

IR-PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS AIRLANGGA

1 DEC 2003

**SELESAI**

**APLIKASI INTERFEROMETRI HOLOGRAFI PENYINARAN GANDA  
UNTUK MENENTUKAN KOEFISIEN DIFUSI SISTEM ISOTERMAL  
LARUTAN BINER KCl - H<sub>2</sub>O**

**PAMERAN**

**Ketua Peneliti :**

**Dra. Retna Apsari, M.Si.**

**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS AIRLANGGA**

**Dibiayai Oleh : Dana Rutin Unair 1998/1999  
SK.Rektor Nomor : 6128/J03/PL/1998**

DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS AIRLANGGA

PHYSICAL OPTICS  
HOLOGRAPHIC INTERFEROMETRY

KRC  
KK  
535.470 287  
Apl

**APLIKASI INTERFEROMETRI HOLOGRAFI PENYINARAN GANDA  
UNTUK MENENTUKAN KOEFISIEN DIFUSI SISTEM ISOTERMAL  
LARUTAN BINER KCl - H<sub>2</sub>O**

Ketua Peneliti :

Dra. Retna Apsari, M.Si.

SELESAI

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

3000183993141

MILIK  
PERPUSTAKAAN  
UNIVERSITAS AIRLANGGA  
SURABAYA



**LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS AIRLANGGA**

Dibiayai Oleh : Dana Rutin Unair 1998/1999  
SK.Rektor Nomor : 6128/J03/PL/1998

3000 183 99 3141

IR-PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS AIRLANGGA

MILIK  
PERPUSTAKAAN  
UNIVERSITAS AIRLANGGA  
SURABAYA

APLIKASI INTERFEROMETRI HOLOGRAFI PENYINARAN GANDA  
UNTUK MENENTUKAN KOEFISIEN DIFUSI SISTEM ISOTERMAL  
LARUTAN BINER KCl - H<sub>2</sub>O

Ketua Panitia :

Dr. Retna Apasari, M.Si.

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

Dibuat di Oleh : Dana Runtin (tahun 1988/1989)  
SK. Rektor Nomor : 6128/103/W/1988

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
DIREKTORAT JENDRAL PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS AIRLANGGA**

**APLIKASI INTERFEROMETRI HOLOGRAFI PENYINARAN GANDA  
UNTUK MENENTUKAN KOEFISIEN DIFUSI SISTEM ISOTERMAL  
LARUTAN BINER KCl - H<sub>2</sub>O**

**PENELITI :**

**Dra. Retna Apsari, M.Si  
Ir. Aminatun, M.Si  
Ir, Soegianto Soelistiono, M.Si  
Samian, S.Si  
Supadi, S.Si**

**FAKULTAS MIPA UNIVERSITAS AIRLANGGA**



**Lembaga Penelitian Universitas Airlangga  
: DANA RUTIN Universitas Airlangga  
: 6128/J03/PL/1998  
: 24 Agustus 1998**

**Dibiayai  
SK. Rektor Nomor  
Tanggal**

LAPORAN PENELITIAN

APLIKASI INTERFEROMETRI HOLOGRAFI ...

RETNA APSARI



IR-PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA  
DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
**UNIVERSITAS AIRLANGGA**  
**LEMBAGA PENELITIAN**

1. Puslit Pembangunan Regional  
2. Puslit Obat Tradisional  
3. Puslit Pengembangan Hukum  
4. Puslit Lingkungan Hidup (5995718)  
5. Puslit Pengembangan Gizi (5995720)  
6. Puslit/Studi Wanita (5995722)  
7. Puslit Olahraga  
8. Puslit Bioenergi  
9. Puslit Kependudukan dan Pembangunan (5995719)  
10. Puslit / Kesehatan Reproduksi

Kampus C, Jl. Mulyorejo Telp. (031) 5995246, 5995248, 5995247 Fax. (031) 5995246, Surabaya 60115

IDENTITAS DAN PENGESAHAN  
LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN

1. a. Judul Penelitian : Aplikasi Interferometri Holografi Penyinaran Ganda Untuk Menentukan Koefisien Dipusi Sistem Isotermal Larutan Biner KCl-H<sub>2</sub>O  
b. Macam Penelitian :  Fundamental,  Terapan,  Pengembangan  
 Institusional  
c. Katogori Penelitian :  I  II  III  IV
2. Kepala Proyek Penelitian  
a. Nama Lengkap Dengan Gelar : Dra. Retna Apsari, M.Si.  
b. Jenis Kelamin : W a n i t a  
c. Pangkat/Golongan dan NIP : Penata Muda/IIIa/132 049 210  
d. Jabatan Sekarang : Staf Pengajar  
e. Fakultas/Jurusan/Puslit. : FMIPA/Fisika  
f. Univ./Inst./Akademi : Universitas Airlangga  
g. Bidang Ilmu Yang Diteliti : Fisika Optik dan Fisika Kimia
3. Jumlah Tim Peneliti : 5 (lima) orang
4. Lokasi Penelitian : Fakultas MIPA Universitas Airlangga
5. Kerjasama dengan Instansi Lain  
a. Nama Instansi :  
b. A l a m a t :
6. Jangka Waktu Penelitian : 6 (enam) bulan
7. Biaya Yang Diperlukan : Rp 3.000.000,00
8. Seminar Hasil Penelitian :  
a. Dilaksanakan Tanggal : 11 Mei 1999  
b. Hasil Penelitian :  Baik Sekali  B a i k  
 S e d a n g  K u r a n g

Surabaya, 11 Mei 1999



Mengetahui/ Mengesahkan :  
a.n. Rektor  
Ketua Lembaga Penelitian,

Prof. Dr. Noor Cholies Zaini  
NIP. 130 355 372

## RINGKASAN PENELITIAN

**Judul Penelitian** : Aplikasi Interferometri Holografi Penyinaran Ganda  
Untuk menentukan Koefisien Difusi Sistem Isotermal  
Larutan Biner KCl-H<sub>2</sub>O

**Ketua Peneliti** : Retna Apsari

**Anggota Peneliti** : Aminatun, Soegianto Soelistiono, Samian, Supadi

**Fakultas/Puslit** : MIPA Universitas Airlangga

**Sumber Biaya** : DANA RUTIN Universitas Airlangga  
SK. Rektor Nomor 6128/J03/PL/1998  
Tanggal 24 Agustus 1998

---

Proses difusi merupakan salah satu contoh proses *irreversibel* yang merupakan kunci utama di dalam mempelajari proses nyata yang terjadi di alam zahir ini, diantaranya proses-proses biofisis. Namun, publikasi mengenai termodinamika *irreversibel* masih tergolong langka dan kurang diminati karena tidak mudah dilakukan di laboratorium yang serba terbatas dan peralatan yang sukar diperoleh. Untuk itu, dalam penelitian ini dikembangkan metode alternatif yang mungkin dilakukan, mempunyai ketelitian tinggi dan tidak bersifat merusak dalam mempelajari perubahan-perubahan kecil yang bersifat sementara seperti difusi.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan koefisien difusi larutan biner KCl-H<sub>2</sub>O menggunakan metode interferometri holografi penyinaran ganda, dengan Laser He-Ne berpanjang gelombang  $6,328 \cdot 10^{-7}$  m sebagai sumber cahaya. Dalam metode ini dilakukan dua kali perekaman pola interferensi pada satu plat film. Perekaman pertama dilakukan tanpa obyek, sedangkan perekaman kedua dilakukan dengan obyek yang akan diteliti, yaitu sel sampel berisi larutan encer yang akan ditentukan nilai koefisien difusinya. Dari proses perekaman dihasilkan hologram. Pada saat hologram direkonstruksi terlihat pola rumbai dari bayangan obyek, yang kemudian di foto. Dari foto ini, harga koefisien difusi larutan biner akan dianalisis.

Penentuan koefisien difusi dilakukan dari pengukuran lokasi rumbai yang dihasilkan hologram dan waktu terjadinya proses difusi. Jika hologram direkonstruksi, lokasi rumbai yang berinterferensi akan tampak membentuk sederetan pola gelap terang. Koefisien difusi larutan diperoleh dari analisa kuantitatif jarak kerapatan antar rumbai yang terbentuk pada saat-saat tertentu berlangsungnya proses difusi. Metode analisis menggunakan bantuan program simulasi komputer berbahasa Delphi, dan pengukuran manual dengan menggunakan jangka sorong untuk gambar rumbai yang tidak dapat dianalisis dengan program simulasi komputer.

Larutan encer yang diteliti koefisien difusinya adalah larutan biner KCl-H<sub>2</sub>O (1 M) yang direkam pada saat proses difusi berlangsung 2,53 menit, 7,50 menit, 14,34 menit, 19,05 menit, dan 24,15 menit.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Perpindahan Panas PAU Ilmu Teknik UGM untuk proses perekaman dan Laboratorium Fisika Optik F.MIPA Unair untuk proses rekonstruksi.

Dari hasil eksperimen, diperoleh koefisien difusi larutan biner KCl-H<sub>2</sub>O (1 M pada 25 °C) adalah  $(1,85 \pm 0,05) \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ . Terdapat kesesuaian antara hasil penelitian ini, penelitian terdahulu, dan data-data yang ada pada literatur. Jadi dapat disimpulkan bahwa metode interferometri holografi penyinaran ganda, dengan bantuan metode analisis simulasi komputer berbahasa Delphi, dapat digunakan sebagai metode alternatif untuk penentuan koefisien difusi larutan encer.

Namun begitu, metode ini harus terus dikembangkan untuk daya guna dan aplikasi yang lebih maksimal. Hal-hal yang perlu diperhatikan untuk pengembangan lebih lanjut adalah sel difusi perlu mendapat perhatian utama, program simulasi komputer perlu disempurnakan, sedapat mungkin dihasilkan rumbai yang berkualitas baik agar mudah dianalisis dengan program simulasi komputer, dan kemungkinan komputerisasi interferometri holografi.

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allāh Swt, akhirnya penelitian yang penulis lakukan dapat terselesaikan dan dapat diungkapkan ke dalam bentuk tulisan ilmiah yang sederhana ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa terselesaikannya tulisan ini tak lepas dari peran serta berbagai pihak. Untuk itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini, baik bantuan moril dan materiil.

Penulis melakukan penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan bidang fisika optik dan instrumentasi pendukungnya, serta kemungkinan aplikasinya berkaitan dengan disiplin ilmu lain.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari bahwa tulisan ilmiah ini masih jauh dari kesempurnaan. Harapan penulis, semoga tulisan ini turut menyumbangkan manfaat, sekalipun hanya sekedar "setitik embun". Kritik dan saran yang membangun selalu terbuka demi kesempurnaan penelitian dan tulisan ini.

Surabaya, April 1999

Penulis



**DAFTAR ISI**

	<b>halaman</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>v</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Latar belakang Permasalahan</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. Rumusan Masalah</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3. Tujuan Penelitian</b> .....	<b>4</b>
<b>1.4. Manfaat Penelitian</b> .....	<b>4</b>
<b>1.5. Batasan Penelitian</b> .....	<b>5</b>
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1. Laser He-Ne</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2. Prinsip Holografi</b> .....	<b>8</b>
<b>2.3. Analisis Koefisien Difusi Larutan</b> .....	<b>17</b>
<b>Bab III. METODE PENELITIAN</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1. Bahan-bahan penelitian</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2. Alat-alat Penelitian</b> .....	<b>25</b>
<b>3.3. Jalannya Penelitian</b> .....	<b>27</b>
<b>3.4. Analisis Data</b> .....	<b>30</b>

<b>3.5. Kesulitan-kesulitan yang timbul selama Penelitian dan Cara Pemecahannya .....</b>	<b>3</b>
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>46</b>
<b>5.1. Kesimpulan .....</b>	<b>46</b>
<b>5.2. Saran .....</b>	<b>46</b>
<b>DAFTAR ACUAN .....</b>	<b>49</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>50</b>

## DAFTAR TABEL

		halaman
Tabel 2.1	Karakteristik keluaran Laser He-Ne .....	8
Tabel 3.1	Karakteristik-karakteristik nominal emulsi-emulsi holografi .....	24
Tabel 4.1	Hasil analisa koefisien difusi larutan biner KCl-H <sub>2</sub> O (1M) ke dalam air (dengan bantuan program simulasi komputer berbahasa Delphi) .....	41
Tabel 4.2	Harga koefisien difusi larutan biner KCl-H <sub>2</sub> O yang dihasilkan peneliti lain .....	42
Tabel 4.3	Harga koefisien difusi larutan biner KCl-H <sub>2</sub> O yang dihasilkan Apsari (1998) .....	43

## DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Diagram aras tenaga atom He-Ne (Sirohi, 1985) .....	7
Gambar 2.2 Proses perekaman hologram .....	9
Gambar 2.3 Proses rekonstruksi .....	10
Gambar 2.4 Proses perekaman hologram lepas sumbu .....	12
Gambar 2.5 Kurva Hurter-Driffield .....	14
Gambar 2.6 Kurva amplitudo transmitansi $t$ terhadap penyinaran $E$ .....	14
Gambar 2.7 Gambaran ringkas eksperimen .....	17
Gambar 2.8 Rumbai yang terbentuk dari difusi larutan KCl 0,005 M ke dalam air setelah 10,3 menit proses difusi (Becsey dkk, 1971) .....	21
Gambar 3.1 Media perekam .....	23
Gambar 3.2 Cara pasang peralatan .....	25
Gambar 3.3 Sel sampel .....	35
Gambar 4.1 Rumbai yang terbentuk sebelum proses difusi larutan KCl 1 M ke dalam air .....	38
Gambar 4.2 Rumbai yang terbentuk dari difusi larutan KCl 1 M ke dalam air setelah 2,35 menit proses difusi .....	60

