

-1 APR 2003

PAMERAN



LAPORAN PENELITIAN  
DIK RUTIN UNIVERSITAS AIRLANGGA  
TAHUN ANGGARAN 2001

SELESAI

**PENDAYAGUNAAN SENSOR CCD (COUPLED CHARGE  
DEVICES) UNTUK OTOMASI ANALISIS KOEFISIEN  
DIFUSI SISTEM ISOTERMAL TERNER**

**Peneliti:**

**Dra. RETNA APSARI, M.Si.**

**LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS AIRLANGGA**

Dibiayai oleh DIK Rutin Universitas Airlangga Tahun 2001

SK Rektor Universitas Airlangga Nomor 5307/JO3/PG/2001

Tanggal 12 Juni 2001

Nomor Urut: 28

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS AIRLANGGA

Desember, 2001



LAPORAN PENELITIAN  
DIK RUTIN UNIVERSITAS AIRLANGGA  
TAHUN ANGGARAN 2001

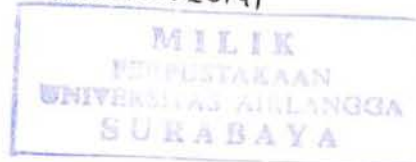
KKC  
KK  
543.085 3  
APs  
P

**PENDAYAGUNAAN SENSOR CCD (COUPLED CHARGE  
DEVICES) UNTUK OTOMASI ANALISIS KOEFISIEN  
DIFUSI SISTEM ISOTERMAL TERNER**

**Peneliti:**

**Dra. RETNA APSARI, M.Si.**

3000130023141



**LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS AIRLANGGA**

Dibiayai oleh DIK Rutin Universitas Airlangga Tahun 2001  
SK Rektor Universitas Airlangga Nomor 5307/JO3/PG/2001  
Tanggal 12 Juni 2001  
Nomor Urut: 28

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS AIRLANGGA

**Desember, 2001**



Faint text below the logo, likely the name of the library or university.

UNIVERSITAS AIRLANGGA  
PERPUSTAKAAN  
SURABAYA

Faint text, possibly a date or title.

Faint text, possibly a date or title.

UNIVERSITAS AIRLANGGA  
PERPUSTAKAAN  
SURABAYA

MILIK  
PERPUSTAKAAN  
UNIVERSITAS AIRLANGGA  
SURABAYA

## LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR PENELITIAN

1. a. Judul Penelitian	: Pendayagunaan Sensor CCD (Coupled Charge Devices) Untuk Otomasi Analisis Koefisien Difusi Sistem Isotermal Turner)
b. Macam Penelitian	: ( ) Fundamental, ( ) Terapan, ( x ) Pengembangan ( ) Instiusional
c. Kategori Penelitian	: ( ) I ( ) II ( ) III ( ) IV
2. Kepala Proyek Penelitian	:
a. Nama Lengkap dg. Gelar	: Dra. Retna Apsari, MSi,
b. Jenis Kelamin	: Perempuan
c. Pangkat / Gol. Dan NIP	: Penata Muda Tk II/ IIIb/ 132 049 210
d. Jabatan Sekarang	: Asisten Ahli
e. Fakultas / Puslit / Jurusan	: MIPA/ Fisika
f. Univ./Inst./Akademi/Instansi	: Universitas Airlangga Surabaya
g/ Bidang Ilmu Yang Diteliti	: Fisika Optik dan Aplikasi Laser, Instrumentasi dan Komputasi
3. Jumlah Tim Peneliti	: 1 (satu) orang
4. Lokasi Peneliti	: Laboratorium Fisika Optik dan Aplikasi Laser F.MIPA Unair
5. Bila peneliti ini merupakan peningkatan kerjasama kelembagaan, sebutkan	
a. Nama Instansi	: -
b. A l a m a t	: -
6. Jangka Waktu Penelitian	: 4 bulan
7. Biaya yang diperlukan	: Rp. 3.000.000,-
8. Seminar Hasil Penelitian	:
a. Dilaksanakan Tanggal	: 23 November 2001
b. Hasil Penelaian	: ( ) Baik Sekali ( V ) Baik ( ) Sedang ( ) Kurang

Surabaya, November 2001

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

Prof. Dr.drh. H. Sarmanu, MS.  
NIP. 130 701 125

3000130023141

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah 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 materil.

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, November 2001

Penulis

**DAFTAR ISI**

	halaman
KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	ii
DAFTAR TABEL .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	v
RINGKASAN PENELITIAN .....	vi
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar belakang Permasalahan .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	4
1.4. Manfaat Penelitian .....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1. Laser He-Ne .....	5
2.2. Prinsip Holografi .....	7
3.4. Analisis Koefisien Difusi Larutan .....	9
3.5. Sensor CCD (Coupled Charge Devices) .....	14
Bab III. METODE PENELITIAN .....	15
3.1. Bahan-bahan penelitian .....	15
3.2. Alat-alat Penelitian .....	15
3.3. Jalannya Penelitian .....	16
3.4. Analisis Data .....	18

<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>21</b>
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>29</b>
<b>5.1. Kesimpulan .....</b>	<b>29</b>
<b>5.2. Saran .....</b>	<b>30</b>
<b>DAFTAR ACUAN .....</b>	<b>31</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>33</b>

**DAFTAR TABEL**

	halaman
Tabel 4.1 Hasil analisis Koefisien difusi sistem isotermal temer dengan program simulasi yang telah dibuat .....	22
Tabel 4.2 Hasil analisis koefisien difusi larutan (0,1 M $\text{NsNO}_3$ - 0,1 M $\text{KNO}_3$ - $\text{H}_2\text{O}$ ) ysnng dilskuksn oleh Apsari dkk (2001) dengan perbandingan 1 : 4 .....	23
Tabel 4.3 Nilai koefisien difusi sistem temer ( $\text{NsNO}_3$ - $\text{KNO}_3$ - $\text{H}_2\text{O}$ ) menurut Sunyono (1997) .....	23



## DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Diagram aras tenaga atom He-Ne (Sirohi, 1985) .....	6
Gambar 2.2 Proses perekaman hologram .....	7
Gambar 2.3 Proses rekonstruksi .....	8
Gambar 2.4 Gambaran ringkas eksperimen .....	10
Gambar 2.5 Rumbai yang terbentuk dari difusi larutan KCl 0,005 M ke dalam air setelah 10,3 menit proses difusi (Becsey dkk, 1971) .....	13
Gambar 2.6 Rumbai yang terbentuk dari difusi larutan KCl 1 M ke dalam air setelah 2,53 menit proses difusi .....	14
Gambar 3.1 Cara pasang peralatan.....	16
Gambar 4.1. Rumbai yang terbentuk a) sebelum terjadinya proses difusi b) setelah proses difusi berlangsung 3 menit 15 detik .....	24
Gambar 4.2. Rumbai yang terbentuk setelah proses difusi berlangsung a) 6 menit 11 detik b) 9 menit 7 detik .....	25

## RINGKASAN PENELITIAN

**PENDAYAGUNAAN SENSOR CCD (*Coupled Charge Devices*) UNTUK OTOMASI ANALISIS KOEFISIEN DIFUSI SISTEM ISOTERMAL TERNER (Retna Apsari, 2001, 32 halaman).**

---

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab permasalahan (1) Bagaimanakah membuat sistem interferometri holografi dengan peralatan yang tersedia, sehingga mampu menghasilkan hologram yang dapat dianalisa dengan baik, (2) Apakah teknik interferometri holografi penyinaran ganda dapat digunakan untuk menentukan harga koefisien difusi sistem isothermal terner  $\text{NaNO}_3 - \text{KNO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ , (3) Bagaimanakah membuat otomasi sistem interferometri holografi dengan mendayagunakan sensor CCD, interface, dan program simulasi komputer sehingga mampu menganalisis koefisien difusi sistem terner dari rekonstruksi hologram yang dihasilkan, (4) Apakah harga koefisien difusi sistem terner  $\text{NaNO}_3 - \text{KNO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  yang dihasilkan metode ini dengan mendayagunakan sensor CCD, interface dan program simulasi komputer, sesuai dengan harga koefisien difusi yang dihasilkan dengan metode lain

Penelitian ini bertujuan untuk mengungkapkan bahwa otomasi metode interferometri holografi dengan menggunakan sensor CCD, interface, program simulasi komputer serta piranti optis yang tersedia dengan beberapa modifikasi yang dihuruhkan, mampu digunakan untuk menentukan koefisien difusi larutan terner  $\text{NaNO}_3 - \text{KNO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ . Dalam metode ini dilakukan dua kali perekaman pola interferensi pada satu plat film, dengan sumber cahaya berupa Laser He-Ne dengan panjang gelombang  $0,6328 \mu\text{m}$ . Perekaman pertama dilakukan tanpa obyek, sedangkan perekaman kedua dilakukan dengan obyek yang akan diteliti, yaitu sel sampel berisi larutan terner yang akan ditentukan nilai koefisien difusinya. Dari proses perekaman dihasilkan hologram. Pada saat hologram direkonstruksi terlihat pola rumbai dari bayangan obyek, yang kemudian di tangkap oleh sensor CCD, muncul di monitor komputer, dan dianalisis dengan program simulasi komputer berbahasa Delphi.

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.

Sistem terner yang diteliti koefisien difusinya adalah larutan terner 0,1 M  $\text{NaNO}_3$  -  $\text{KNO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$ . yang direkam pada saat proses difusi berlangsung 3,15 menit, 6,11 menit, 9,7 menit. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Optik dan Aplikasi Laser F.MIPA Universitas Airlangga.

Dari hasil eksperimen, diperoleh koefisien difusi larutan terner 0,1 M  $\text{NaNO}_3$  -  $\text{KNO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$ .  $\text{KCl-H}_2\text{O}$  adalah  $(1,44 \pm 0,05) \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ . Terdapat kesesuaian antara hasil penelitian ini, penelitian terdahulu dengan analisis manual, dan data-data yang ada pada literatur. Jadi dapat disimpulkan bahwa metode interferometri holografi penyinaran ganda, dengan analisis simulasi komputer berbahasa Delphi dan memanfaatkan sensor CCD dapat digunakan sebagai metode alternatif untuk penentuan koefisien difusi sistem terner, karena otomasi yang telah dilakukan pada penelitian lebih presisi dibanding dengan analisis manual.

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 dan penggunaan piranti pendukung yang lebih sensitiv seperti : interface, CCD dan komputer PC.

(L.P. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Airlangga;  
No. Kontrak : 677/JO3.2/PG/2001, 02 Juli 2001)

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Permasalahan

Proses difusi merupakan salah satu proses penting dalam termodinamika ireversibel. 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. Disamping itu, metode-metode eksperimen difusi yang telah banyak dilakukan ternyata tidak mudah dilakukan di laboratorium yang serba terbatas dan peralatan yang sukar diperoleh. Untuk itu, metode alternatif yang mungkin dilakukan dan mempunyai ketelitian tinggi perlu dikembangkan.

Telah dilakukan penelitian tentang penentuan koefisien difusi sistem biner dengan metode interferometri holografi oleh Apsari (1998) dan Apsari (1999). Dalam penelitian tersebut, dikembangkan metode interferometri holografi 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 S. dkk, 1993). Metode ini diterapkan sebagai metode tidak merusak dalam mempelajari perubahan-perubahan kecil yang bersifat sementara (Gray dan Fenichel, 1979), seperti sistem isothermal terner.

Dari beberapa penelitian tentang koefisien difusi sistem terner oleh Rahmanto (1995), Sunyono (1997), Mathew dkk (1989) menyimpulkan bahwa metode optik, khususnya interferometri holografi merupakan metode yang mempunyai ketelitian tinggi dan tidak merusak sampel yang diteliti. Hal ini juga diperkuat dengan penelitian Lea dan Work (1993) serta Richerzhagen (1996), bahwa metode optiklah yang paling cocok untuk menyelesaikan permasalahan deformasi pada larutan.

