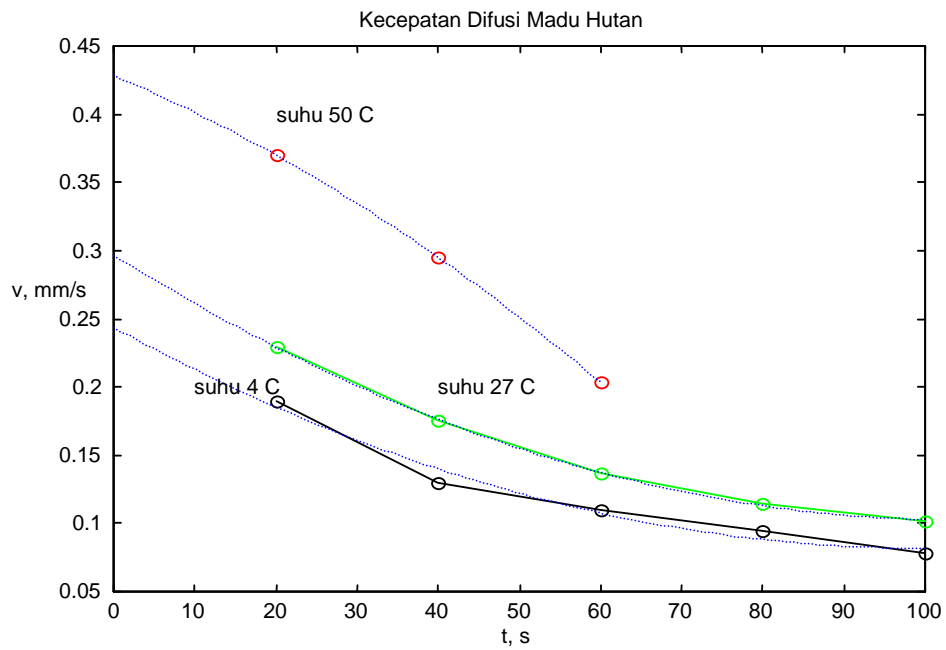
Suhu	D	ΔD	$Kr(\%)$	$Ks(\%)$
4°C	0.2266	0.0158	6.9834	93.0166
27°C	0.4180	0.0089	2.1228	97.8772
50°C	1.7764	0.0501	2.8199	97.1801

Tabel 4.7. Hasil Ralat Standar Deviasi Koefisien Difusi Untuk *Solut* Madu Randu Pada *Solvent* Aquades.

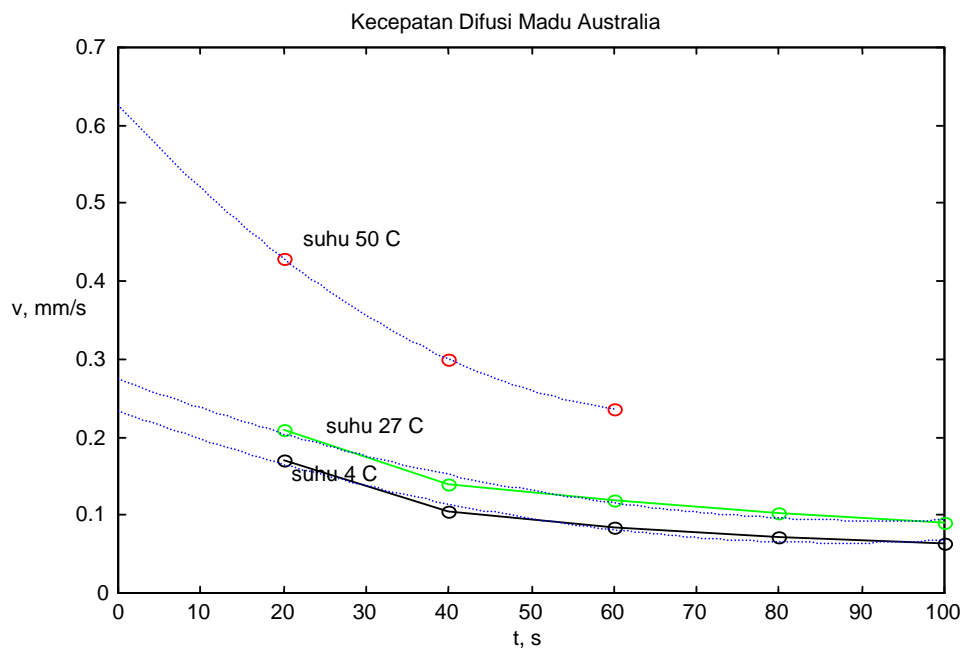
Suhu	D	ΔD	$Kr(\%)$	$Ks(\%)$
4°C	0.5595	0.0303	5.4069	94.5931
27°C	0.7100	0.0276	3.8883	96.1117
50°C	2.7161	0.1009	3.7154	96.2846