<b>Gambar 4.3</b>	<b>Rumbai yang terbentuk dari difusi larutan KCl 1 M</b>	
	<b>ke dalam air setelah 7,50 menit proses difusi .....</b>	<b>39</b>
<b>Gambar 4.4</b>	<b>Rumbai yang terbentuk dari difusi larutan KCl 1 M</b>	
	<b>ke dalam air setelah 14,34 menit proses difusi .....</b>	<b>39</b>
<b>Gambar 4.5</b>	<b>Rumbai yang terbentuk dari difusi larutan KCl 1 M</b>	
	<b>ke dalam air setelah 19,05 menit proses difusi .....</b>	<b>40</b>
<b>Gambar 4.6</b>	<b>Rumbai yang terbentuk dari difusi larutan KCl 1 M</b>	
	<b>ke dalam air setelah 24,15 menit proses difusi .....</b>	<b>40</b>
<b>Gambar 4.7</b>	<b>Grafik Konduktivitas Larutan Biner KCl-H<sub>2</sub>O .....</b>	<b>44</b>

## BAB I

## PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Dewasa ini, para ahli menyadari bahwa proses-proses nyata yang terjadi di alam zahir merupakan proses *ireversibel* yang berlangsung dalam suatu sistem tak setimbang. Sistem yang demikian mengalami proses disipasi menuju ke arah kesetimbangan akhir yang ditandai dengan munculnya fluks-fluks dalam sistem akibat adanya gaya-gaya dorong termodinamik. Dalam sistem ini ada pertautan antara fluks-fluks dengan gaya-gaya termodinamik dan pertautan ini merupakan kunci utama di dalam mempelajari proses nyata yang terjadi di alam zahir ini, diantaranya sistem-sistem biofisis. Disiplin ilmu termodinamik ini juga menjadi alat untuk menggarap kaidah-kaidah biofisis yang melandasi ilmu kedokteran modern (Sunyono, 1997). Namun, publikasi mengenai termodinamika ireversibel masih tergolong langka bahkan penelitian atas pertautan fluks dan gaya yang menjadi kunci utamanya serta yang menjangkau seluruh sistem tidak banyak dilakukan dan kurang diminati.

Contoh pertautan fluks-gaya yang menarik untuk dipelajari adalah peristiwa berlangsungnya proses difusi, yang merupakan proses berpindahnya zat dari suatu bagian sistem ke bagian sistem yang lain karena perbedaan kerapatan dan gerak molekul yang tidak teratur. Dalam hal ini, laju perubahan konsentrasi berperan sebagai fluks dan gradien potensial kimia sebagai gaya. Metode-metode eksperimen

difusi yang telah banyak dilakukan, ternyata tidak mudah dilakukan dilaboratorium yang serba terbatas dan peralatan yang sukar diperoleh. Untuk itu, metode alternatif yang mungkin dilakukan dan mempunyai ketelitian tinggi perlu dikembangkan.

Dalam penelitian ini, dikembangkan metode interferometri penyinaran ganda dengan jalan menafsirkan citra bayangan yang terjadi. Pola gelap terang pada bayangan disebabkan karena terjadinya interferensi antara gelombang obyek sebelum berubah dan gelombang obyek setelah berubah. Interferensi tersebut dapat membedakan perbedaan lintasan optik sebesar satu panjang gelombang dari cahaya yang digunakan, karena itu pengukuran interferometri holografi mempunyai ketelitian tinggi (Hariyanto dkk, 1993). Metode ini diterapkan sebagai metode tidak merusak dalam mempelajari perubahan-perubahan kecil yang bersifat sementara (Gray dan Fenichel, 1979), seperti sistem isothermal larutan biner KCl-H<sub>2</sub>O.

Dari penelitian sebelumnya (Apsari, 1998), diperoleh hasil bahwa teknik interferometri holografi dapat digunakan untuk menentukan koefisien difusi larutan elektrolit dan non elektrolit dalam kondisi encer, berdasarkan model matematik yang dijabarkan. Dari penelitian tersebut kondisi encer larutan yang akan ditentukan koefisien difusinya, belum diperhitungkan. Oleh karena itu, penelitian ini akan dicoba untuk menentukan koefisien difusi sistem isothermal larutan biner KCl-H<sub>2</sub>O dengan mempertimbangkan sifat konduktivitas larutan biner KCl-H<sub>2</sub>O. Metode ini mengizinkan penterjemahan secara langsung perubahan lintasan optik ke dalam perubahan konsentrasi, dengan pengukuran lokasi dan waktu evolusi rumbai.

Untuk mempermudah analisis data, setelah rekonstruksi dan didapatkan gambar hasil rekonstruksi dari difusi larutan biner KCl-H<sub>2</sub>O dibuat program simulasi komputer. Hal ini perlu dilakukan, mengingat dari penelitian sebelumnya (Apsari, 1998) perhitungan secara manual cukup merepotkan dan memakan waktu.

## 1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dipecahkan dalam penelitian ini meliputi hal-hal berikut:

1. Apakah sistem interferometri holografi yang dibuat dengan peralatan yang tersedia, mampu mengukur koefisien difusi larutan isothermal biner KCl-H<sub>2</sub>O sesuai dengan literatur, dengan bantuan program simulasi komputer berbahasa Delphi yang dibuat ?
2. Apakah teknik interferometri holografi penyinaran ganda dapat digunakan sebagai instrumen alternatif pengukur koefisien difusi sistem isothermal larutan biner encer KCl - H<sub>2</sub>O, berdasarkan model matematik yang dijabarkan ?
3. Apakah sistem interferometri holografi yang dibuat mampu menghasilkan hologram yang berkualitas baik ?
4. Apakah larutan KCl yang digunakan dapat mewakili kondisi encer yang disyaratkan oleh model matematik, berdasarkan sifat konduktivitas larutannya ?



### **1.3 Tujuan Penelitian**

**Tujuan penelitian ini meliputi hal-hal berikut :**

- 1. Untuk mendapatkan harga koefisien difusi sistem isothermal larutan biner KCl-H<sub>2</sub>O, dengan bantuan program simulasi komputer yang dibuat.**
- 2. Mengusahakan agar teknik interferometri holografi penyinaran ganda dapat digunakan sebagai instrumen alternatif pengukur koefisien difusi larutan biner encer**
- 3. Membuat sistem interferometri holografi yang mampu menghasilkan hologram berkualitas baik**
- 4. Untuk mendapatkan nilai konduktivitas larutan yang digunakan, sehingga syarat encer yang diharapkan oleh model matematik yang digunakan, dapat terpenuhi.**

### **1.4 Manfaat Penelitian**

**Dengan berhasilnya penelitian ini, akan membuka peluang penelitian-penelitian di bidang lain yang membutuhkan proses difusi sebagai materi penelitiannya, seperti dalam bidang farmasi, biofisika, kimia medisinal, ilmu-ilmu hayati, kimia, dan teknik. Diharapkan pula teknik ini dapat digunakan sebagai instrumen alternatif untuk menentukan koefisien difusi larutan di Indonesia pada umumnya dan di Unair pada khususnya.**

Untuk pengembangan selanjutnya, teknik ini dapat diaplikasikan untuk pengukuran-pengukuran di bidang lain yang membutuhkan ketelitian tinggi. Dengan komputerisasi terpadu teknik ini dapat digunakan sebagai instrumen yang tangguh.

### **1.5 Batasan Penelitian**

Untuk memudahkan teknik pelaksanaan penelitian ini perlu dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut :

- a. Penelitian dilakukan di Laboratorium Perpindahan Panas PAU Ilmu Teknik UGM dengan cara pasang peralatan yang telah dibuat, sedangkan plat film holografi yang digunakan sebagai perekam adalah film Kodak tipe 649F1A0.
- b. Difusi yang akan dianalisa diandaikan berlangsung dalam satu arah serta dibatasi untuk difusi pada sistem isothermal larutan biner encer, yaitu larutan KCl 1 M (mol/l) - H<sub>2</sub>O.

## BAB II

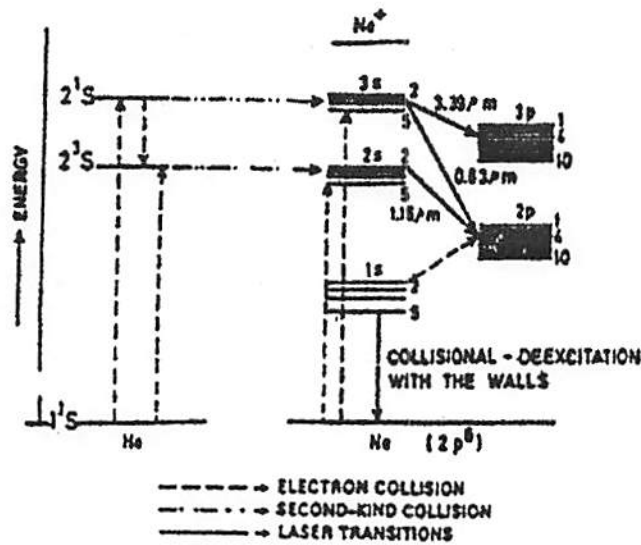
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Laser He-Ne

Laser He-Ne dikenal sebagai laser sederhana yang harganya relatif murah, dibangun pertama kali pada tahun 1961 oleh Ali Javan. Berkas laser He-Ne mempunyai keistimewaan dibandingkan dengan sumber cahaya konvensional, yaitu berkasnya kecil dan sangat terarah, monokromatik, koheren, dan kecerahannya tinggi.

Seperti halnya laser-laser lain, komponen utama laser He-Ne adalah zat aktif, cermin-cermin resonator dan pemompa energi. Bahan aktif yang dipergunakan adalah campuran gas Helium dan Neon dengan perbandingan 7 : 1. Zat aktif ini ditempatkan pada sebuah tabung dengan tekanan 1 torr (Sirohi, 1985). Resonator terdiri dari dua buah cermin. Cermin pertama memiliki koefisien reflektivitas sampai 99,99 % dan cermin kedua yang disebut dengan cermin keluaran adalah cermin penerus sebagian (*partially transmitting*).

Masalah utama dalam laser gas adalah bagaimana atom dapat dirangsang secara terpilih ke tingkat tertentu dalam jumlah yang cukup untuk mencapai pembalikan populasi (Laud, 1988). Untuk menghasilkan populasi elektron tereksitasi yang cukup memadai, dilakukan pemompaan elektrik kedalam zat aktif. Mekanisme pembalikan populasi pada zat aktif dapat diamati pada diagram aras-  
aras tenaga atom He dan atom Ne berikut ini :



Gambar 2.1. Diagram Aras Tenaga Atom He-Ne  
(Sirohi, 1985)

Atom-atom He ternyata lebih siap terangsang oleh kejutan elektron daripada atom-atom Ne. Interaksi antara elektron-elektron yang dihasilkan oleh lucutan antara anoda dan katoda, menghasilkan atom-atom Helium yang elektron-elektronnya tereksitasi. Aras yang dihuni oleh elektron-elektron ini adalah  $2^3S$  dan  $2^1S$  yang metastabil. Jika suatu atom helium dalam keadaan metastabil membentur atom neon dalam keadaan dasar, maka akan terjadi pertukaran energi sehingga atom neon naik ke tingkat  $2S$  atau  $3S$  dan atom helium turun kembali ke keadaan dasar. Hal ini memungkinkan mekanisme populasi terpilih yang secara terus menerus memberikan atom-atom Ne ke tingkat-tingkat  $2S$  dan  $3S$  yang akan menaikkan populasinya. Menurut Sirohi (1985), aras  $2S$  dan  $3S$  dari atom-atom Ne yang memiliki umur sekitar  $10^{-8}$  detik merupakan kondisi yang amat sesuai untuk terjadinya aksi laser.

Dengan transisi-transisi energi yang mungkin seperti telah dijelaskan di atas, aksi laser dari campuran atom-atom He dan Ne dapat menghasilkan keluaran laser dengan panjang gelombang  $0,6328 \mu m$ ,  $1,15 \mu m$ , serta  $3,39 \mu m$ . Namun demikian untuk keperluan pemistaran (pensejajaran), interferometri dan pemrosesan data serta holografi, banyak diperlukan laser berwarna merah yang memiliki panjang gelombang  $0,6328 \mu m$ . Laser berwarna merah ini dihasilkan oleh transisi dari  $3S_2$  menuju  $2P_4$ .