Dari penelitian Apsari (1998), perhitungan koefisien difusi sistem biner dengan cara manual ternyata menyumbangkan kesalahan yang cukup berarti. Penelitian Apsari (1999), telah memperbaiki metode manual yang dilakukan Apsari (1998) dengan membuat program simulasi berbahasa Delphi. Ternyata metode analisis yang telah dilakukan Apsari (1999) inipun juga belum optimal, karena analisis koefisien difusi sistem biner dilakukan dengan menscanner pola interferensi rumbai dari hasil foto proses rekonstruksi. Dengan menyiam (*menscanner*) foto, program simulasi terkadang susah menterjemahkan jumlah pixel per satuan luas untuk arah difusi yang dikehendaki.

Penentuan koefisien difusi sistem terner dengan metode interferometri holografi yang merupakan pengembangan dari sistem biner, dengan analisis hasil secara manual telah dilakukan oleh Apsari dkk (2001). Ternyata walaupun metode interferometri holografi adalah metode yang paling teliti, tetapi analisis koefisien difusi sistem terner secara manual tidak dapat mengimbangi ketelitian metode interferometri holografi yang telah diakui oleh para kimiawan. Oleh karena itu, metode analisis yang tepat dan teliti

tetap harus dikembangkan.

Untuk itu dalam penelitian ini akan dilakukan analisis koefisien difusi sistem isothermal terner dengan menggunakan sensor CCD (*Coupled Charge Devices*) yang langsung diarahkan ke pola rumbai interferensi yang dihasilkan dari sistem isothermal terner yang telah dibuat melalui proses perekaman. Dari CCD langsung dihubungkan ke interface dan komputer dengan program simulasi berbahasa Delphi, dan diharapkan secara otomatis langsung keluar nilai koefisien difusi sistem isothermal Terner. Dengan analisis koefisien difusi sistem terner secara otomatis diharapkan akan mengurangi kesalahan perhitungan serta menambah efisiensi dan ketelitian penentuan koefisien difusi sistem terner khususnya, dan koefisien difusi larutan secara keseluruhan.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang penelitian tersebut di atas, maka peneliti merumuskan beberapa masalah sebagai berikut :

1. Apakah teknik interferometri holografi penyinaran ganda dapat digunakan untuk menentukan harga koefisien difusi sistem isothermal terner  $\text{NaNO}_3 - \text{KNO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  ?
2. Bagaimanakah membuat otomasi sistem interferometri holografi dengan mendayagunakan sensor CCD, interface, dan program simulasi komputer sehingga mampu menganalisis koefisien difusi sistem terner dari rekonstruksi hologram yang dihasilkan ?
3. Apakah harga koefisien difusi sistem terner  $\text{NaNO}_3 - \text{KNO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  yang dihasilkan metode ini dengan mendayagunakan sensor CCD, interface dan program simulasi komputer, sesuai dengan harga koefisien difusi yang dihasilkan dengan metode lain yang telah dilakukan ?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Penelitian bertujuan untuk mengungkapkan bahwa otomasi metode interferometri holografi dengan menggunakan sensor CCD, interface, program simulasi komputer serta piranti optis yang tersedia dengan beberapa modifikasi yang dibutuhkan, mampu digunakan untuk menentukan harga koefisien difusi sistem terner  $N_2NO_3 - KNO_3 - H_2O$ .

### **1.4. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian memiliki kontribusi yang sangat besar dalam bidang Ilmu Pengetahuan dan Teknologi. Kontribusi dalam bidang teknologi dimungkinkan karena dari hasil penelitian yang diperoleh dapat merangsang pengembangan teknologi yang berkaitan dengan aplikasi laser dalam bidang pengukuran, khususnya analisis koefisien difusi sistem terner.

Dengan berhasilnya otomasi analisis koefisien difusi dengan metode ini akan membuka peluang penelitian-penelitian di bidang termodinamika tak balik yang memegang peranan penting dalam mengungkap fenomena alam nyata dan dapat pula digunakan untuk menggarap kaidah-kaidah biofisis yang melandasi ilmu kedokteran modern. Pengembangan metode interferometri holografi, diharapkan dapat digunakan sebagai instrumen alternatif untuk menentukan koefisien difusi baik padat maupun cair di Indonesia pada umumnya dan di Unair pada khususnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

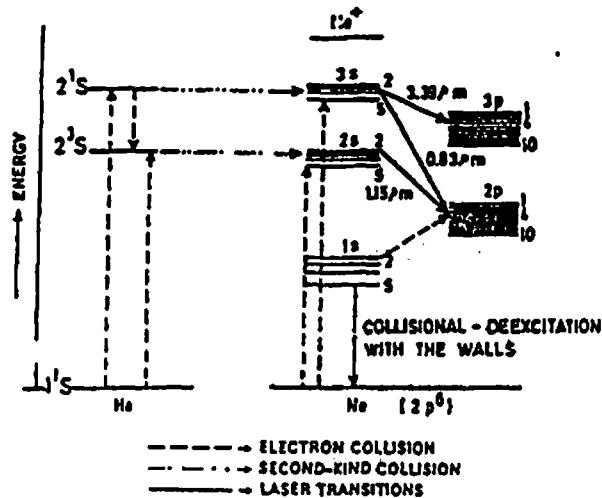
#### 2.1. Laser He-Ne

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 pada Gambar 2.1.





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.

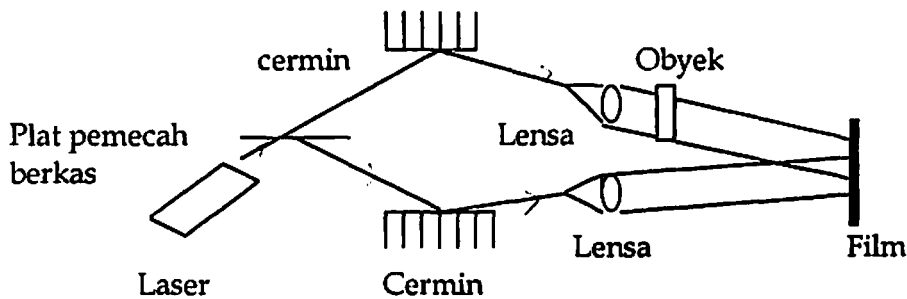
Dengan transisi-transisi energi yang mungkin seperti telah dijelaskan di atas, aksi laser dari campuran atom-atom He dan Ne dapat menghasilkan keluaran laser dengan panjang gelombang  $0,6328 \mu\text{m}$ ,  $1,15 \mu\text{m}$ , serta  $3,39 \mu\text{m}$ . Namun demikian untuk keperluan pemistaran (pencjajaran), 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  $2P_4$ .