4.2.2 Hasil Analisa Numerik

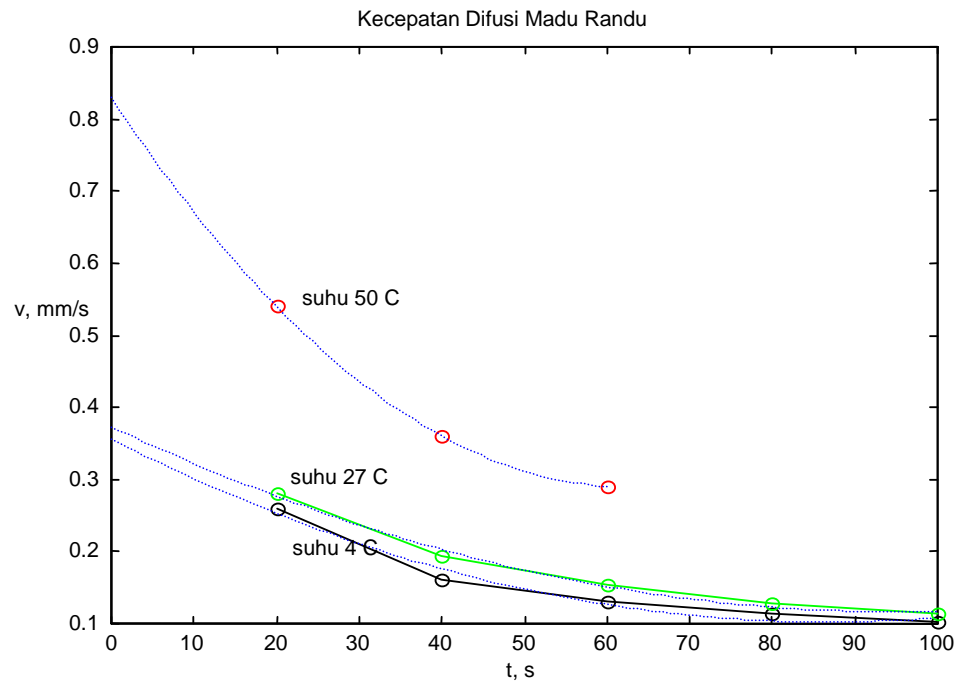
Analisa numerik digunakan untuk menemukan persamaan kecepatan difusi untuk setiap solut pada suhu tertentu dan untuk mendapatkan fungsi suhu terhadap koefisien difusi zat cair pada *solvent* aquades yang paling mendekati. Pada grafik berikut ditampilkan bentuk grafik untuk kecepatan difusi *solut* pada *solvent* aquades menggunakan fungsi *polyfit* dengan program MATLAB.



Grafik 4.1. Kecepatan difusi madu hutan pada *solvent* aquades.



Grafik 4.2. Kecepatan difusi madu Australia pada *solvent* aquades.



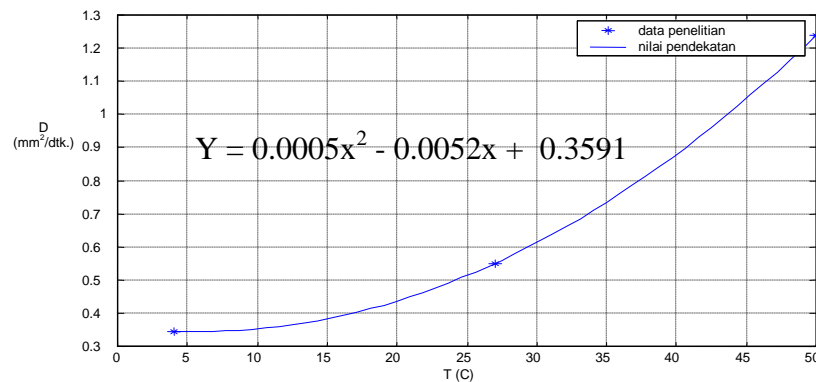
Grafik 4.3. Kecepatan difusi madu randu pada *solvent* aquades.

Dari perhitungan MATLAB dengan metode *curve fitting* menggunakan derajat 2 menghasilkan besarnya persamaan kecepatan difusi untuk tiap-tiap suhu adalah sebagai berikut ini.

Tabel 4.8. Besar Persamaan Kecepatan Difusi *Solut* Pada *Solvent* Aquades.