Karakteristik keluaran laser He-Ne dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Karakteristik keluaran Laser He-Ne

panjang gelombang	632,82 nm
daya	0,5 - 50 mW
diameter sorotan	0,5 - 2 mm
divergensi sorotan	0,5 - 2 m rad
stabilitas	5 %/jam
panjang koherensi	0,1 - 0,3 m
umur ( <i>life time</i> )	10 - 20.000 jam

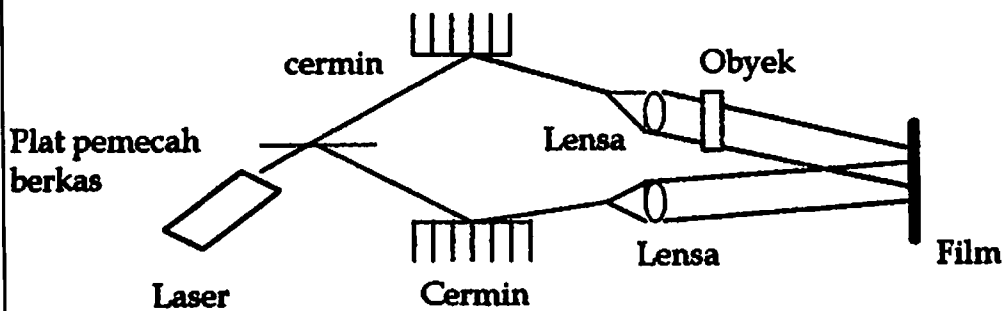
(Encyclopedia Of Physical Science and Technology, 1991)

## 2.2 Prinsip Holografi

Holografi adalah teknik pembuatan citra tiga dimensi dari suatu obyek nyata. Kesan tiga dimensi itu diperoleh karena yang terekam pada hologram tidak hanya intensitas cahaya tapi juga fase gelombang. Teori dasar dari prinsip holografi

adalah perekaman interferensi dari gelombang cahaya yang dipantulkan obyek dengan gelombang acuan. Untuk itu dalam sistem holografi diperlukan cahaya yang monokromatik dan koheren (Laud, 1988).

Sistem holografi terdiri dari dua proses, yaitu proses perekaman dan proses rekonstruksi, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.2 dan Gambar 2.3.



Gambar 2.2. Proses Perekaman hologram

Pada proses perekaman, berkas cahaya laser dibagi menjadi dua, pertama digunakan untuk menyinari obyek dan yang kedua digunakan sebagai berkas acuan. Berkas cahaya yang dipantulkan obyek disebut berkas obyek, yang dapat dinyatakan dalam fungsi gelombang :

$$U_o = A_o \exp(j \varphi_o) \quad (2.1)$$

Dan berkas yang kedua digunakan sebagai berkas acuan, yang dapat dinyatakan dalam fungsi gelombang :

$$U_r = A_r \exp(j \varphi_r) \quad (2.2)$$

dengan  $A_o$  dan  $A_r$  masing-masing adalah amplitudo gelombang obyek dan gelombang acuan, sedangkan  $\varphi_o$  dan  $\varphi_r$  adalah fase gelombang obyek dan fase

gelombang acuan. Pada proses perekaman, berkas obyek dan berkas referensi akan terekam pada bidang film, dinyatakan dalam fungsi gelombang :

$$U_f = U_r + U_o \quad (2.3)$$

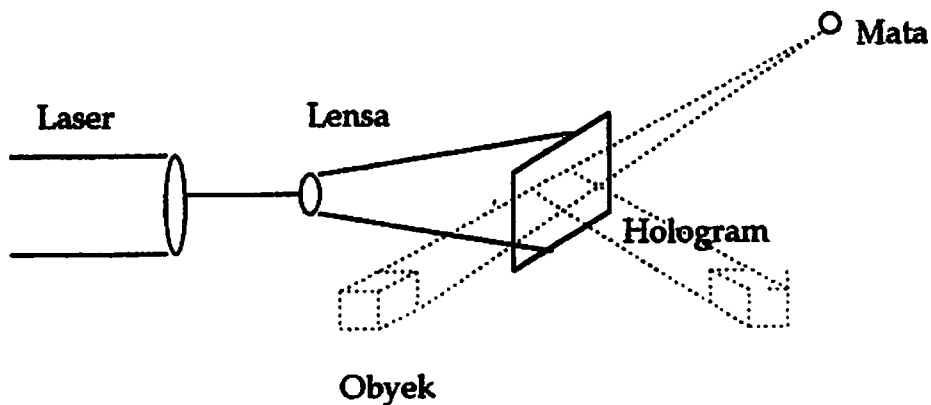
sehingga besar intensitas yang terekam oleh film tersebut adalah :

$$I = U_f U_f^* = |U_f|^2 = (U_r + U_o)(U_r^* + U_o^*)$$

$$\text{atau } I = |U_r|^2 + |U_o|^2 + U_o U_r^* + U_r U_o^* \quad (2.4)$$

Tanda (\*) menyatakan konjugat kompleks.

Pada proses rekonstruksi, film yang telah diproses (hologram) disinari dengan berkas acuan  $U_r$ , seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut,



Gambar 2.3. Proses rekonstruksi sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} U, I &= U_r (|U_r|^2 + |U_o|^2 + U_o U_r^* + U_r U_o^*) \\ &= |U_r|^2 U_r + |U_o|^2 U_r + |U_r|^2 U_o + [U_r]^2 U_o^* \end{aligned} \quad (2.5)$$

Dengan memperhatikan ruas kanan persamaan (2.5) suku pertama menunjukkan gelombang yang merambat searah dengan gelombang acuan, tetapi

mempunyai amplitudo gelombang yang telah dimodifikasi dengan  $|U_r|^2$ , dan karena berkas acuan yang dipilih mempunyai amplitudo yang merata, maka modifikasi  $|U_r|^2$  tidak menghasilkan informasi yang baru. Pada suku kedua terdapat modifikasi  $|U_0|^2$ , yaitu faktor yang menyatakan intensitas dari berkas obyek pada bidang film. Dengan demikian suku ini juga tidak menghasilkan informasi tiga dimensi seperti yang diharapkan. Namun pada suku ketiga terdapat fungsi gelombang  $U_0$ , yang amplitudonya telah berubah sebanyak  $|U_r|^2$  (yang tidak lain adalah sebuah skalar yang konstan), sehingga di belakang hologram diperoleh gelombang yang mempunyai amplitudo dan fase yang sesuai dengan gelombang yang berasal dari obyek pada saat direkam. Jika mata ditempatkan di belakang hologram, mata akan menyaksikan seolah-olah obyek masih hadir secara lengkap pada tempatnya. Inilah informasi tiga dimensi yang diharapkan. Suku keempat mengandung konjugat gelombang obyek  $U_0^*$ , yang dengan adanya  $|U_r|^2$  mempunyai fase yang berbeda baik dengan berkas obyek maupun dengan berkas acuan. Suku keempat ini akan menghasilkan citra nyata, dan dapat ditangkap oleh layar.

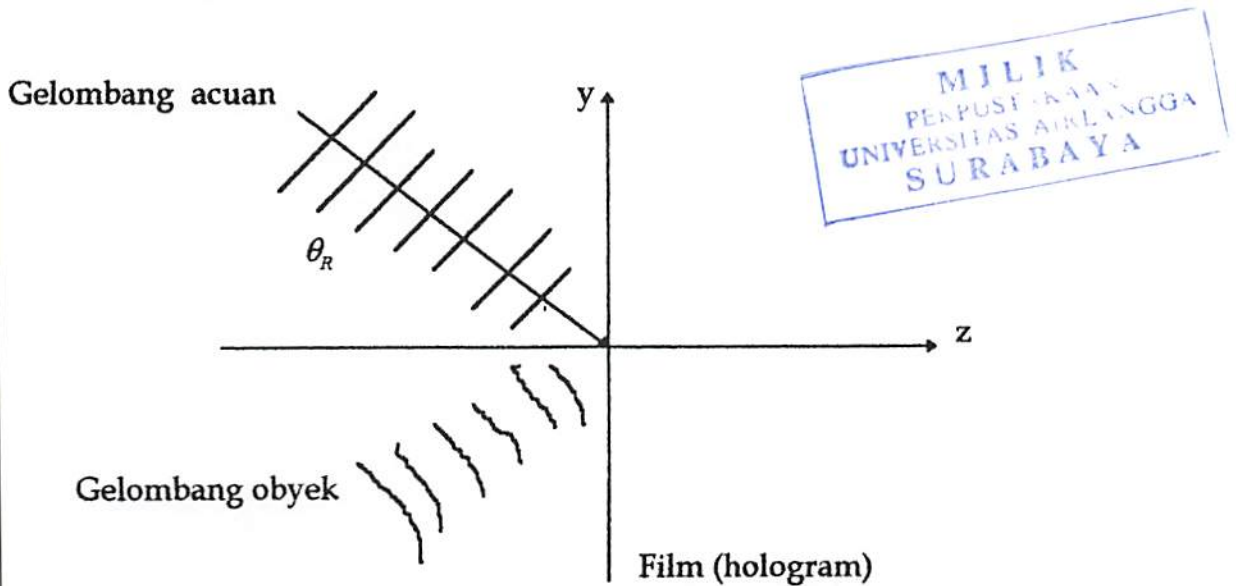
Berhasil tidaknya perolehan informasi dari sistem holografi ditentukan oleh kualitas citra obyek yang dihasilkan oleh hologram. Informasi akan sulit diperoleh dari citra obyek yang berkualitas jelek.

Banyak cara perekaman hologram dikemukakan, tetapi di sini hanya dibahas teori perekaman hologram Fresnel lepas sumbu (*off-axis*) dengan anggapan-anggapan sebagai berikut :



1. Gelombang obyek dan gelombang acuan merupakan gelombang datar.
2. Proses perekaman terjadi di daerah tanggap linear media perekam.

Ilustrasi dari pembuatan hologram lepas sumbu dengan menggunakan gelombang acuan gelombang datar dilukiskan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Proses perekaman hologram lepas sumbu (Vest, 1979)

Gelombang obyek dan gelombang acuan yang mengenai bidang film (di  $z = 0$ ), masing-masing adalah :

$$\text{Gelombang obyek : } U_o(x,y) = a_o(x,y) \exp[-i\phi_o(x,y)] \quad (2.6)$$

$$\text{Gelombang acuan : } U_R(x,y) = a_R \exp(i2\pi f_y y) \quad (2.7)$$

dengan  $f_y = \frac{\sin \theta_R}{\lambda}$  adalah frekuensi ruang gelombang acuan.

Intensitas gelombang obyek dan gelombang acuan pada plat film adalah :

$$I(x,y) = |U_0|^2 + a_R^2 + a_R U_0 \exp(-i2\pi f_y y) + a_R U_0^* \exp(i2\pi f_y y) \quad (2.8)$$

Menurut Vest (1979) hologram setelah diproses, mempunyai amplitudo transmitansi sebesar :

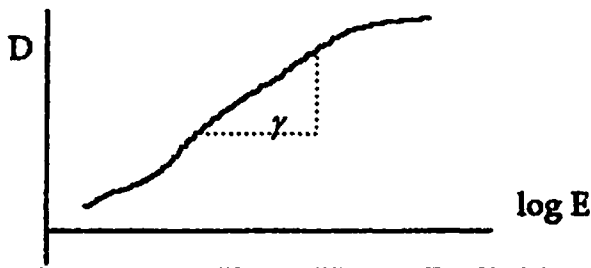
$$t(x,y) = t_0 + \beta (E - E_0) \quad (2.9)$$

Amplitudo transmitansi adalah perbandingan intensitas cahaya sesudah melewati hologram dengan intensitas cahaya sebelum melewati hologram. Persamaan (2.9) menunjukkan bahwa amplitudo transmitansi merupakan fungsi penyinaran  $E = I\tau$ , yaitu rapat energi cahaya yang datang pada plat film per satuan luas. Di sini  $I$  adalah intensitas penyinaran total, yang merupakan penjumlahan intensitas gelombang obyek dan gelombang acuan,  $\tau$ , adalah waktu penyinaran. Dengan demikian,  $E_0 = I_R \tau$ , dengan  $I_R$  adalah intensitas gelombang acuan.

Karakteristik transmisi film fotografi ditunjukkan dengan kurva sensitometrik *Hurter-Driffield* (Gambar 2.5), yang merupakan kurva kerapatan optik  $D$  terhadap  $\log E$ , dengan kerapatan optik dirumuskan :

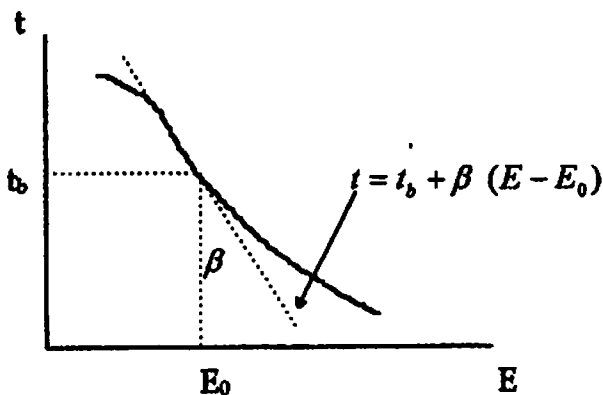
$$D = \log \left( \frac{1}{|t|^2} \right)$$

dengan  $|t|^2$  adalah intensitas transmitansi.