## 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  $A_0$  dan  $A_r$  masing-masing adalah amplitudo gelombang obyek dan gelombang acuan, sedangkan  $\varphi_0$  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 :

$$U_f = U_r + U_0 \quad (2.3)$$

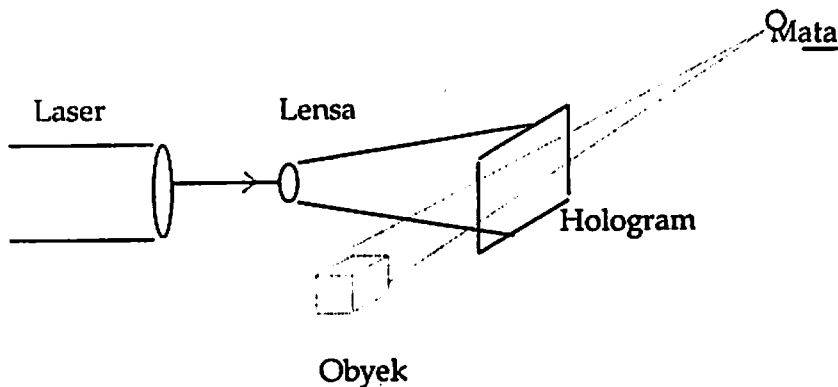
sehingga besar intensitas yang terekam oleh film tersebut adalah :

$$I = U_r U_r^* = |U_r|^2 = (U_r + U_0)(U_r^* + U_0^*)$$

$$\text{atau } I = |U_r|^2 + |U_0|^2 + U_0 U_r^* + U_r U_0^* \quad (2.4)$$

Tanda ( \* ) menyatakan konjugat kompleks.

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



Gambar 2.3. Proses rekonstruksi

sehingga diperoleh :

$$U_r I = U_r (|U_r|^2 + |U_0|^2 + U_0 U_r^* + U_r U_0^*)$$

$$= |U_r|^2 U_r + |U_0|^2 U_r + |U_r|^2 U_0 + [U_r]^2 U_0^* \quad (2.5)$$

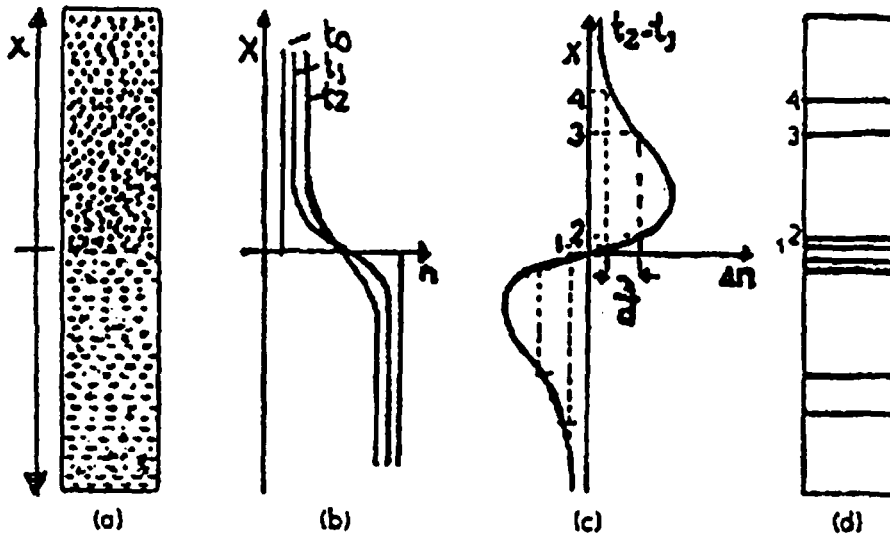
Dengan memperhatikan ruas kanan persamaan (2.5) suku pertama menunjukkan gelombang yang merambat searah dengan gelombang acuan, tetapi mempunyai amplitudo gelombang yang telah dimodifikasi dengan  $|U_r|^2$ , dan karena berkas acuan yang dipilih mempunyai amplitudo yang merata, maka modifikasi  $|U_r|^2$  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.

### **2.3. Analisis Koefisien Difusi Larutan**

Gambar 2.4 menunjukkan gambaran ringkas eksperimen penentuan koefisien difusi larutan. Sel diisi dengan larutan yang akan dicari koefisien difusinya

(Gambar.2. 4.a), x menunjukkan arah difusi.



Gambar 2.4. 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 2.4.b. Perubahan indeks bias dalam sel pada tiga beda waktu, ditunjukkan pada Gambar 2.4.b. Pengurangan kurva  $t_1$  dari kurva  $t_2$  memberikan perubahan indeks bias ( $\Delta n$ ), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4.c. Informasi

inilah yang sebenarnya terekam pada hologram. Ketika interferogram direkonstruksi, interferensi rumbai muncul pada bayangan sel seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4.d.

Rumbai tersebut muncul ketika dipenuhi syarat :

$$\Delta n = \frac{(2k+1)\lambda}{2d} \quad (2.6)$$

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 :

$$\frac{\partial C(x,t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C(x,t)}{\partial x^2} \quad (2.7)$$

dengan  $D$  adalah koefisien difusi. Cairan mula-mula dipisahkan pada waktu  $t_0$ . Menurut Crank (1970), dalam 1-D penyelesaian persamaan (2.7) adalah fungsi ralat (*error function*) yang berbentuk:

$$C(x,t) = \frac{C_1 + C_2}{2} + \frac{(C_1 - C_2)\pi}{2\sqrt{2}} \int_0^y \exp(-z^2) dz \quad (2.8)$$

dengan  $y = \frac{x}{2(Dt)^{1/2}} \quad (2.9)$

$C_1$  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 2.4.b), untuk waktu yang berbeda-beda akan mempunyai formulasi yang sama dengan persamaan (2.8). Perubahan indeks bias  $\Delta n$  sebagai fungsi  $x$  untuk interval waktu  $\Delta t$  diperoleh dengan pengurangan dua kurva, sehingga hasilnya adalah:

$$\Delta n(x, \Delta t) = n(x, t_2) - n(x, t_1) \quad (2.10)$$

fungsi seperti ditampilkan pada Gambar 2.4.c. Interferensi rumbai gelap akan terjadi ketika syarat persamaan (2.6) dipenuhi. Gambar 2.4.c menyajikan lokasi rumbai dua orde nol dan dua orde satu pada masing-masing sisi permukaan pada  $x = 0$ . Dari Gambar 2.4.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 :

$$\Delta n(x, \Delta t) = \frac{\partial n(x, t)}{\partial x} dx + \frac{\partial n(x, t)}{\partial t} dt \quad (2.11)$$