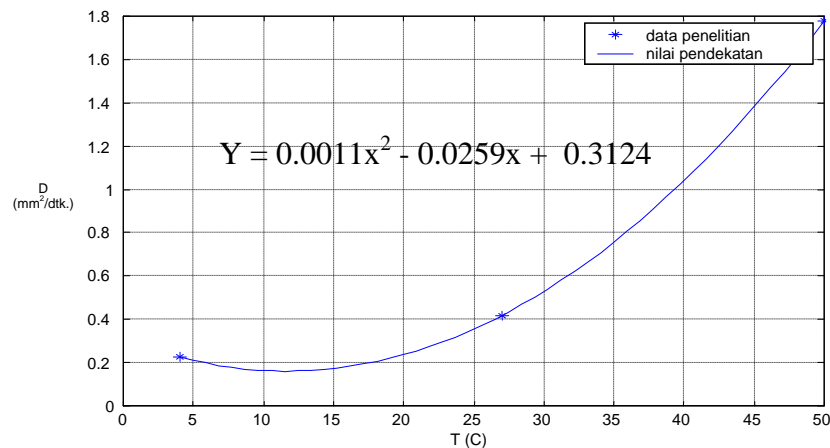
Solut	Kecepatan (y)		
	T=4°C	T=27°C	T=50°C
Madu Hutan	$-0.0032x + 0.2438$	$-0.0037x + 0.2968$	$-0.0025x + 0.4283$
Madu Australia	$-0.0039x + 0.2343$	$-0.0039x + 0.2745$	$0.0001x^2 - 0.0115x + 0.6297$
Madu Randu	$-0.0059x + 0.3562$	$-0.0054x + 0.3732$	$0.0001x^2 - 0.0054x + 0.3732$

Selanjutnya, analisa numerik dengan metode interpolasi polinom untuk melihat fungsi suhu (x) sebagai variabel bebas terhadap koefisien difusi (y) masing-masing *solut* dapat dilihat pada grafik 4.4 sampai dengan grafik 4.6.



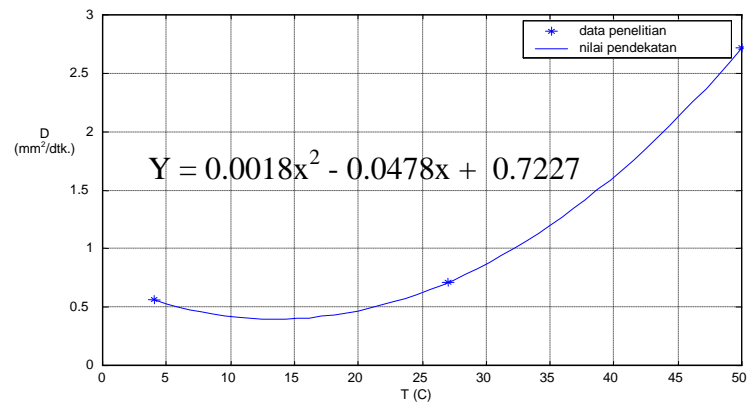
Grafik 4.4 Pengaruh Suhu Terhadap Koefisien Difusi Madu Hutan Pada *Solvent Aquades*.

Galat keteletian untuk aproksimasi fungsi suhu terhadap koefisien difusi madu hutan adalah sebesar $2.9367e-030$.



Grafik 4.5 Pengaruh Suhu Terhadap Koefisien Difusi Madu Australia Pada *Solvent Aquades*.

Galat keteletian untuk aproksimasi fungsi suhu terhadap koefisien difusi madu hutan adalah sebesar $6.9917e-029$.



Grafik 4.6 Pengaruh Suhu Terhadap Koefisien Difusi Madu Randu Pada *Solvent Aquades*.

Galat ketelitian untuk aproksimasi fungsi suhu terhadap koefisien difusi madu hutan adalah sebesar $4.2373e-028$.

BAB 5. PEMBAHASAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika Dasar Pendidikan Fisika Gedung III Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember pada bulan Desember 2005. Penelitian ini adalah mengamati peristiwa difusi secara sederhana, yaitu peristiwa melarutnya zat terlarut (*solut*) pada pelarutnya (*solvent*) pada suhu dan tekanan yang sama untuk satu pengamatan. Peristiwa difusi dalam kehidupan sehari-hari dapat terlihat misalnya saat minyak wangi disemprotkan ke ruangan maka bau wanginya akan menyebar merata dalam ruangan, atau juga saat sirup dituang ke air di gelas maka akan merata dalam air walaupun tanpa diaduk secara mekanik. Dalam penelitian ini, koefisien difusi *solut* diukur dengan cara mengamati gerak *solut* dalam tabung kotak kaca kecil. *Solut* yang digunakan adalah jenis madu alami, yaitu madu hutan, madu australia dan madu randu sedangkan *solvent* yang digunakan adalah aquades yang merupakan pelarut yang umum digunakan. Pemilihan *solut* dari jenis madu adalah karena madu merupakan zat cair yang memiliki warna alami yang nantinya akan membedakan dengan pelarutnya, selain itu madu juga bisa larut dalam aquades. *Solut* menempati area sepanjang 15 mm dalam tabung dan area lainnya diisi dengan aquades. Selanjutnya sekat dibuka dan kemudian dicatat jarak gerakan *solut* saat melarut dari waktu 20 detik sampai dengan 100 detik yang diulang sebanyak lima kali pengulangan. Selain pada suhu 27 °C, data penelitian juga diambil pada suhu cairan 4 °C dan 50 °C sebanyak lima kali pengulangan. Pada suhu 50 °C data diambil sampai dengan waktu 60 detik. Karena setelah waktu 60 detik, *solut* sulit dibedakan dengan pelarutnya. Untuk lebih jelasnya data penelitian bisa dilihat pada tabel 4.1.