Gambar 2.5. Kurva Hurter-Driffield  
(Vest, 1979)

Karakteristik transmisi film ditunjukkan dengan kemiringan  $\gamma$ , yang ditentukan dari bagian linear kurva. Dalam holografi, amplitudo transmisi  $t$  lebih penting dari kerapatan optik, sehingga data sensitometrik diperagakan sebagai kurva amplitudo transmisi terhadap penyinaran ( $E$ ), seperti diilustrasikan pada Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6. Kurva amplitudo transmisi  $t$  terhadap penyinaran  $E$   
(Vest, 1979)

Sulihan persamaan (2.8) ke persamaan (2.9) menghasilkan :

$$t(x,y) = t_b + \beta \left[ |U_0|^2 + a_R U_0 \exp(-i2\pi f_y y) + a_R U_0^* \exp(i2\pi f_y y) \right] \quad (2.10)$$

Sulihan persamaan (2.6) ke persamaan (2.10), didapatkan :

$$t(x,y) = t_b + \beta a_o^2(x,y) + 2\beta a_R a_o \cos[2\pi f_y y + \phi_o(x,y)] \quad (2.11)$$

Persamaan (2.11) menunjukkan bahwa hologram berisi satu set pembawa rumbai interferensi dengan frekuensi ruang  $f_y$  yang termodulasi dalam amplitudo  $a_o$  dan fase  $\phi_o(x,y)$ . Misal untuk sudut offset ( $\theta_R$ )  $\approx 30^\circ$  dan digunakan cahaya laser dengan panjang gelombang  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ , maka frekuensi pembawa adalah

$$f_y = \frac{\sin \theta_R}{\lambda} = \frac{\sin 30^\circ}{632,8 \times 10^{-6}} = 790 / \text{mm}$$

Hal ini berarti bahwa supaya hologram dapat merekam dengan baik harus digunakan media perekam dengan daya resolusi minimal 790 garis per milimeter.

Dalam holografi lepas sumbu, penyinaran bersifat periodik artinya

$$E = E_R + E_o \cos(2\pi f_y y) \quad (2.12)$$

dengan  $E_R = I_R \tau_e$  adalah energi gelombang acuan, dan  $E_o = I_o \tau_e$  adalah energi gelombang obyek. Di sini  $I_R$  dan  $I_o$  masing-masing adalah intensitas gelombang acuan dan gelombang obyek, sedangkan  $\tau_e$  adalah waktu penyinaran. Besarnya modulasi didefinisikan sebagai

$$m = \frac{E_o}{E_R} = \frac{I_o \tau_e}{I_R \tau_e} = \frac{I_o}{I_R} \quad (2.13)$$

Untuk kepentingan interferometri holografi disarankan  $I_o : I_R = 1 : 1$ , sebab yang dipentingkan adalah kejelasan rumbai.

Untuk merekonstruksi, hologram disinari dengan gelombang bidang yang merambat searah dengan gelombang acuan. Amplitudo kompleks gelombang rekonstruksi pada bidang hologram dirumuskan sebagai :

$$U_c(x,y) = a_c \exp(i2\pi f_y y) \quad (2.14)$$

Persamaan gelombang yang ditransmisikan oleh hologram

$$U_t(x,y) = t(x,y) \cdot U_c(x,y)$$

$$U_t = \left( t_b + \beta |U_o|^2 \right) a_c \exp(i2\pi f_y y) + \beta a_c a_R U_o + \beta a_c a_R U_o^* \exp(i4\pi f_y y) \quad (2.15)$$

Menurut Vest (1979), Gathak dan Thyagarajan (1981), dari persamaan (2.15) dapat disimpulkan :

- Suku pertama menyatakan bagian gelombang rekonstruksi yang ditransmisikan oleh hologram.
- Suku kedua menyatakan gelombang yang didifraksikan yang merupakan tiruan gelombang obyek. Bayangan obyek akan terbentuk yang menyerupai obyek aslinya.
- Suku ketiga merupakan konjugat dari gelombang obyek yang merambat dengan sudut  $\sin^{-1}(2f_y \lambda)$  terhadap sumbu z. Gelombang ini umumnya memproduksi bayangan nyata yang dapat ditangkap oleh layar.

Perbandingan antara intensitas gelombang terekonstruksi dengan intensitas gelombang rekonstruksi disebut efisiensi difraksi, yaitu

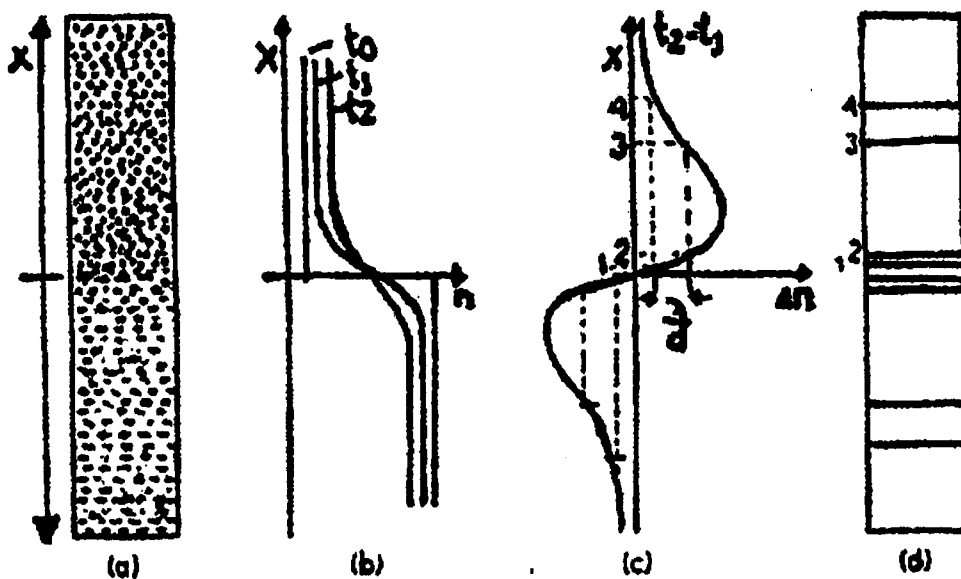
$$\eta_{diff} = \frac{I_{terekonstruksi}}{I_{rekonstruksi}} \quad (2.16)$$

Film fotografi yang baik ialah yang mempunyai efisiensi difraksi tinggi. Harga penyinaran (E) pada  $\eta$  maksimum disebut sensitivitas emulsi film, yang mempunyai satuan  $\mu\text{J}/\text{cm}^2$  (Tabel 3.1). Dengan demikian waktu penyinaran nominal dapat ditentukan, dengan rumus :

$$\tau_{\text{nominal}} = \frac{\text{Sensitivitas}}{I_{\text{penyinaran}}} \quad (2.17)$$

### 2.3. Analisis Koefisien Difusi Larutan

Gambar 2.7 berikut menunjukkan gambaran ringkas eksperimen penentuan koefisien difusi larutan. Sel diisi dengan larutan yang akan dicari koefisien difusinya (Gambar 2.7.a),  $x$  menunjukkan arah difusi.



Gambar 2.7. Gambaran ringkas eksperimen

- (a) Sel diisi dengan larutan sepanjang arah  $x$ , (b) profil indeks bias pada saat  $t_2 > t_1 > t_0$ , (c) perubahan indeks bias  $\Delta n$  saat  $t_2$  dan  $t_1$   
(d) Rumbai yang muncul pada hologram  
(Gray dan Fenichel, 1979)

Interferometer holografi membandingkan sinar laser yang melewati sel pada saat  $t_1$  dan  $t_2$ . Gradien konsentrasi berubah sebagai fungsi waktu selama proses difusi. Untuk interval-interval kecil konsentrasi indeks bias larutan cair encer bervariasi

secara linear dengan konsentrasi larutan, hal ini mengizinkan penterjemahan secara langsung perubahan lintasan optik ke dalam perubahan konsentrasi (Gray dan Fenichel, 1979 ; Alberty dan Daniels, 1984; Bochner dan Pipman, 1976; Weast, 1972). Kemudian, interferogram holografi yang merekam perubahan indeks bias dapat digunakan untuk menentukan perubahan dalam profil konsentrasi. Indeks bias mengikuti profil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.b. Perubahan indeks bias dalam sel pada tiga beda waktu, ditunjukkan pada Gambar 2.7.b. Pengurangan kurva  $t_1$  dari kurva  $t_2$  memberikan perubahan indeks bias ( $\Delta n$ ), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7.c. Informasi inilah yang sebenarnya terekam pada hologram. Ketika interferogram direkonstruksi, interferensi rumbai muncul pada bayangan sel seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7.d.

Rumbai tersebut muncul ketika dipenuhi syarat :

$$\Delta n = \frac{(2k+1)\lambda}{2d} \quad (2.18)$$

dengan  $d$  = tebal sel,  $\lambda$  = panjang gelombang, dan  $k$  = bilangan bulat. Lokasi interferensi rumbai ditentukan oleh perubahan indeks bias yang terjadi dan oleh kecepatan difusi.

Dari hukum Fick II tentang difusi, diasumsikan difusi larutan encer dengan konsentrasi  $C(x,t)$  memenuhi :

$$\frac{\partial C(x,t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C(x,t)}{\partial x^2} \quad (2.19)$$

dengan  $D$  adalah koefisien difusi. Cairan mula-mula dipisahkan pada waktu  $t_0$ . Menurut Crank (1970), dalam 1-D penyelesaian persamaan (2.19) adalah fungsi ralat (*error function*) yang berbentuk:

$$C(x,t) = \frac{C_1 + C_2}{2} + \frac{(C_1 - C_2)\pi}{2\sqrt{2}} \int_0^y \exp(-z^2) dz \quad (2.20)$$

dengan  $y = \frac{x}{2(Dt)^{1/2}}$  (2.21)

$C_1$  dan  $C_2$  adalah konsentrasi mula-mula dua larutan, dan  $D$  diandaikan tetap.

Jika indeks bias berubah secara linear dengan konsentrasi,  $n$  sebagai fungsi  $x$  (seperti pada Gambar 2.7.b), untuk waktu yang berbeda-beda akan mempunyai formulasi yang sama dengan persamaan (2.20). Perubahan indeks bias  $\Delta n$  sebagai fungsi  $x$  untuk interval waktu  $\Delta t$  diperoleh dengan pengurangan dua kurva, sehingga hasilnya adalah:

$$\Delta n(x, \Delta t) = n(x, t_2) - n(x, t_1) \quad (2.22)$$

fungsi seperti ditampilkan pada Gambar 2.7.c. Interferensi rumbai gelap akan terjadi ketika syarat persamaan (2.66) dipenuhi. Gambar 2.7.c menyajikan lokasi rumbai dua orde nol dan dua orde satu pada masing-masing sisi permukaan pada  $x = 0$ . Dari Gambar 2.7.c dapat dilihat bahwa rumbai orde 0 adalah 1 dan 4 dan rumbai orde satu adalah 2 dan 3.

Perubahan indeks bias secara matematis dituliskan :

$$\Delta n(x, \Delta t) = \frac{\partial n(x,t)}{\partial x} dx + \frac{\partial n(x,t)}{\partial t} dt \quad (2.23)$$



Untuk posisi tertentu, misalnya posisi rumbai orde ke- $m$  pada  $x_1$ , maka :

$$\Delta n(x_1, \Delta t) = \frac{\partial n(x_1, t)}{\partial t} \Delta t = \frac{(2m+1)\lambda}{2d} \quad (2.24)$$

dengan  $\Delta t$  adalah waktu penyinaran hologram.

Untuk rumbai kedua orde  $p$ , dilokasikan pada  $x_2$  pada hologram yang sama, maka:

$$\Delta n(x_2, \Delta t) = \frac{\partial n(x_2, t)}{\partial t} \Delta t = \frac{(2p+1)\lambda}{2d} \quad (2.25)$$

Gabungan persamaan (2.24) dan (2.25) memberikan :

$$(2m+1) \frac{\partial n(x_2, t)}{\partial t} = (2p+1) \frac{\partial n(x_1, t)}{\partial t} \quad (2.26)$$

Dari persamaan (2.20) dan ketergantungan linear  $n(x,t)$  pada  $C(x,t)$  diperoleh :

$$\frac{\partial n(x, t)}{\partial t} = -\frac{Kx \exp(-y^2)}{4(DT^3)^{1/2}} \quad (2.27)$$

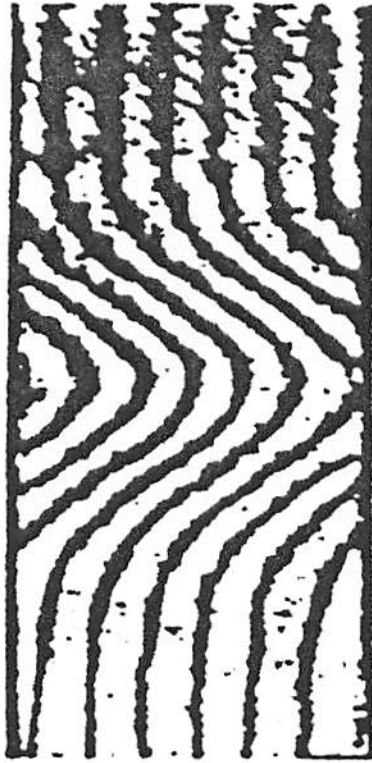
dengan  $K$  adalah konstanta proporsional.

Sulihan persamaan (2.27) ke persamaan (2.26) dan penyelesaian untuk  $D$  (koefisien difusi) menurut Gray dan Fenichel (1979) diperoleh:

$$D = \frac{(x_1^2 - x_2^2)}{4t} \left[ \ln \left\{ \frac{(2p+1)x_1}{(2m+1)x_2} \right\} \right]^{-1} \quad (2.28)$$

Persamaan (2.28) di atas hanya tergantung pada lokasi rumbai ( $x_1$  dan  $x_2$ ) dan waktu yang dilewati sejak dimulainya proses difusi ( $t$ ).