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

$$\Delta n(x_1, \Delta t) = \frac{\partial n(x_1, t)}{\partial t} \Delta t = \frac{(2m+1)\lambda}{2d} \quad (2.12)$$

dengan  $\Delta t$  adalah waktu penyinaran hologram.

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

$$\Delta n(x_2, \Delta t) = \frac{\partial n(x_2, t)}{\partial t} \Delta t = \frac{(2p+1)\lambda}{2d} \quad (2.13)$$

Gabungan persamaan (2.12) dan (2.13) memberikan :

$$(2m+1) \frac{\partial n(x_2, t)}{\partial t} = (2p+1) \frac{\partial n(x_1, t)}{\partial t} \quad (2.14)$$

Dari persamaan (2.8) dan ketergantungan linear  $n(x,t)$  pada  $C(x,t)$  diperoleh :

$$\frac{\partial n(x, t)}{\partial t} = -\frac{Kx \exp(-y^2)}{4(DT^3)^{1/2}} \quad (2.15)$$

dengan  $K$  adalah konstanta proporsional.

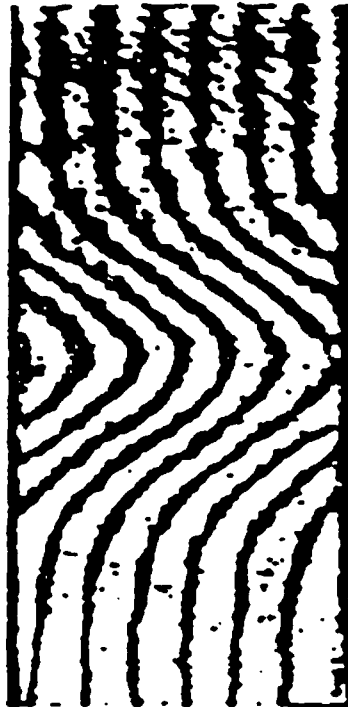
Sulihan persamaan (2.15) ke persamaan (2.14) dan penyelesaian untuk  $D$  (koefisien difusi) menurut Gray dan Fenichel (1979) diperoleh:

$$D = \frac{(x_1^2 - x_2^2)}{4t} \left[ \ln \left\{ \frac{(2p+1)x_1}{(2m+1)x_2} \right\} \right]^{-1} \quad (2.16)$$

Persamaan (2.16) di atas hanya tergantung pada lokasi rumbai ( $x_1$  dan  $x_2$ ) dan waktu yang dilewati sejak dimulainya proses difusi ( $t$ ).

Becsey dkk (1971) telah meneliti proses difusi untuk larutan KCl 0,005 M kedalam air.

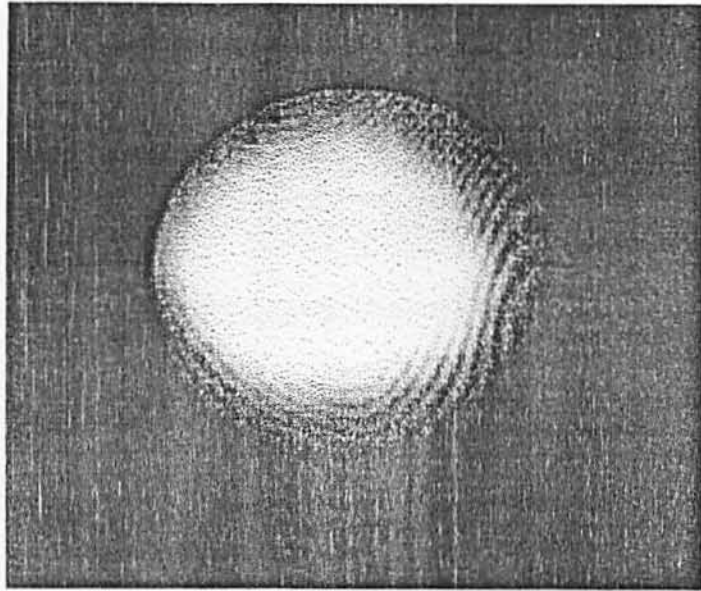
Gambar rumbai yang terbentuk setelah proses difusi berlangsung selama 10,3 menit dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Rumbai yang terbentuk dari difusi larutan KCl 0,005 M ke dalam air setelah 10,3 menit proses difusi (Becsey dkk, 1971)

Apsari (1998) telah meneliti proses difusi KCl 1 M ke dalam air setelah 2,53 menit terjadinya proses difusi, seperti pada Gambar 2.6. Proses difusi tersebut direkam dengan sistem perekaman *double exposure* di Laboratorium Perpindahan Panas PAU Ilmu teknik UGM.





Gambar 2.6. Rumbai yang terbentuk dari difusi larutan KCl 1 M ke dalam air setelah 2,53 menit proses difusi

#### **2.4. Sensor CCD (Coupled Charge Devices)**

Menurut Izzara dan Valee (1994), sensor CCD analog dengan rangkaian terpadu yang mengkonversi bayangan optis ke keluaran elektronik, atau berfungsi sebagai antar muka (interface). Sensor CCD linier terdiri dari susunan fotodiode linier, dimana masing-masing fotodiode membentuk sel gambar/pixel.