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh hasil perhitungan dan analisa standar deviasi kecepatan difusi pada *solvent* aquades untuk *solut* madu hutan, madu

Australia dan madu randu pada suhu 4 °C, 27 °C dan 50 °C yang dapat dilihat pada lampiran 3. Dari perhitungan kecepatan pada setiap interval waktu diperoleh kecepatan difusi yang semakin menurun dengan bertambahnya waktu. Hal ini tentunya karena konsentrasi madu semakin mengecil sehingga perbedaan tekanan antara kedua sisi cairan juga semakin kecil. sebagaimana diketahui, cairan yang memiliki perbedaan tekanan antara kedua sisi-sisinya akan terus bergerak untuk menyamakan tekanannya. Sesuai dengan teori tekanan yang menyebutkan bahwa tekanan salah satunya tergantung pada laju. Dengan demikian dengan adanya tekanan yang semakin kecil, maka gerakan cairan juga semakin lambat saat menyeimbangkan tekanannya.

Pada analisa data yang pertama diperoleh ralat standar deviasi untuk masing-masing interval waktu. Selanjutnya, nilai persamaan kecepatan difusi *solut* pada *solvent* aquades diperoleh dari analisa grafik dengan metode pencocokan kurva kuadrat terkecil yang tampak pada grafik 4.1,4.2 dan 4.3. Dengan menggunakan fungsi *curve fitting* pada MATLAB, regresi derajat dua adalah yang paling mendekati data kecepatan. Dapat dilihat bahwa kecepatan difusi menurun secara linier tetapi tidak berupa garis lurus ke bawah. Grafik linier ini merupakan grafik hiperbola yang semakin lama semakin mengecil dan mendekati nol. Pada suhu 50 °C untuk madu australia dan madu randu nampak grafik kecepatan membentuk fungsi kuadratik. Hal ini karena data yang diperoleh hanya pada 3 interval waktu, sehingga dari 3 data tersebut *curve fitting* yang menggunakan derajat dua ini menemukan polinomial kuadratis pada MATLAB.

Pada suhu 4 °C dan 27 °C terlihat perbedaan kecepatan yang tidak terlalu besar. Sedangkan pada suhu 50 °C terlihat rentang yang besar. Hal ini sesuai dengan hukum Graham pada peristiwa efusi gas, bahwa massa jenis berbanding terbalik dengan akar kuadrat dari laju efusi. Dengan bertambahnya suhu menjadikan massa jenis bahan semakin mengecil. Dan dengan massa jenis yang semakin mengecil ini ternyata laju proses difusi semakin besar. Persamaan kecepatan difusi pada *solvent*

aquades untuk *solut* madu hutan, madu australia dan madu randu pada suhu 4 °C, suhu 27 °C dan suhu 50 °C disajikan dalam tabel 4.8.

Pada analisa data selanjutnya, yaitu mendapatkan besarnya koefisien difusi *solut* pada *solvent* aquades. Pada setiap interval waktu, besarnya koefisien difusi relatif sama untuk setiap suhu. Besarnya koefisien difusi pada suhu 4 °C, 27 °C dan 50 °C untuk madu hutan adalah $(0,3454 \pm 0,0113)$ mm²/dtk, $(0,5379 \pm 0,0339)$ mm²/dtk, $(1,2379 \pm 0,0764)$ mm²/dtk, untuk madu Australia $(0,2266 \pm 0,0158)$ mm²/dtk, $(0,4180 \pm 0,0089)$ mm²/dtk, $(1,7764 \pm 0,0501)$ mm²/dtk, untuk madu randu $(0,5595 \pm 0,0303)$ mm²/dtk, $(0,7100 \pm 0,0276)$ mm²/dtk, $(2,7161 \pm 0,1009)$ mm²/dtk.