Bescey dkk (1971) telah meneliti proses difusi untuk larutan KCl 0,005 M kedalam air. Gambar rumbai yang terbentuk setelah proses difusi berlangsung selama 10,3 menit dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.8. Rumbai yang terbentuk dari difusi larutan KCl 0,005 M ke dalam air setelah 10,3 menit proses difusi (Becsey dkk, 1971)

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Bahan-bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

##### 1. Bahan Pemroses

Bahan pemroses pada holografi dapat dikatakan hampir sama dengan bahan pemroses bagi fotografi pada umumnya.

- a. Larutan Pengembang (*developer*). Larutan pengembang dapat dibuat dengan bahan 25 gram Kalium Bromida, air murni 1 liter dan 10 ml Asam Sulfat. Pada penelitian ini digunakan larutan pengembang yang ada di pasaran, yang dikenal dengan nama Minigrain.
- b. Larutan Penetap (*fixer*). Larutan penetap dapat dibuat dengan bahan 30 gram Kalium Bromida, 30 gram Ferri Sulfat dan 1 liter air. Pada penelitian ini dipergunakan larutan penetap yang telah ada di pasaran yang dikenal dengan nama Acifix.

##### 2. Media Perekam

Media perekam yang umum digunakan adalah film dengan emulsi fotografi perak halida, karena di samping mudah diamati juga mempunyai kepekaan (*sensitivitas*) yang relatif tinggi (Pressley, 1971; Butter, 1971). Bahan emulsi dilapiskan pada substrat transparan berupa plat kaca atau film asetat seperti terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Media Perekam

Substrat yang digunakan umumnya berupa plat kaca, karena mempunyai kelebihan yaitu ukurannya stabil dan permukaannya lebih rata (Vest, 1979).

Bila dua berkas sinar menghasilkan corak interferensi pada plat fotografi dan kemudian plat dicuci, serapan (*absorpsi*) oleh hologram terjadi. Selama proses pengembangan, butir-butir perak halida di singkap. Butir-butir perak halida yang cocok untuk emulsi holografi mempunyai diameter kurang dari  $0,1 \mu m$ . Disamping menyerap cahaya butir-butir perak halida juga menghamburkan cahaya. Proses pemutihan dilakukan setelah proses pengembangan, menjadikan perak halida ke dalam komponen transparan. Jika hologram menjadi lebih pucat berarti waktu paparan kurang, dan sebaliknya jika hologram menjadi gelap berarti waktu paparan terlalu besar.

Tanggap emulsi plat film berkaitan dengan banyaknya tenaga yang sesuai bagi plat film tersebut agar diperoleh hasil citra yang optimum. Biasanya dinyatakan dengan sensitivitas nominal dalam satuan tenaga per satuan luas.

Frekuensi ruang (*spatial frequency*) yang dapat digunakan dalam perekaman dengan emulsi fotografi sering disebut daya pisah. Secara praktis dikenal dengan nama resolusi film. Adapun karakteristik emulsi holografi dapat dilihat pada Tabel 3.1.



**Tabel 3.1. Karakteristik-karakteristik nominal emulsi-emulsi holografi**  
(Vest, 1979)

<b>Tipe</b>	<b>Tebal (<math>\mu m</math>)</b>	<b>Resolusi (garis/mm)</b>	<b>Sensitivitas Nominal (<math>\mu J / cm^2</math>)</b>	<b>Panjang Gelombang (nm)</b>
<b>Emulsi Kodak</b>				
649F	17	2000	70	632,8
120-02	6	2000	30	632,8
125	3	1250	2	441,6
			5	514,5
131	9	1250	0,5-0,8	632,8
<b>Emulsi Agva</b>				
<b>Gevaert</b>				
8E75	7	5000	10	632,8
10E75	7	2800	2	632,8
			1,8	514,5
8E56	7	5000	15	476
			25	521
10E56	7	2800	1,4	476
			1,9	521
14C70		1500	0,3	700
14C75		1500	0,3	700
<b>Emulsi Illingford</b>				
He-Ne 1		-	5	632,8
<b>Emulsi USSR</b>				
ФПГВ	-	2800	1-2	632,8
Mikrat-900	-	2800	5-10	632,8
SO-243	-	500	0,2	632,8
BPII	-	2800	5-10	632,8

Pada penelitian ini digunakan film, yaitu : KODAK 649F1A0 dengan ukuran 4X5X0,040 inc.

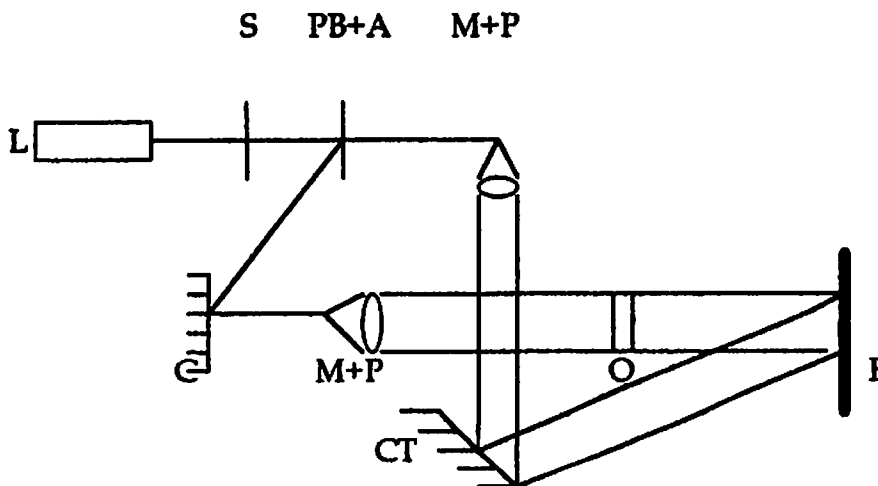
3. Larutan. Larutan yang digunakan, dalam penelitian ini, yaitu :

- Larutan KCl 1 M (mol/l) yang dibuat dengan cara melarutkan 3,725 gram KCl ke dalam 50 ml aquabides.

### 3.2 Alat-alat Penelitian

Proses perekaman penelitian ini (menggunakan cara pasang peralatan seperti yang tersusun pada Gambar 3.2) , dilakukan di Laboratorium Perpindahan Panas PAU Ilmu Teknik UGM dengan sampel penelitian larutan KCl 1 M., menggunakan plat film dengan emulsi KODAK 649 FC1A0. Proses rekonstruksi dilaksanakan di Laboratorium Fisika Optik F.MIPA Unair.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian disusun sebagai berikut :



Gambar 3.2. Cara pasang peralatan

**Keterangan :**

- L** : Sumber cahaya berupa laser He-Ne jenis TEM<sub>00</sub> dengan karakteristik sebagai berikut : panjang gelombang 6328 Å, daya keluaran maksimum 35 mW, panjang sederap 20 cm, stabilitas 5 %/jam. Laser ini buatan NEC Co., Jepang.
- S** : Penutup (*Shutter*), untuk mengatur lama waktu penyinaran yang dihubungkan dengan sistem kontrol holografi elektrik tipe HC-500 dan kontrol penutup (*shuter*) digital model 845, semuanya buatan Newport Co., USA.
- PB + A** : Pemecah berkas cahaya yang sekaligus berfungsi sebagai atenuator. Berkas yang diteruskan dibelokkan oleh cermin pemantul total CT ke arah plat film, disebut sebagai berkas acuan. Berkas yang dibelokkan oleh cermin C dilewatkan pada obyek menuju ke arah plat film, disebut sebagai berkas obyek.
- M + P** : Mikroskop obyektif yang sekaligus digabung dengan lubang jarum (*pinhole*). Mikroskop obyektif digunakan untuk membesarkan berkas cahaya dan membuat gelombang obyek dan gelombang acuan sebagai gelombang bidang. Sedangkan lubang jarum (*pinhole*) berfungsi untuk menghomogenkan berkas cahaya yang keluar dari mikroskop obyektif.
- C** : Cermin, berfungsi memantulkan berkas cahaya yang berupa titik.
- CT** : Cermin Pemantul Total, berfungsi memantulkan berkas cahaya yang berupa gelombang bidang.

- O** : Obyek, berupa sel yang akan dicari koefisien difusi larutannya.
- F** : Plat film, digunakan untuk merekam cahaya gelombang obyek dan gelombang acuan. Plat film yang digunakan buatan KODAK dengan tipe 649FC 1A0. Karakteristik-karakteristik nominal emulsinya dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Semua peralatan tersebut diletakkan di atas meja tahan getar yang disangga dengan tabung yang berisi udara tipe NRC XL-A buatan Newport Co., USA.

**Komponen penunjang penelitian:**

- Klem magnet
- Dudukan laser
- Tempat untuk menempatkan film
- Stop Watch merk Hanhart Sprint
- Kamera merk NIKON tipe FM<sub>2</sub>
- Bak plastik dan kain hitam
- Layar untuk melihat hasil rekonstruksi
- Komputer PC untuk analisis data

**3.3 Jalannya Penelitian**

1. Untuk mengukur panjang sederap dilakukan percobaan Interferometer Michelson. Menurut Khanafiyah (1997), panjang sederap dari sumber yang tersedia adalah 20 cm.



2. Percobaan interferometri holografi dilakukan di dalam ruang gelap untuk menghindari rusaknya film, terutama pada saat perekaman dan pencucian film.

### 3 Persiapan Alat

Peralatan dibersihkan, kemudian disusun seperti pada Gambar 3.2 Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- a. Berkas cahaya harus sejajar dengan bidang meja
- b. Lubang cahaya pada penutup (*shutter*) diusahakan sekecil mungkin, hal ini dimaksudkan untuk mempertahankan sifat kesederapan ruang.
- c. Jarak lintasan  $PB+A - CT - F = PB+A - C - F$  (Gambar 3.2).

### 4. Pemotongan film

Jenis film tipe KODAK 649 FC tidak sesuai dengan tempat penempatan plat film untuk perekaman, maka plat film jenis ini harus dipotong menjadi dua.

### 5. Persiapan bahan-bahan pemroses, yang meliputi :

- a. Larutan yang akan digunakan, yaitu : KCl 1 M.
- b. Pembuatan larutan pengembang (*developer*) Minigrain dengan cara melarutkan isi bungkus yang kecil dahulu ke dalam 1 liter air, kemudian baru dilarutkan isi bungkus yang besar.
- c. Pembuatan larutan penetap (*fixer*) Acifid dengan cara melarutkan Acifid ke dalam 1 liter air.

### 6. Perekaman

- a. Menentukan waktu penyinaran (*exposure time*)

Lamanya waktu perekaman tergantung pada sensitivitas film dan intensitas total dari berkas obyek dan berkas acuan yang diterima oleh film. Besarnya intensitas dapat langsung diukur dengan meter daya (*power meter*), sedangkan sensitivitas dapat dilihat pada Tabel 3.1.

$$\text{waktu penyinaran nominal} = \frac{\text{Sensitivitas}}{\text{Intensitas total}}$$

Dengan menggunakan plat film KODAK 649 FC, maka waktu penyinarannya adalah 6 detik.

#### b. Langkah-langkah perekaman

Ruangan digelapkan, perekaman pertama dilakukan tanpa obyek sedangkan perekaman kedua dilakukan dengan obyek. Menurut Butters (1971), Vest (1979), Gray dan Fenichel (1979), Hariyanto dkk (1993) serta Wahyanti (1995), metode ini disebut metode penyinaran ganda (*double exposure*)

### 7. Pemrosesan hologram

Setelah dilakukan perekaman, plat film holografi diproses lebih lanjut yang meliputi :

- a. Film dimasukkan ke dalam larutan pengembang Minigrain selama lima menit dan ruangan harus benar-benar dalam keadaan gelap.
- b. Dimasukkan ke dalam air bersih dan digoyang-goyang selama dua menit untuk tujuan penetralan.
- c. Dimasukkan ke dalam larutan penetap Acifix selama lima menit
- d. Dicuci dengan air mengalir selama sepuluh menit

- e. Untuk mempercepat proses pengeringan hologram, digunakan kipas angin atau alat pengering (*hairdryer*).

## 8. Rekonstruksi

Pada saat rekonstruksi, hologram disinari dengan berkas cahaya yang searah dengan berkas acuan. Berkas tersebut akan dihamburkan oleh hologram dan akan terbentuk bayangan yang merupakan hasil interferensi antara berkas obyek dan berkas acuan. Rekonstruksi untuk perekaman dengan cara pasang peralatan I dan II, semuanya dilakukan di Laboratorium Fisika Optik F.MIPA Unair.

## 9. Pengambilan gambar bayangan hasil rekonstruksi

Bayangan yang dihasilkan hologram ditangkap oleh layar dan difoto dalam ruang gelap dengan menggunakan kamera merk NIKON tipe FM<sub>2</sub> dengan diafragma 1,8 dan waktu penyinaran 5 detik. Film hitam putih yang digunakan merk FUJI ASA 100. Pengambilan foto dilakukan berdasarkan rumbai yang paling jelas. Dari foto inilah, koefisien difusi sistem isothermal larutan biner KCl-H<sub>2</sub>O ditentukan dengan bantuan program simulasi komputer .

### 3.4 Analisis Data

Dari hasil pemotretan diukur lokasi rumbai,  $x_1$  dan  $x_2$ , pada orde ke-nol dan orde ke-satu, dengan menggunakan program simulasi komputer yang telah dibuat. Orde nol muncul jika gelombang obyek dan gelombang acuan berinterferensi

minimum, sehingga menghasilkan daerah gelap. Orde satu muncul jika hasil interferensi gelombangnya maksimum yang akan menghasilkan daerah terang.