Cara kerja sensor bayangan CCD linier ada ada dua tahap, yaitu tahap pemaparan dan tahap pembacaan (readn out). Tahap pemaparan disebut waktu integrasi dimana elemen foto mengkonversi penyinaran cahaya yang datang menjadi besaran muatan listrik (muatan foto) yang sebanding dengan yang disimpan dalam kapasitor MOS (*Metal Oxide Semicinductor*). Muatan foto yang telah diterima akan dikonversi ke dalam sinyal tegangan yang sebanding, pada tahap pembacaan. Sinyal tegangan tersebut akan diubah menjadi sinyal video. Apabila CCD dihubungkan ke komputer dibutuhkan interface untuk mengubah sinyal video menjadi sinyal digital.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Bahan-bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan :

- a. Larutan kalium nitrat ( $KNO_3$ ), natrium nitrat ( $NaNO_3$ ), dan aquabides
- b. Larutan pengembang Minigrain dan larutan penetap Acifix
- c. Plat film holografi dengan tipe KODAK 649 F1A0.

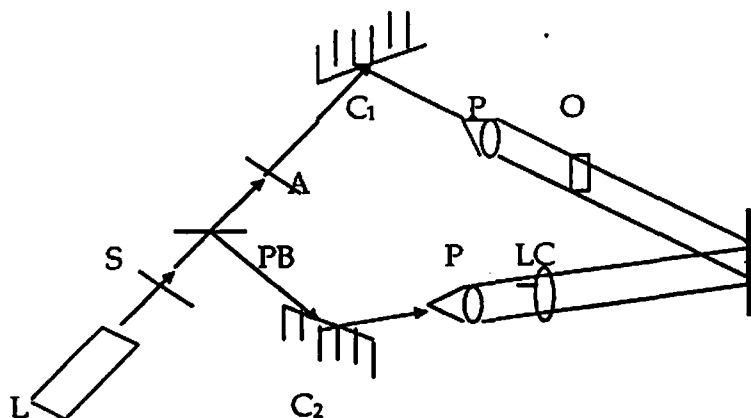
#### 3.2. Alat-alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan :

1. Laser He-Ne sebagai sumber cahaya, dengan panjang gelombang  $0,6328 \mu m$ .
2. Penutup (*shutter*) untuk mengatur lama waktu penyinaran
3. Plat pemecah berkas (*beam splitter*) untuk membagi berkas cahaya menjadi dua
4. Atenuator untuk mengatur intensitas cahaya
5. Cermin pemantul
6. Mikroskop obyektif untuk membesarkan berkas cahaya
7. Sel sampel yang berbentuk tabung persegi panjang, berisi larutan terner ( $NaNO_3 - KNO_3 - H_2O$ ) yang akan dicari koefisien difusi larutannya
8. Sensor CCD untuk menangkap citra bayangan pada saat rekonstruksi
9. Lux meter, klem magnet, bak air, dan kain hitam

Rangkaian peralatan interferometri holografi disusun seperti pada Gambar 3.1.

\Semua peralatan tersebut diletakkan di atas meja tahan getar, untuk menghindari getaran yang dikhawatirkan mengganggu proses perekaman.



Gambar 3.1. Cara pasang peralatan

Keterangan Gambar :

L = laser, S= Shutter, PB = plat pemecah berkas,  $C_1$  &  $C_2$  = cermin pemantul

P = mikroskop obyektif, LC = lensa cekung, O = obyek, F = plat film holografi

### 3.3. Jalannya Penelitian

#### 1. Persiapan alat

Peralatan optik dibersihkan, kemudian di susun seperti pada Gambar 3.1. Hal-hal yang perlu diperhatikan :

- berkas cahaya harus sejajar bidang meja
- lubang cahaya pada *shutter* diusahakan sekecil mungkin, untuk mempertahankan sifat kesederapan ruang
- jarak lintasan antar berkas acuan dan berkas obyek harus sama

2. Pemotongan plat film KODAK 649 FC 1AO menjadi dua.

3. Persiapan larutan terner  $N_4NO_3 - KNO_3 - H_2O$  (1:4). Menurut Sunyono (1997)

larutan terner dibuat dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Sebanyak 10,1102 gram  $\text{KNO}_3$  ditimbang dengan neraca analitik dan dilarutkan dalam aquabides sehingga volumenya 1 liter. Larutan yang diperoleh mempunyai konsentrasi 0,1 M  $\text{KNO}_3$ .
- b. Sebanyak 8,4995 gram  $\text{NaNO}_3$  ditimbang dengan neraca analitik dan dilarutkan dalam aquabides sehingga volumenya 1 liter. Larutan yang diperoleh mempunyai konsentrasi 0,1 M  $\text{NaNO}_3$ .
- c. Sebanyak 5 ml larutan 0,1 M  $\text{NaNO}_3$  bersama-sama dengan 20 ml larutan 0,1 M  $\text{KNO}_3$  dimasukkan ke labu takar 200 ml dan diencerkan dengan aquabides sampai tanda batas, sehingga larutan terner yang diperoleh mempunyai komposisi 0,0025 : 0,01 M atau 1:4.

4. Persiapan bahan-bahan pemroses plat film hologafi, yang meliputi :

- a. Larutan pengembang Minigrain
- b. Larutan penetap Acifix

5. Proses perekaman difusi larutan terner:

- a. Menentukan waktu penyinaran plat film hologafi, yaitu 3,2 detik.
- b. Ruangan digelapkan, perekaman pertama dilakukan tanpa obyek dan perekaman kedua dilakukan dengan obyek larutan terner