Analisa grafik regresi linier untuk melihat pengaruh suhu terhadap koefisien difusi masing-masing *solut* pada *solvent* aquades ditampilkan pada grafik 4.4 sampai dengan grafik 4.6. Tampak ada kenaikan yang nyata untuk besarnya koefisien difusi (*y*) terhadap kenaikan suhu (*x*). Hal ini sesuai dengan teoritis yang menyebutkan bahwa koefisien difusi akan bertambah dengan bertambahnya suhu. Hal ini karena suhu berbanding lurus dengan tekanan, dan tekanan ini berkaitan dengan tumbukan antar partikel pada benda. Sehingga laju pergerakan molekul juga semakin meningkat. Dan tentunya dengan bertambahnya aktivitas gerak partikel mengakibatkan *solut* melarutnya juga lebih cepat dibandingkan pada suhu yang lebih kecil.

Menurut teori molekul kinetik, dengan ditambahkannya energi panas ke suatu zat atau dengan kata lain saat suhu dinaikkan, maka energi itu digunakan untuk mengalahkan gaya-gaya tarik yang mengikat partikel-partikel. Sehingga dalam bergerak untuk menyeimbangkan tekanan dalam zat cair yang berbeda karena perbedaan konsentrasi semakin cepat. Maka nilai koefisien difusi juga semakin meningkat. Untuk madu hutan, aproksimasi persamaan untuk tiga titik data yang telah ditemukan adalah dengan interpolasi polynomial kuadrat. Diperoleh fungsi suhu terhadap koefisien difusi madu hutan adalah $Y = 0.0005x^2 - 0.0052x + 0.3591$ dengan galat sebesar $2.9367 \cdot 10^{-30}$. Untuk madu Australia diperoleh fungsi $Y = 0.0011x^2 - 0.0259x + 0.3124$ dengan galat persamaan sebesar $6.9917 \cdot 10^{-29}$. Dan

untuk madu randu fungsi yang terbentuk adalah $Y = 0.0018x^2 - 0.0478x + 0.7227$ dengan galat hasil perhitungan adalah 4.237310^{-28} .

Secara teoritik, kecepatan difusi adalah perubahan konsentrasi terhadap waktu. Dan kecepatan difusi sama dengan perubahan fluks terhadap jarak seperti yang didefinisikan pada persamaan 2.21. Dan fluks berbanding lurus dengan koefisien difusi, maka secara tidak langsung kecepatan difusi sebenarnya dapat diperoleh dari menghitung koefisien difusi. Sedangkan koefisien difusi tidak tergantung pada konsentrasi, juga tidak tergantung dengan pada jarak difusi yang telah ditempuh solut. Koefisien difusi tergantung pada sifat zat terlarut (*solut*) dan pilihan zat terlarutnya (*solvent*), hal ini disebabkan karena pada suhu dan tekanan yang sama massa jenis bahan akan mempengaruhi nilai koefisien difusinya. Karena difusi adalah laju perpindahan *solut*, dan laju sendiri berkaitan dengan energi kinetik. Sebagaimana diketahui, energi adalah bentuk lain dari kalor yang merupakan fungsi suhu. Maka secara tidak langsung yang berpengaruh terhadap koefisien difusi adalah suhu.

Koefisien difusi yang diperoleh pada penelitian ini bergantung pada zat terlarut (*solut*), pelarut (*solvent*), jumlah solut, jarak difusi (x_i), waktu (t) dan suhu (T), di mana untuk suatu nilai koefisien difusi yang diperoleh, *solut*, *solvent*, jumlah *solut* dan suhu adalah tetap. Dengan demikian, koefisien difusi hanya tergantung pada jarak difusi dan waktunya. Manfaat dengan diketahuinya koefisien difusi suatu bahan adalah dapat dijadikan sebagai faktor pengontrol pada peristiwa osmosis. Sebagaimana diketahui bahwa pada peristiwa osmosis selalu diikuti oleh peristiwa difusi.

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilaksanakan, maka kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