Dari pernyataan di atas, dapat disimpulkan bahwa data yang diambil pada penelitian ini adalah :

- a. Data yang berupa foto (gambar), yaitu berupa rumbai yang terbentuk.
- b. Data yang bersifat kuantitatif, yaitu pengukuran  $x_1$ ,  $x_2$ , dan  $t$ . Pengukuran  $x_1$  dan  $x_2$  di dapat dari rumbai yang terbentuk dari hasil pemotretan dan  $t$  adalah waktu berlangsungnya proses difusi yang diukur dengan stopwatch pada saat proses perekaman.

Besar koefisien difusi larutan dapat dihitung dengan memasukkan data kerapatan antar rumbai pada  $x_1$  dan  $x_2$ , juga selang waktu pengambilan perekaman dari hologram satu ke hologram berikutnya ( $t$ ) ke persamaan (2.28), yaitu :

$$D = \frac{(x_2^2 - x_1^2)}{4t} \left[ \ln \left\{ \frac{(2p+1)x_1}{(2m+1)x_2} \right\} \right]^{-1}$$

Karena adanya keterbatasan ketelitian pada alat ukur dan adanya gejala acak dalam pengukuran maka tidak dapat diukur harga sejati (real) dari besaran yang diukur. Yang dapat dilakukan hanya mencari *harga terbaik* (harga rerata) dan ketidakpastiannya, Difusi larutan KCl 1 M ke dalam air direkam enam kali, yaitu saat sebelum terjadi proses difusi, saat proses difusi berlangsung 2,53 menit, 7,50 menit, 14,34 menit, 19,05 menit, dan 24,15 menit. Peubah (*variabel*)  $x_1$  dan  $x_2$  diukur enam kali untuk masing-masing gambar, sedangkan peubah  $t$  diukur satu kali pada

saat eksperimen. Data yang telah didapat, menurut Bevington (1969), dapat dianalisis dengan rumus-rumus sebagai berikut :

a. Pengukuran satu peubah (*variabel*) :

$$L = \bar{L} \pm S_i \text{ dengan } S_i = \sqrt{\frac{\sum(L_i - \bar{L})^2}{n(n-1)}} \quad (3.1)$$

$$\text{Kesalahan relatifnya : } \left( \frac{S_i}{\bar{L}} \times 100\% \right) \quad (3.2)$$

$$\text{Kesaksamaan sistem : } 100\% - \left( \frac{S_i}{\bar{L}} \times 100\% \right) \quad (3.3)$$

Kecermatan atau kesaksamaan sistem dapat dianggap sebagai jaminan akan kebenaran hasil pengukuran.

Pengukuran jenis ini digunakan untuk menghitung  $x_1$ ,  $x_2$ , dan  $t$ .

b. Koefisien difusi larutan merupakan besaran fisis yang tidak diukur langsung, tetapi dihitung dari unsur-unsurnya ( $x_1$ ,  $x_2$ , dan  $t$ ). Ralat yang timbul merupakan sumbangan dari ralat masing-masing parameter yang diukur langsung, biasa disebut dengan ralat perhitungan atau ralat rambatan. Ralat rambatan koefisien difusi larutan dihitung dengan rumus :

$$S_D^2 = \left( \frac{\partial D}{\partial x_1} S_{\bar{x}_1} \right)^2 + \left( \frac{\partial D}{\partial x_2} S_{\bar{x}_2} \right)^2 + \left( \frac{\partial D}{\partial t} S_t \right)^2 \quad (3.4)$$

Dari perhitungan (lampiran 2) diperoleh ralat rambatan koefisien difusi larutan adalah :

$$S_D^2 = \left\{ \frac{1}{4t} \left[ \frac{2x_1^2 \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right) - (x_1^2 - x_2^2)}{x_1 \left[ \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right) \right]^2} \right] \right\}^2 (S_{x_1})^2 + \left\{ \frac{1}{4t} \left[ \frac{(x_1^2 - x_2^2) - 2x_2^2 \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right)}{x_2 \left[ \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right) \right]} \right] \right\}^2 (S_{x_2})^2 + \left\{ \frac{(x_2^2 - x_1^2)}{4t^2 \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right)} \right\}^2 (S_t)^2 \quad (3.5)$$

sedangkan harga koefisien difusi larutannya merupakan harga rerata dari beberapa pengukuran.

Hasil koefisien difusi yang didapatkan pada penelitian, dibandingkan dengan harga pada Handbook of Chemistry and Physics (1972), dengan hasil penelitian yang sudah ada dan dipublikasikan dalam jurnal, juga dibandingkan dengan metode pengukuran yang telah dilakukan khususnya di Indonesia.

### 3.5. Kesulitan-kesulitan yang Timbul Selama Penelitian dan Cara Pemecahannya

Dalam pelaksanaan penelitian kesulitan-kesulitan yang dijumpai adalah

#### 1. Mencari plat film holografi

Di Indonesia plat film holografi tidak terdapat di pasaran. Kalaupun ada harganya mahal dan pembeliannya harus dalam partai besar. Cara mendapatkan plat film tersebut dengan mengganti plat film yang telah diperoleh oleh Laboratorium perpindahan Panas PAU Ilmu Teknik UGM.

#### 2. Pemotongan plat film

Pemotongan plat film harus dilakukan di ruang gelap. Hal ini menyulitkan. Agar lebih mudah mengerjakannya menurut Muhardjito (1992) dibuat penggaris

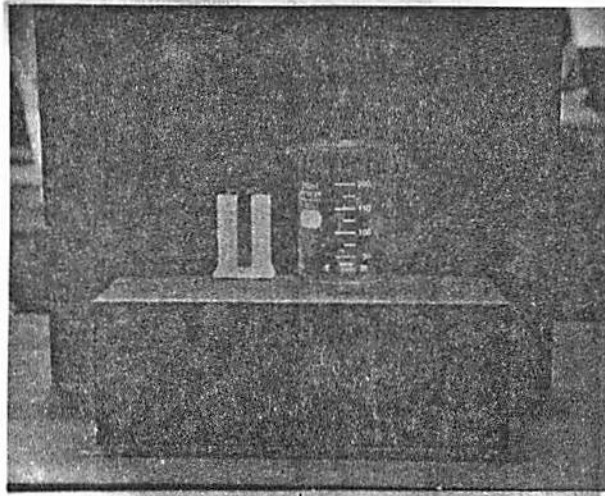
yang sesuai dengan tempat penempatan film yang terbuat dari kayu. Bagian film yang beremulsi menghadap ke bawah, ditempatkan pada meja kayu halus yang diberi alas kain hitam. Pisau pemotong menggunakan pemotong kaca yang ada di pasaran. Pemotongan dilakukan di ruang gelap, dengan cara menggores kaca film yang tidak beremulsi. Dengan cara meraba, bagian yang tergores diletakkan pada tepi meja. Salah satu sisi kaca yang berada di luar sisi meja ditekan dengan penggaris sementara sisi yang lain ditekan dengan tangan. Bagian film yang terlepas ditahan oleh kain yang telah disediakan. Sebelum memulai pemotongan plat film, terlebih dahulu dilakukan latihan pemotongan dengan menggunakan plat-plat film yang telah terbakar dan tidak digunakan lagi.

### **3. Pembuatan Sel Sampel**

Dengan proses difusi diandaikan terjadi pada satu arah maka dibuat sel sampel yang memenuhi keadaan tersebut. Tinggi sel sampel yang dibuat diusahakan berada pada cakupan berkas cahaya yang diterima plat film, dengan diameter berkisar 5,5 cm. Diusahakan pula kaca sel setipis mungkin. Kesulitan yang timbul pada saat pengeleman sel, karena pengeleman harus hati-hati agar tidak timbul noda pada kaca sel sehingga tidak menyulitkan pada saat proses perekaman. Pembuatan sel sampel dilakukan di Bengkel Fisika F. MIPA UGM dengan ukuran sebagai berikut :

panjang :  $(0,950 \pm 0,025)$  cm, lebar :  $(0,950 \pm 0,025)$  cm, dan tinggi :  $(5,400 \pm 0,025)$  cm.

Adapun bentuk sel sampel seperti terlihat pada gambar berikut :



Gambar 3.3. Sel Sampel

#### 4. Pembuatan Cara pasang Peralatan

Peralatan yang ada sudah dihubungkan dengan rangkaian elektrik sehingga relatif lebih mudah. Namun begitu letak kesulitan utama adalah pada pemasangan lubang jarum (*pinhole*) agar tepat pada titik fokus lensa mikroskop obyektif, sehingga didapatkan berkas obyek dan berkas acuan yang benar-benar homogen.

#### 5. Pada Saat Rekonstruksi.

Pengambilan foto rumbai hasil penelitian didasarkan pada keadaan rumbai yang paling jelas, untuk itu pada saat rekonstruksi dilakukan penggeseran posisi kamera, hologram, ataupun layar. Penggeseran itu akan memberikan andil hasil penelitian yang dicapai belum maksimal.



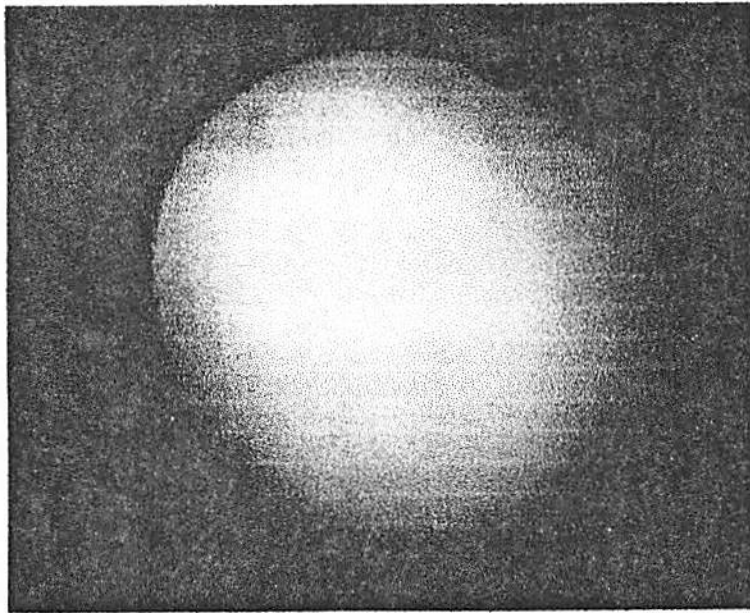
**6. Pada saat proses difusi.**

Proses difusi dan eksperimen yang dilakukan berlangsung pada kondisi gelap, dengan sel sampel yang cukup sederhana. Hal ini cukup menyulitkan pada saat eksperimen di laboratorium. Bagaimanapun juga, kondisi ini cukup memberikan andil hasil yang dicapai pada penelitian ini belum maksimal.

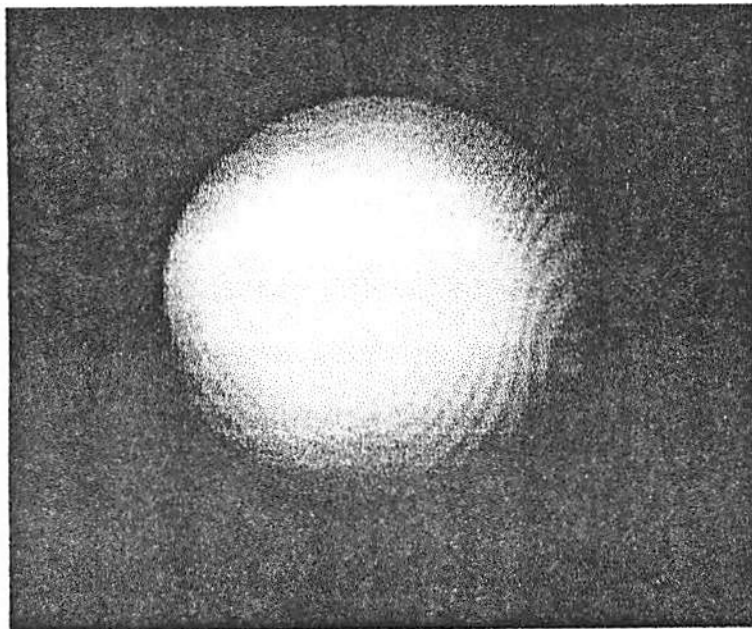
**BAB IV****HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada saat rekonstruksi yaitu saat menyinari hologram dengan berkas acuan, bayangan obyek akan terlihat. Bayangan obyek yang terlihat pada layar pada saat rekonstruksi yang biasa disebut rumbai, di potret dengan kamera Nikon tipe FM<sub>2</sub>. Gambar rumbai yang terbentuk pada saat-saat tertentu proses difusi, dibuat tanpa perbesaran

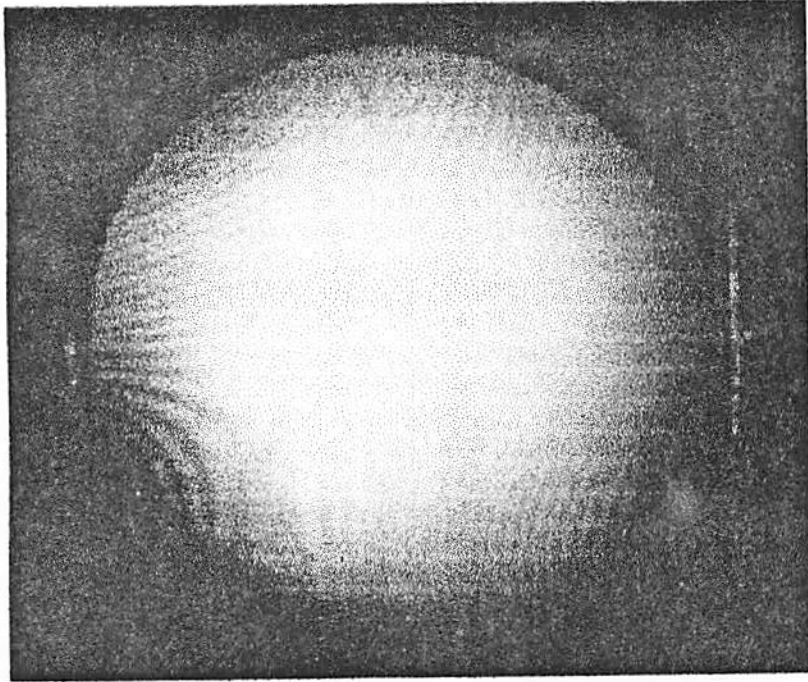
Gambar 4.1 adalah rumbai yang terbentuk sebelum proses difusi larutan KCl 1 M ke dalam air. Sedangkan Gambar 4.2, Gambar 4.3, Gambar 4.4, Gambar 4.5, dan Gambar 4.6 berturut-turut adalah rumbai yang terbentuk pada saat proses difusi berlangsung 2,53 menit, 7,50 menit, 14,34 menit, 19,05 menit, dan 24,15 menit. Gambar 4.5 sampai dengan Gambar 4.10 diambil dengan plat film KODAK 649 FC1A0.