6. Pemrosesan hologram, 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*).

#### 7. Rekonstruksi

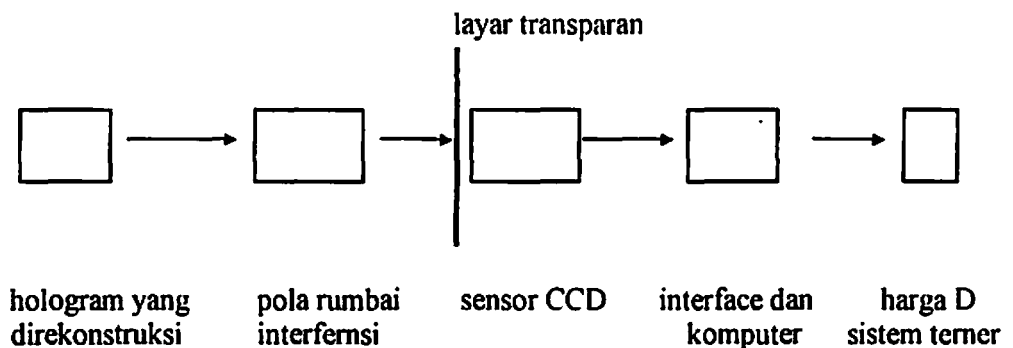
Pada saat rekonstruksi, hologram disinari dengan berkas cahaya yang searah dengan berkas acuan. Berkas tersebut akan dihamburkan oleh hologram dan akan terbentuk bayangan yang merupakan hasil interferensi antara berkas obyek dan berkas acuan

#### 8. Pengambilan gambar bayangan hasil rekonstruksi

Bayangan yang dihasilkan hologram ditangkap oleh sensor CCD dan dihubungkan dengan interface dan komputer.

#### 9. Pembuatan simulasi komputer dari keluaran sensor CCD yang dihasilkan

#### 10. Analisis data yang dilakukan secara otomatis dengan bagan sebagai berikut :



CCD yang digunakan pada penelitian ini adalah CCD yang sensitif pada cahaya tampak. Interface yang digunakan adalah : TV Tuner Video Capture Card merk Wayjet.

### 3.4. Analisis Data

Analisis data dari rumbai yang terbentuk dilakukan dengan bantuan simulasi komputer berbahasa Delphi.

Data yang diambil pada penelitian ini adalah :

- a. Data yang berupa gambar, yaitu berupa rumbai yang terbentuk, yang langsung dapat ditangkap oleh CCD dan langsung di monitor oleh komputer
- 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 rekonstruksi yang ditangkap oleh CCD dan  $t$  adalah waktu berlangsungnya proses difusi yang diukur dengan stopwatch pada saat proses perekaman. Waktu difusi yang direkam adalah : 3 menit 15 detik, 6 menit 11 detik, dan 9 menit 7 detik.

Sebelum mengukur harga koefisien difusi, terlebih dahulu ditentukan arah difusi sistem terner dengan bantuan garis difusi dari program simulasi komputer. Besar koefisien difusi larutan dapat dihitung dengan bantuan program simulasi komputer, menggunakan persamaan :

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

Penurunan secara rinci persamaan di atas dapat dilihat pada Lampiran 1.

Karena adanya keterbatasan ketelitian pada alat ukur dan adanya gejala acak dalam pengukuran, yang dapat dilakukan hanya mencari *harga terbaik* (harga rerata) dan ketidakpastiannya, untuk itu dalam penelitian ini akan diukur beberapa kali untuk satu sampel larutan terner  $N_2O_3 - KNO_3 - H_2O$ .

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

- a. Pengukuran satu peubah (*variabel*) :

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

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

b. Ralat rambatan koefisien difusi larutan dihitung dengan rumus :

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

Penurunan secara rinci ralat rambatan koefisien difusi larutan dapat dilihat di Lampiran 2.

Hasil koefisien difusi yang didapatkan pada penelitian, dibandingkan dengan harga koefisien difusi pada penelitian Apsari dkk (2001) dan dibandingkan pula dengan penelitian Sunyono (1997) yang menggabungkan metode Linder dan Crooks.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Jenis plat film yang digunakan saat perekaman adalah jenis Kodak 649 FC IAO dengan sensitivitas normal  $70 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ . Setelah dilakukan perhitungan didapat nilai waktu penyinaran 6,4 detik (penyinaran tunggal) dan 3,2 detik (penyinaran ganda).

Pada saat rekonstruksi yaitu saat menyinari hologram dengan berkas acuan, bayangan obyek akan terlihat. Bayangan obyek yang terlihat pada layar yang biasa disebut rumbai (fringe) langsung ditangkap oleh CCD, dan hasil rumbai dapat langsung di monitor komputer. Hal ini sangat membantu ketika proses rekonstruksi, karena peranan kamera tidak diperlukan lagi. Biasanya problem utama pada interferometri holografi manual adalah proses pemotretan dan pencucian hasil rekonstruksi. Pemotretan yang dilakukan di ruang gelap membutuhkan keahlian khusus, dan pencucian rumbai interferensi di tempat umum terkadang justru informasi rumbai yang dibutuhkan tidak kelihatan. Untuk itu dibutuhkan beberapa kali pencucian film agar memperoleh hasil seperti yang diinginkan, hal ini tentu saja membutuhkan waktu, tenaga, dan biaya. Dengan menggunakan sensor CCD kita lebih leluasa untuk merekonstruksi hologram yang ada, dan menyimpannya ke dalam memori komputer. Proses analisis bisa langsung dikerjakan, bisa juga di simpan dulu hasil-hasil rekonstruksi hologramnya dan dapat dianalisis sesuai dengan keinginan kita.

CCD yang ada di Laboratorium Fisika Optik dan Aplikasi Laser F.MIPA Unair adalah CCD yang sensitif pada cahaya tampak, untuk itu proses perekaman hologram tidak dapat dilakukan dengan CCD yang ada. Salah satu proses yang dapat dibantu dengan keberadaan CCD adalah proses rekonstruksi. Agar kedua proses penting yang



ada pada holografi, yaitu proses perekaman dan proses rekonstruksi dapat ditangkap semuanya oleh CCD, maka dibutuhkan CCD dengan sensitivitas tinggi, dan belum dimiliki oleh Jurusan Fisika F.MIPA Unair.

Gambar dan tampilan hasil rekonstruksi dengan menggunakan CCD dapat dilihat pada Gambar 4.1.(a) , 4.1. (b), 4.2. (a) dan 4.2. (b). Gambar tersebut dibuat berturut-turut sebelum terjadinya proses difusi, setelah proses difusi berlangsung 3 menit 15 detik, 6 menit 11 detik, dan 9 menit 7 detik.