1. Besar persamaan kecepatan difusi untuk masing-masing *solut* adalah
 - a. Madu hutan pada suhu 4 °C adalah $-0.0032x + 0.2438$, pada suhu 27 °C adalah $-0.0037x + 0.2968$ dan pada suhu 50 °C adalah $-0.0025x + 0.4283$.
 - b. Madu australia pada suhu 4 °C adalah $-0.0039x + 0.2343$, pada suhu 27 °C adalah $-0.0039x + 0.2745$ dan pada suhu 50 °C adalah $0.0001x^2 - 0.0115x + 0.6297$.
 - c. Madu randu pada suhu 4 °C adalah $-0.0059x + 0.3562$, pada suhu 27 °C adalah $-0.0054x + 0.3732$ dan pada suhu 50 °C adalah $0.0001x^2 - 0.0054x + 0.3732$.
2. Besar nilai koefisien difusi untuk masing-masing *solut* adalah
 - a. Madu hutan pada suhu 4 °C sebesar $(0,3454 \pm 0,0113)$ mm²/dtk, suhu 27 °C sebesar $(0,5379 \pm 0,0339)$ mm²/dtk dan pada suhu 50 °C sebesar $(1,2379 \pm 0,0764)$ mm²/dtk.
 - b. Madu australia pada suhu 4 °C sebesar $(0,2266 \pm 0,0158)$ mm²/dtk, pada suhu 27 °C sebesar $(0,4180 \pm 0,0089)$ mm²/dtk dan pada suhu 50 °C sebesar $(1,7764 \pm 0,0501)$ mm²/dtk.
 - c. Madu randu pada suhu 4 °C sebesar $(0,5595 \pm 0,0303)$ mm²/dtk, suhu 27 °C sebesar $(0,7100 \pm 0,0276)$ mm²/dtk dan pada suhu 50 °C sebesar $(2,7161 \pm 0,1009)$ mm²/dtk.

3. Berdasarkan analisa numeric untuk menemukan pendekatan fungsi suhu terhadap koefisien difusi suatu zat cair telah diperoleh persamaan untuk madu hutan adalah $Y = 0.0005x^2 - 0.0052x + 0.3591$, madu Australia adalah $Y = 0.0011x^2 - 0.0259x + 0.3124$, dan madu randu adalah $Y = 0.0018x^2 - 0.0478x + 0.7227$.

6.2 Saran

Bagi mahasiswa, hendaknya ada penelitian lanjutan mengenai pengaruh massa jenis terhadap koefisien difusi, karena pada penelitian ini belum melihat massa jenis *solut* yang berbeda pada tiap-tiap suhu terhadap penentuan nilai koefisien difusinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alberty, Robert A. 1981. *Kimia Fisika*. Jakarta : Erlangga.
- Atkins, P.W. 1997. *Kimia Fisika*. Jakarta : Erlangga.
- Brandy, James E. 1999. *Mekanika Fluida*. Jakarta : Erlangga.
- Giancoli, D.C. 1996. *Fisika Edisi Keempat Jilid I*. Jakarta : Erlangga.
- Hanselman, Duane dan BruceLittlefield. 2000. *MATLAB Bahasa Komputasi Teknis*. Yogyakarta : ANDI.
- Keenan, Kleinfelter, dan Wood. 1996. *Kimia Untuk Universitas*. Jakarta : Erlangga.
- Munir, Rinaldi. 2003. *Metode Numerik*. Bandung : Informatika.
- Muthmainah. 2001. *Fisika Dasar Seri Fluida*. Jember : Fakultas MIPA Penerbit Universitas Jember.
- Olson, Ruben O., Steven J. Wright. 1993. *Mekanika Fluida*. Jakarta : Erlangga.
- Preston, D.W., dan Dietz E.R. 1991. *The Art of Experimental Physics*. John Wiley & Sons, Inc.
- Tipler, A.P. 1998. *Fisika Untuk Sains dan Tehnik Edisi ke-3 Jilid I*. Jakarta : Erlangga.
- Subekti, Agus. 2002. *Pengantar Eksperimen*. Jember : Penerbit Universitas Jember.
- Strenheim, M.M. dan Kane J.W. 1991. *General Physics*. John Wiley & Sons, Inc.
- Winarno, F.G. 1982. *Madu, Tehnologi, Khasiat Dan Analisa*. Bogor : Pusat Penelitian dan Pengembangan Pangan IPB.
- Young, H.D. 1992. *Fisika Universitas Jilid I*. Jakarta : Erlangga.
- Zeamansky, S. 1985. *Fisika Untuk Universitas*. Bandung : Bina Cipta Erlangga.