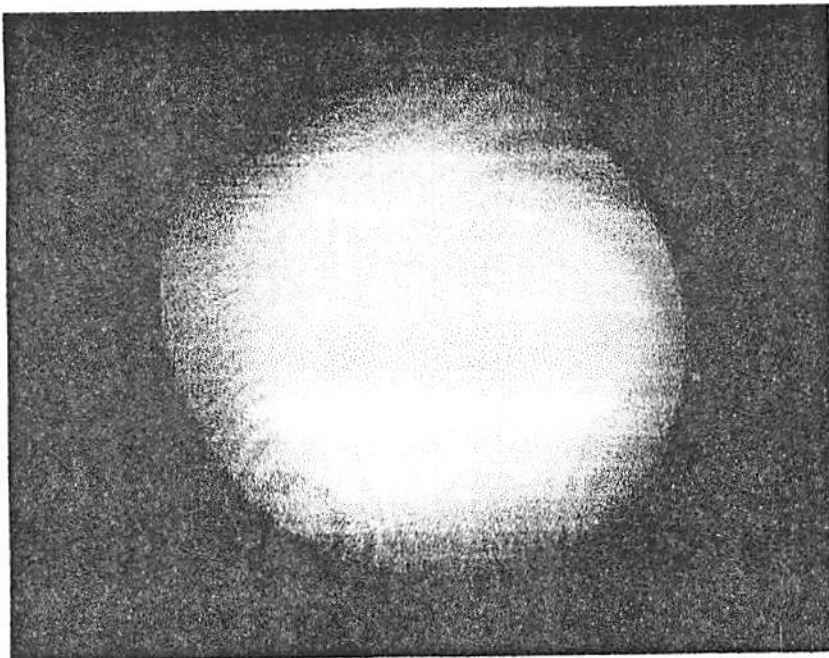
**Gambar 4.1. Rumbai yang terbentuk sebelum proses difusi larutan KCl 1 M ke dalam air**



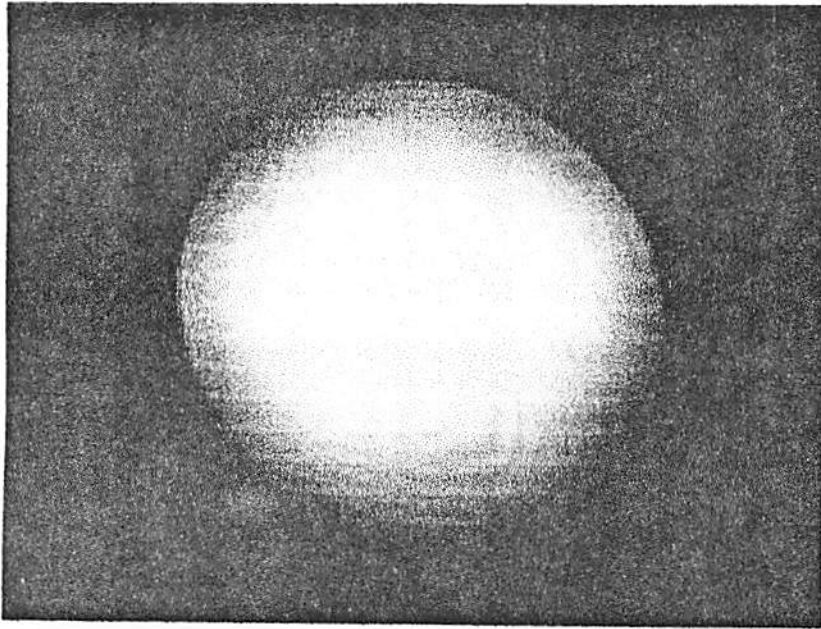
**Gambar 4.2. Rumbai yang terbentuk dari difusi larutan KCl 1 M ke dalam air setelah 2,53 menit proses difusi**



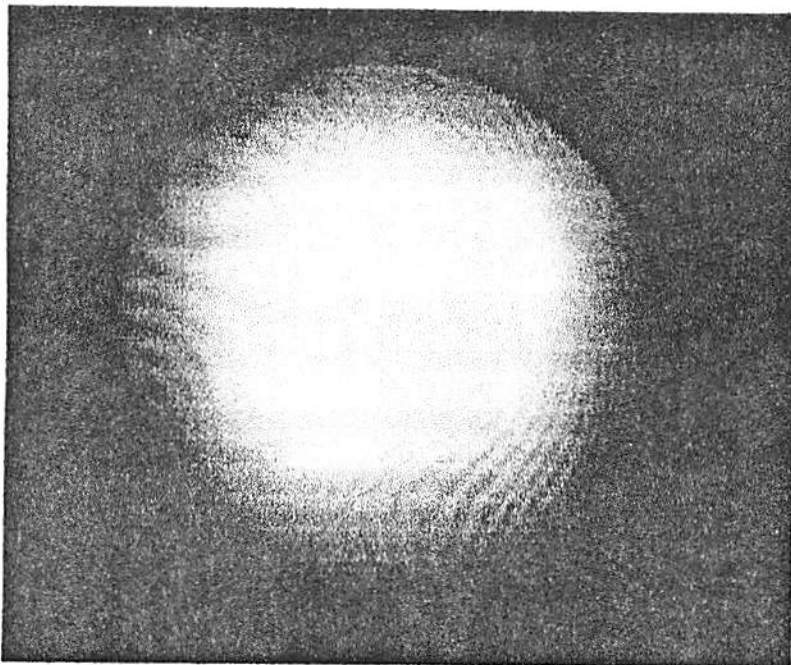
**Gambar 4.3. Rumbai yang terbentuk dari difusi larutan KCl 1M ke dalam air setelah 7,50 menit proses difusi**



**Gambar 4.4. Rumbai yang terbentuk dari difusi larutan KCl 1M ke dalam air setelah 14,34 menit proses difusi**



**Gambar 4.5. Rumbai yang terbentuk dari difusi larutan KCl 1 M ke dalam air setelah 19,05 menit proses difusi**



**Gambar 4.6. Rumbai yang terbentuk dari difusi larutan KCl 1 M ke dalam air setelah 24,15 menit proses difusi**

Data-data yang didapatkan dari hasil pengukuran ( $x_1$ ,  $x_2$  dan  $t$ ), dianalisis dengan rumus-rumus yang ada dengan bantuan program simulasi komputer berbahasa Delphi. Harga koefisien difusi sistem isothermal larutan biner KCl-H<sub>2</sub>O disajikan pada Tabel 1.

Harga koefisien difusi larutan KCl yang dihasilkan oleh peneliti lain (dengan metode dan konsentrasi yang bervariasi, serta harga koefisien difusi dari Handbook), disajikan pada Tabel 4.2., dan harga koefisien difusi larutan biner KCl-H<sub>2</sub>O yang dihasilkan oleh Apsari (1998) disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.1. Hasil analisis koefisien difusi larutan biner KCl-H<sub>2</sub>O (1 M) ke dalam air (dengan bantuan program simulasi komputer berbahasa Delphi)

Gambar	$x_1$ (cm)	$x_2$ (cm)	$t$ (s)	$D$ ( $10^{-5}$ cm <sup>2</sup> /s)	k
4.2.	-	-	(173 ± 1)	(1,8 ± 0,3)	0
4.2.	-	-	(173 ± 1)	(1,9 ± 0,3)	1
4.3.	-	-	(470 ± 1)	tidak dianalisis	0
4.3.	-	-	(470 ± 1)	tidak dianalisis	1
4.4.	(0,182 ± 0,007)	(0,171 ± 0,009)	(874 ± 1)	(1,8 ± 0,1)	0
4.4.	(0,186 ± 0,007)	(0,17 ± 0,03)	(874 ± 1)	(1,8 ± 0,3)	1
4.5.	(0,229 ± 0,009)	(0,19 ± 0,02)	(1145 ± 1)	(1,9 ± 0,2)	0
4.5.	(0,238 ± 0,009)	(0,18 ± 0,01)	(1145 ± 1)	(1,9 ± 0,1)	1
4.6.	-	-	(1455 ± 1)	tidak dianalisis	0
4.6.	-	-	(1455 ± 1)	tidak dianalisis	1

Nilai-nilai koefisien difusi yang ada pada Tabel 4.1 dapat diambil harga reratanya. Nilai koefisien difusi dari Gambar 4.3 dan Gambar 4.6 tidak diperhitungkan, karena nilainya berbeda jauh. Di samping itu, kalau dilihat Gambar 4.3 dikhawatirkan yang terekonstruksi bukan rumbai hasil proses difusi. Dari Gambar 4.6 tampak bahwa proses difusi terjadi tidak pada satu arah saja, sehingga

dikhawatirkan pengandaian difusi yang berlangsung satu arah tidak terpenuhi. Dengan alasan yang telah disebutkan diatas, maka data dari Gambar 4.3 dan Gambar 4.6 tidak diperhitungkan dalam pengambilan nilai rerata koefisien difusi larutan biner KCl-H<sub>2</sub>O (1 M) ke dalam air.

Gambar 4 dan Gambar 5 dianalisis dengan metode manual (pengukuran dengan jangka sorong), karena metode simulasi komputer tidak mampu menganalisis. Hal ini disebabkan karena kurang bagusnya kualitas rumbai yang dihasilkan dari proses perekaman hologram. Disamping itu simulasi komputer hanya akan memproses harga koefisien difusi, dimana jumlah rumbai terang dan gelap ( $x_1$  dan  $x_2$ ) lebih dari 3.

Tabel 4.2. Harga koefisien difusi larutan biner KCl-H<sub>2</sub>O yang dihasilkan peneliti lain

No	peneliti	konsentrasi dan suhu	metode	D (10 <sup>-5</sup> cm <sup>2</sup> /s)
1.	Sunyono (1997)	0,01 M (25°C) 1 M (25°C)	kontak singkat	(1,948 ± 0,011) belum diteliti
2.	Bird (Sunyono,1997)	0,1 M (25°C)	kontak singkat	1,93
3.	Miller (Sunyono,1997)	0,1 (25 °C) 1 M (25°C)	kontak singkat	1,847 1,892
4.	Becsey dkk (1971)	0,015 M (25°C)	interferometri holografi waktu nyata ( <i>real time</i> )	(1,872 ± 0,012)
5.	Handbook of Chemistry and Physics (Weast, 1972)	0,01 M (25°C) 0,1 M (25°C) 1 M (25°C)	-	1,917 1,844 1,892

Dengan nilai koefisien difusi larutannya :  $D = (1,80 \pm 0,08) \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ .  
 Jika dibandingkan dengan penelitian Apsari (1998) , penelitian ini mampu meningkatkan ketepatan pengukuran sekitar 2x. Kesalahan relatif penelitian Apsari sekitar 4,4 %, sedangkan penelitian ini sekitar 2,7 %. Namun begitu metode analisis dengan bantuan simulasi komputer masih perlu dikembangkan lagi dan

Gambar	$x_1$ (cm)	$x_2$ (cm)	$t$ (s)	$D$ ( $10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ )	k
4.2	(0,081 ± 0,002)	(0,071 ± 0,001)	(173 ± 1)	(1,70 ± 0,05)	0
4.2	(0,085 ± 0,004)	(0,068 ± 0,003)	(173 ± 1)	(1,7 ± 0,1)	1
4.3	(0,086 ± 0,002)	(0,078 ± 0,001)	(470 ± 1)	(0,70 ± 0,02)	0
4.3	(0,083 ± 0,002)	(0,078 ± 0,002)	(470 ± 1)	(0,70 ± 0,02)	1
4.4	(0,182 ± 0,007)	(0,171 ± 0,009)	(874 ± 1)	(1,8 ± 0,1)	0
4.4	(0,186 ± 0,007)	(0,17 ± 0,03)	(874 ± 1)	(1,8 ± 0,3)	1
4.5	(0,229 ± 0,009)	(0,19 ± 0,02)	(1145 ± 1)	(1,9 ± 0,2)	0
4.5	(0,238 ± 0,009)	(0,18 ± 0,01)	(1145 ± 1)	(1,9 ± 0,1)	1
4.6	(0,208 ± 0,008)	(0,18 ± 0,01)	(1455 ± 1)	(1,30 ± 0,08)	0
4.6	(0,203 ± 0,005)	(0,174 ± 0,002)	(1455 ± 1)	(1,20 ± 0,03)	1