MATRIKS PENELITIAN

JUDUL	PERMASALAHAN	VARIABEL	INDIKATOR	METODE	ANALISA
Aproksimasi Fungsi Suhu Terhadap Koefisien Difusi Suatu Zat Cair	<p>1. Bagaimana persamaan kecepatan difusi zat cair pada pelarut air murni pada suhu yang berbeda?</p> <p>2. Berapakah besar koefisien difusi zat cair pada pelarut air murni pada suhu yang berbeda?</p> <p>3. Bagaimana bentuk aproksimasi fungsi suhu terhadap koefisien difusi pada suatu zat cair?</p>	<p>Variabel terikat : laju difusi dan persamaan koefisien difusi.</p> <p>Variabel bebas : waktu, dan suhu.</p>	Jarak difusi larutan.	<p>Metode eksperimen sebagai berikut :</p> <ol style="list-style-type: none"> Menyusun peralatan seperti pada desain alat. Membuka sekat pemisah, kemudian mencatat pergerakan <i>solut</i>. Mengulangi langkah di atas untuk <i>solut</i> yang lain. Mengulangi langkah 1 sampai 5 untuk suhu 4⁰C dan 50⁰C. Menentukan koefisien difusi <i>solut</i> pada aquades. 	<p>Analisa standar deviasi</p> <p>1. Jarak pelarutan <i>solut</i>.</p> $\bar{x}_i = \frac{\sum x_i}{n}$ $\Delta x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x}_i)^2}{n(n-1)}}$ <p>2. Kecepatan difusi <i>solut</i>.</p> $v_i = \frac{x_i}{t_i}$ $\Delta v_i = \frac{\partial v_i}{\partial x_i} \Delta x_i + \frac{\partial v_i}{\partial t} \Delta t =$ $\frac{1}{t} \Delta x_i - \frac{x_i}{t^2} \Delta t$ $Kr = \frac{\Delta v_i}{v_i} \times 100\%$ $Ks = 100\% - Kr$ <p>3. Koefisien difusi <i>solut</i>.</p> $\bar{D} = \frac{\sum \frac{x_i^2}{2t}}{n} \quad m^2/s$

$$\Delta D_m = \sqrt{\frac{\sum (D_i - \bar{D})^2}{n(n-1)}}$$

$$Kr = \frac{\Delta D}{D} \times 100\%$$

$$Ks = 100\% - Kr$$

Analisa Numerik

Persamaan kecepatan difusi solute diperoleh dengan analisa metode kuadrat terkecil.

Aproksimasi fungsi suhu terhadap koefisien difusi suatu zat cair diperoleh dengan interpolasi polinom kuadrat.

DATA PENGAMATAN

1. Data Hasil Pengamatan Pada Matu Hutan

t (dtk)	Jarak yang telah ditempuh <i>solut</i>														
	T = 4° C					T = 27° C					T = 50° C				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
20	3	4	4	4	4	5	5	5	4	4	8	7	7	7	8
40	5	5	6	5	5	8	7	7	7	6	10	9	9	9	10
60	7	7	6	6	7	9	8	8	8	8	13	13	12	11	12
80	8	8	7	7	8	10	9	9	9	9	-	-	-	-	-
100	8	8	8	7	8	11	10	10	10	10	-	-	-	-	-

2. Data Hasil Pengamatan Pada Madu Australia

t (dtk)	Jarak yang telah ditempuh <i>solut</i>														
	T = 4° C					T = 27° C					T = 50° C				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
20	4	3	4	3	3	4	3	4	5	5	8	9	8	9	9
40	5	4	5	4	3	5	5	6	6	6	11	12	12	12	13
60	6	5	5	5	4	7	7	7	7	8	14	14	15	14	14
80	6	6	6	6	5	9	8	8	8	8	-	-	-	-	-
100	7	7	6	6	6	10	9	9	8	9	-	-	-	-	-

3. Data Hasil Pengamatan Pada Madu Randu

t (dtk)	Jarak yang telah ditempuh <i>solut</i>														
	4° C					27° C					50° C				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
20	5	6	5	4	5	5	5	6	6	6	11	10	11	11	11
40	7	6	6	6	7	7	8	8	8	8	15	13	14	15	14
60	9	8	7	8	9	9	10	9	8	10	18	17	17	19	17
80	10	9	8	9	10	10	11	10	9	11	-	-	-	-	-
100	11	10	9	10	12	12	12	11	10	12	-	-	-	-	-

ANALISA DATA

1. Hasil perhitungan jarak rata-rata difusi dan ralat standar deviasi.

a. Madu Hutan

T (dtk)	T=4°C		T=27°C		T=50°C	
	x_I	Δx	x_i	Δx	x_i	Δx
20	3.8000	0.2000	5.0000	0.3162	7.4000	0.2449
40	5.2000	0.2000	7.0000	0.3162	9.4000	0.2449
60	6.6000	0.2449	7.8000	0.3742	12.2000	0.3742
80	7.6000	0.2449	8.8000	0.3742	0	0
100	7.8000	0.2000	9.6000	0.2449	0	0

b. Madu Australia

T (dtk)	T=4°C		T=27°C		T=50°C	
	x_I	Δx	x_i	Δx	x_i	Δx
20	3.4000	0.2449	4.2000	0.3742	8.6000	0.2449
40	4.2000	0.3742	5.6000	0.2449	12.0000	0.3162
60	5.0000	0.3162	7.2000	0.2000	14.2000	0.2000
80	5.8000	0.2000	8.2000	0.2000	0	0
100	6.4000	0.2449	9.0000	0.3162	0	0

c. Madu Randu

T (dtk)	T=4°C		T=27°C		T=50°C	
	x_I	Δx	x_i	Δx	x_i	Δx
20	5.2000	0.2000	5.6000	0.2449	10.8000	0.2000
40	6.4000	0.2449	7.8000	0.2000	14.4000	0.4000
60	8.2000	0.3742	9.2000	0.3742	17.8000	0.3742
80	9.2000	0.3742	10.2000	0.3742	0	0
100	10.2000	0.3742	11.4000	0.4000	0	0

2. Hasil perhitungan kecepatan dan ralat standar deviasi kecepatan.

a. Hasil Ralat Standar Deviasi Kecepatan Difusi Untuk *Solut* Madu Hutan Pada Suhu 4°C.

T	V_I	Δv_i	$Kr(\%)$	$Ks(\%)$
20	0.1900	0.0052	2.7632	97.2368
40	0.1300	0.0034	2.5962	97.4038
60	0.1100	0.0032	2.8780	97.1220
80	0.0950	0.0025	2.5980	97.4020
100	0.0780	0.0016	2.0641	97.9359

b. Hasil Ralat Standar Deviasi Kecepatan Difusi Untuk *Solut* Madu Hutan Pada Suhu 27°C.

T	V_I	Δv_i	$Kr(\%)$	$Ks(\%)$
20	0.2500	0.0096	3.8246	96.1754
40	0.1750	0.0057	3.2675	96.7325
60	0.1300	0.0052	3.9637	96.0363
80	0.1100	0.0040	3.6269	96.3731
100	0.0960	0.0020	2.0516	97.9484

c. Hasil Ralat Standar Deviasi Kecepatan Difusi Untuk *Solut* Madu Hutan Pada Suhu 50°C.

T	V_I	Δv_i	$Kr(\%)$	$Ks(\%)$
20	0.3700	0.0030	0.8101	99.1899
40	0.2350	0.0032	1.3558	98.6442
60	0.2033	0.0045	2.2336	97.7664
80	0	0	-	-
100	0	0	-	-

d. Hasil Ralat Standar Deviasi Kecepatan Difusi Untuk *Solut* Madu Australia Pada Suhu 4°C.

T	V_I	Δv_i	$Kr(\%)$	$Ks(\%)$
20	0.1700	0.0080	4.7044	95.2956
40	0.1050	0.0080	7.6587	92.3413
60	0.0833	0.0046	5.4912	94.5088
80	0.0725	0.0020	2.8233	97.1767
100	0.0640	0.0021	3.3273	96.6727

e. Hasil Ralat Standar Deviasi Kecepatan Difusi Untuk *Solut* Madu Australia Pada Suhu 27°C.

T	V_I	Δv_i	$Kr(\%)$	$Ks(\%)$
20	0.2100	0.0135	6.4087	93.5913
40	0.1400	0.0044	3.1241	96.8759
60	0.1200	0.0023	1.9444	98.0556
80	0.1025	0.0019	1.8140	98.1860
100	0.0900	0.0027	3.0136	96.9864

f. Hasil Ralat Standar Deviasi Kecepatan Difusi Untuk *Solut* Madu Australia Pada Suhu 50°C.

T	V_I	Δv_i	$Kr(\%)$	$Ks(\%)$
20	0.4300	0.0015	0.3482	99.6518
40	0.3000	0.0042	1.3852	98.6148
60	0.2367	0.0014	0.5751	99.4249
80	0	0	-	-
100	0	0	-	-

g. Hasil Ralat Standar Deviasi Kecepatan Difusi Untuk *Solut* Madu Randu Pada Suhu 4°C.

T	V_I	Δv_i	$Kr(\%)$	$Ks(\%)$
20	0.2600	0.0035	1.3462	98.6538
40	0.1600	0.0041	2.5773	97.4227
60	0.1367	0.0051	3.7297	96.2703
80	0.1150	0.0040	3.4420	96.5580
100	0.1020	0.0032	3.1683	96.8317

h. Hasil Ralat Standar Deviasi Kecepatan Difusi Untuk *Solut* Madu Randu Pada Suhu 27°C.

T	V_I	Δv_i	$Kr(\%)$	$Ks(\%)$
20	0.2800	0.0052	1.8741	98.1259
40	0.1950	0.0026	1.3141	98.6859
60	0.1533	0.0050	3.2337	96.7663
80	0.1275	0.0039	3.0433	96.9567
100	0.1140	0.0034	3.0088	96.9912

i. Hasil Ralat Standar Deviasi Kecepatan Difusi Untuk *Solut* Madu Randu Pada Suhu 50°C.

T	V_I	Δv_i	$Kr(\%)$	$Ks(\%)$
20	0.5400	0.0035	0.6481	99.3519
40	0.3600	0.0055	1.5278	98.4722
60	0.2967	0.0038	1.2687	98.7313
80	0	0	-	-
100	0	0	-	-