Jadi harga koefisien difusi larutan biner KCl-H<sub>2</sub>O yang dihasilkan pada jangkauan hasil penelitian. (1 M) hasil penelitian sesuai dengan hasil peneliti-peneliti terdahulu, dan juga sesuai dengan harga pada Handbook of Chemistry and Physics (Weast, 1972).  
 Tabel 4.3. Harga koefisien difusi larutan biner KCl-H<sub>2</sub>O yang dihasilkan Apsari (1998)  
 Dari harga koefisien difusi yang dihasilkan, diketahui bahwa interval data yang masih masuk dalam jangkauan diterima berkisar antara  $1,8 \cdot 10^{-5} - 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ .  
 Jika hasil penelitian di atas dibandingkan dengan Tabel 4.2 dan Tabel 4.3, dapat disimpulkan bahwa hasil peneliti lain masih berada pada jangkauan hasil penelitian. Jadi dapat disimpulkan, bahwa harga koefisien difusi larutan biner KCl-H<sub>2</sub>O dihasilkan penelitian ini adalah  $D = (1,85 \pm 0,05) \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$

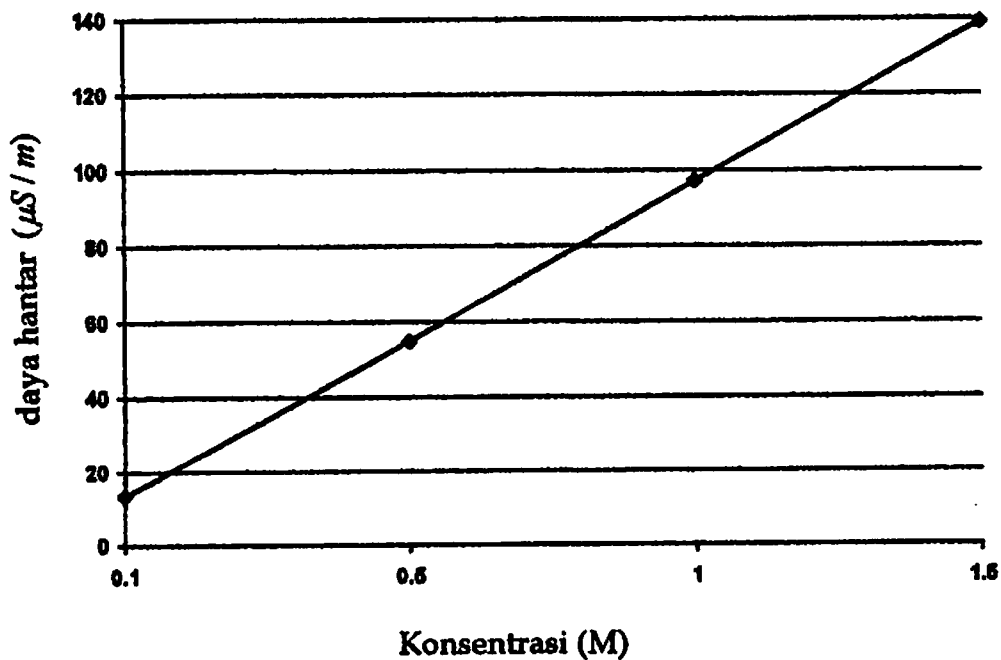


diimbangi pula dengan bagusnya kualitas rumbai yang dihasilkan dari proses perekaman hologram.

Hasil pengukuran konduktivitas (daya hantar larutan) KCl 1 M di Laboratorium An-Organik F.MIPA UGM dengan alat Meter Daya Hantar (*Conductivity Meter*) DS-8F dan jenis elektroda 3452-06°C adalah sebagai berikut :

Konsentrasi (M)	suhu larutan (°C)	daya hantar ( $\mu S / m$ )	suhu kamar (°C)
0,1	28,7	13,48	30
0,5	28,7	54,8	30
1	28,7	97,3	30
1,5	28,5	139,1	30

Adapun grafik konduktivitas larutan biner KCl-H<sub>2</sub>O dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Grafik Konduktivitas Larutan Biner KCl-H<sub>2</sub>O

Dari grafik konduktivitas larutan (Gambar 4.7) dapat disimpulkan bahwa nilai molaritas larutan KCl yang digunakan (1 M) masih dalam kondisi encer yang disyaratkan oleh model matematis yang digunakan.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data-data eksperimen dan hasil pengamatan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan :

1. Hasil pengukuran koefisien difusi larutan biner KCl-H<sub>2</sub>O dengan bantuan simulasi komputer berbahasa Delphi, sesuai dengan literatur.
2. Teknik interferometri holografi penyinaran ganda dapat digunakan sebagai instrumen alternatif pengukuran koefisien difusi larutan biner encer berdasarkan model matematik yang telah dijabarkan.
3. Sistem interferometri holografi yang digunakan sudah mampu menghasilkan hologram yang cukup baik, hal ini terbukti dari kualitas rumbai yang dihasilkan.
4. Larutan KCl 1 M sudah dapat mewakili kondisi encer, yang disyaratkan oleh model matematik yang digunakan, berdasarkan uji konduktivitas larutan yang telah dilakukan.

#### 5.2. Saran

Bila penelitian serupa masih diinginkan, maka hendaknya sel difusi yang merupakan kunci utama dalam mengungkap nilai koefisien difusi dan kondisi gelap yang dibutuhkan pada saat perekaman, perlu dipertimbangkan lagi. Selain itu

metode analisis rumbai (simulasi komputer berbahasa Delphi) perlu mendapat perhatian guna peningkatan ketelitian pengukuran dan kemudahan analisis.

Peneliti yang masih berminat untuk menggunakan peralatan interferometri holografi yang ada di Laboratorium Fisika F.MIPA Unair, disarankan untuk merancang lubang jarum (*pinhole*) yang terpadu dengan mikroskop obyektif agar berkas cahaya benar-benar homogen sehingga akan didapatkan hologram yang berkualitas lebih baik. Disamping itu perlu perancangan Shutter digital, karena shutter yang ada hanya mampu menyinari plat film holografi maksimal 1 detik.

Walaupun teknik interferometri holografi penyinaran ganda dengan sistem yang ada telah berhasil dilakukan dengan baik, akan tetapi hasil yang dicapai belum maksimal. Untuk itu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memperoleh hasil yang sempurna, dengan memperhatikan beberapa hal yang telah disebutkan. Perlu diusahakan juga agar posisi kamera, hologram, dan layar pada saat pengambilan foto dijaga agar selalu tetap.

Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan komputerisasi interferometri holografi, agar didapatkan daya guna dan aplikasi yang lebih maksimal.

Larutan yang akan ditentukan koefisien difusinya dengan sistem ini, hendaknya terlebih dahulu diuji keencerannya di Laboratorium Kimia, sehingga kondisi encer yang disyaratkan model matematik yang ada, benar-benar terpenuhi.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Apsari. 1998. *Penentuan Koefisien Difusi Larutan Dengan Teknik Interferometri Holografi*. Tesis Pascasarjana UGM. Yogyakarta.
- Becsey, J.R. Jackson, N.R. dan Bierlein, J.A. 1971. *Hologram Interferometry for Isothermal Diffusion Measurements*. *Journal of Physical Chemistry*, Vol. 75, No.21, 3374-3376.
- Bevington, P. 1969. *Data Reduction And Error Analysis For The Physical Sciences*, Mc. Graw Hill, Inc., USA.
- Boas, M.L. 1983. *Mathematical Methods In The Physical Science*. 2 Ed. John Wiley & Sons, Inc. Kanada.
- Bochner, N. dan Pipman, J. 1976. *A Simple Method Of Determining Diffusion Constant By Holographic Interferometry*. *Journal of Physics D : Applied Physics.*, Vol.9, 1825-1830, UK.
- Butterrs, J.N. 1971. *Holography and Its Technology*. University Printing House, Cambridge.
- Crank, J. 1970. *The Mathematics Of Diffusion*. Oxford University Press, London.
- Ghatak, A.K. dan Thyagarajan, K. 1981. *Contemporary Optics*. Plenum Publishing Corporation, New York.
- Gray, G. dan Fenichel, H. 1979. *Holographic Interferometric Study Of Liquid Diffusion*. *Applied Optics*, vol.18, No.3, 343-345, USA.
- Guenter, R. 1990. *Modern Optics*. John Wiley and Sons, Toronto, Canada.
- Hariyanto, S., Subarkah dan Rakhmat. 1993. *Pengukuran Perubahan Suatu Benda Akibat Perubahan Suhu Dengan Interferometri Holografi*. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah PPNY-BATAN*, Yogyakarta 27-29 April 1993, 69-63.
- Khanafiyah, S. 1997. *Analisis Tegangan Benda Bening Dengan Interferometri Holografi*. Tesis Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Laud, BB. Penterjemah : Sutanto. 1988. *Laser dan Optik Non Linier*. Penerbit Universitas Indonesia. Jakarta.

- Linder, P.W. Nassimbeni, L.R. Polson, A. dan Rogers, A.L. 1976. *The Diffusion Coefficient of Sucrosa in Water*. J. Chem. Educ., 53, 330-332.
- Muhardjito. 1992. *Pembuatan Hologram Refleksi Dengan Laser He-Ne*. Tesis Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Prawirosusanto, S. 1997. *Optika Modern*. diktat kuliah F.MIPA Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Pressley, R.J. 1971. *Handbook of Laser with Selected Data on Optical Technology*, The Chemical Rubber Co, USA.
- Rahmanto, W.H. 1995. *Koefisien Pertautan Fluks-Gaya Sistem Difusif  $\text{CoSO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$* . Tesis Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Sirohi, RS. 1985. *A Course Of Experiments With He-Ne Laser*. Wiley Eastern Limited, New Dehli.
- Sunyono. 1997. *Koefisien Difusi dan Pertautan Fluks-Gaya Sistem Isotermal Larutan Terner  $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3\text{-H}_2\text{O}$* . Tesis Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Tyrrell, HJV. dan Harris, KR. 1984. *Diffusion in Liquids a Theoretical and Experimental Study*. Butterworths.
- Vest, C. 1979. *Holographic Interferometry*. John Wiley and Sons, Toronto, Canada.
- Wahyanti, T. 1995. *Aplikasi Interferometri Holografi Untuk menentukan Koefisien Difusi Larutan Sukrosa 0,38%*. Skripsi Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Weast, R. C. 1972. Ed., *Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press, Cleveland.

**Lampiran 1****Analisis Data dari Gambar 4.2 Dengan Bantuan Program Simulasi Komputer**

Analisis data untuk perhitungan D (koefisien difusi larutan)

Data ke-	t (s)	D	k
1	173	$(1,52 \cdot 10^{-5} \pm 0)$	0
2	173	$(1,65 \cdot 10^{-5} \pm 0)$	1
3	173	$(1,52 \cdot 10^{-5} \pm 9,86 \cdot 10^{-22})$	0
4	173	$(1,92 \cdot 10^{-5} \pm 0)$	1
5	173	$(2,14 \pm 9,27 \cdot 10^{-20})$	0
6	173	$(1,70 \cdot 10^{-5} \pm 0)$	1
7	173	$(1,89 \cdot 10^{-5} \pm 7,1 \cdot 10^{-19})$	0
8	173	$(2,36 \cdot 10^{-5} \pm 9,86 \cdot 10^{-22})$	1

Dari tabel di atas dengan bantuan simulasi komputer, diperoleh nilai koefisien difusi larutan binernya :

$$\bar{D} = (1,8 \pm 0,3) \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}$$

$$\bar{D} = (1,9 \pm 0,3) \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}$$

Lampiran 2Analisis Data dari Gambar 4.4. Dengan Cara Manual Untuk Orde Nol

1. Data pengukuran  $x_1$ ,  $x_2$ , dan  $t$  dengan perbesaran 5x

Pengukuran ke-	$x_1$ (cm)	$x_2$ (cm)	$t$ (detik)
1	0,950	0,890	874
2	0,900	0,860	874
3	0,910	0,870	874
4	0,885	0,815	874
5	0,860	0,790	874
6	0,950	0,900	874

2. Analisis data untuk perhitungan  $D$  (koefisien difusi larutan)

Data ke-	$x_1$ (cm)	$x_2$ (cm)	$t$ (s)	$D$ ( $10^{-5}$ cm <sup>2</sup> /s)	$k$
1	0,190	0,178	874	1,936	0
2	0,180	0,172	874	1,772	0
3	0,182	0,174	874	1,812	0
4	0,177	0,163	874	1,652	0
5	0,172	0,158	874	1,557	0
6	0,190	0,180	874	1,957	0

Dari perhitungan dengan rumus-rumus yang telah dijabarkan, diperoleh nilai-nilai sebagai berikut :

$$\bar{x}_1 = (0,182 \pm 0,007) \text{ cm}$$

$$\bar{x}_2 = (0,171 \pm 0,009) \text{ cm}$$

$$\bar{t} = (874 \pm 0,01) \text{ sec}$$

$$\bar{D} = (1,8 \pm 0,1) 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}$$

**PAMERAN**

1 DEC 2003



PALEMBANG

DEK 2013

2013