Sebelum memulai analisis, dikonversikan dulu jumlah pixel untuk setiap luasan rumbai yang akan dianalisis. Setelah konversi ke pixel di dapat yaitu ;0,02790 cm/pixel barulah setiap gambar yang didapat dari hasil rekonstruksi dianalisis dengan program yang telah dibuat. Hasil analisis dengan program simulasi yang dibuat di sajikan pada Tabel 4.1. Hasil analisis koefisien difusi larutan terner yang sama, dilakukan oleh Apsari dkk (2001) dengan metode analisis manual disajikan pada Tabel 4.2. Perbandingan utama dari penelitian Sunyono (1997) yang menggabungkan metode Linder dan Crooks ditampilkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.1. Hasil analisis koefisien difusi sistem isothermal terner dengan program simulasi yang telah dibuat pada penelitian

Gambar	t (detik)	D ( $10^{-5}/\text{cm}^2$ )	k
4.1. (b)	195	(1,409690 $\pm$ 0,000002)	0
4.1. (b)	195	(1,5288781 $\pm$ 0,0000002)	1
4.2. (a)	371	(0,286221464 $\pm$ 0,000000008)	0
4.2. (a)	371	(1,422547764 $\pm$ 0,000000008)	1
4.2. (b)	547	(0,1764330308 $\pm$ 0,000000003)	0
4.2. (b)	547	(1,40732634642 $\pm$ 0,0000000002)	1

Tabel 4.2. Hasil analisis koefisien difusi larutan (0,1 M NaNO<sub>3</sub> – 0,1 M KNO<sub>3</sub> – H<sub>2</sub>O) Yang dilakukan oleh Apsari dkk (2001) dengan perbandingan 1 : 4

Gambar	x <sub>1</sub> (cm)	x <sub>2</sub> (cm)	t (s)	D(10 <sup>-5</sup> cm <sup>2</sup> /s)	k
4.2	(0,099 ± 0,006)	(0,057 ± 0,001)	(195 ± 0,05)	(1,52 ± 0,22)	0
4.2	(0,100 ± 0,004)	(0,055 ± 0,004)	(195 ± 0,05)	(1,49 ± 0,23)	1
4.3	(0,099 ± 0,005)	(0,093 ± 0,001)	(371 ± 0,05)	(1,24 ± 0,21)	0
4.3	(0,101 ± 0,003)	(0,098 ± 0,002)	(371 ± 0,05)	(1,34 ± 0,19)	1
4.4	(0,103 ± 0,006)	(0,060 ± 0,005)	(547 ± 0,05)	(0,59 ± 0,09)	0
4.4	(0,102 ± 0,005)	(0,058 ± 0,004)	(547 ± 0,05)	(0,57 ± 0,10)	1

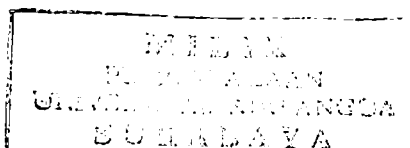
Dengan analisis menggunakan faktor bobot (Apsari dkk, 2001) diperoleh harga koefisien difusi sistem terner (NaNO<sub>3</sub> – KNO<sub>3</sub> – H<sub>2</sub>O) dengan metode Interferometri Holografi dan analisis manual dengan menggunakan jangka sorong adalah

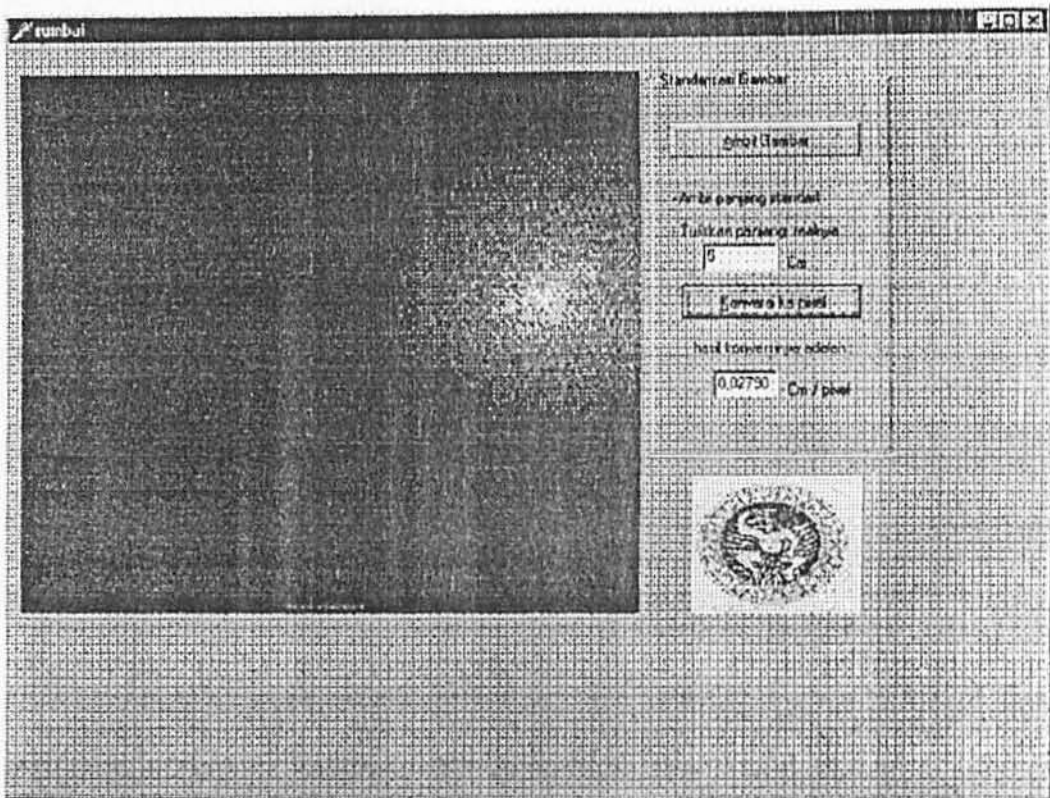
$$D = (1,40 \pm 0,11) \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}.$$

Hasil yang akan dijadikan pembandingan adalah nilai koefisien difusi yang telah diperoleh oleh peneliti sebelumnya (Sunnyono, 1997) dengan metode Linder dipadu dengan metode Crooks dan Bird serta dengan memodifikasi sel difusi tipe – L.

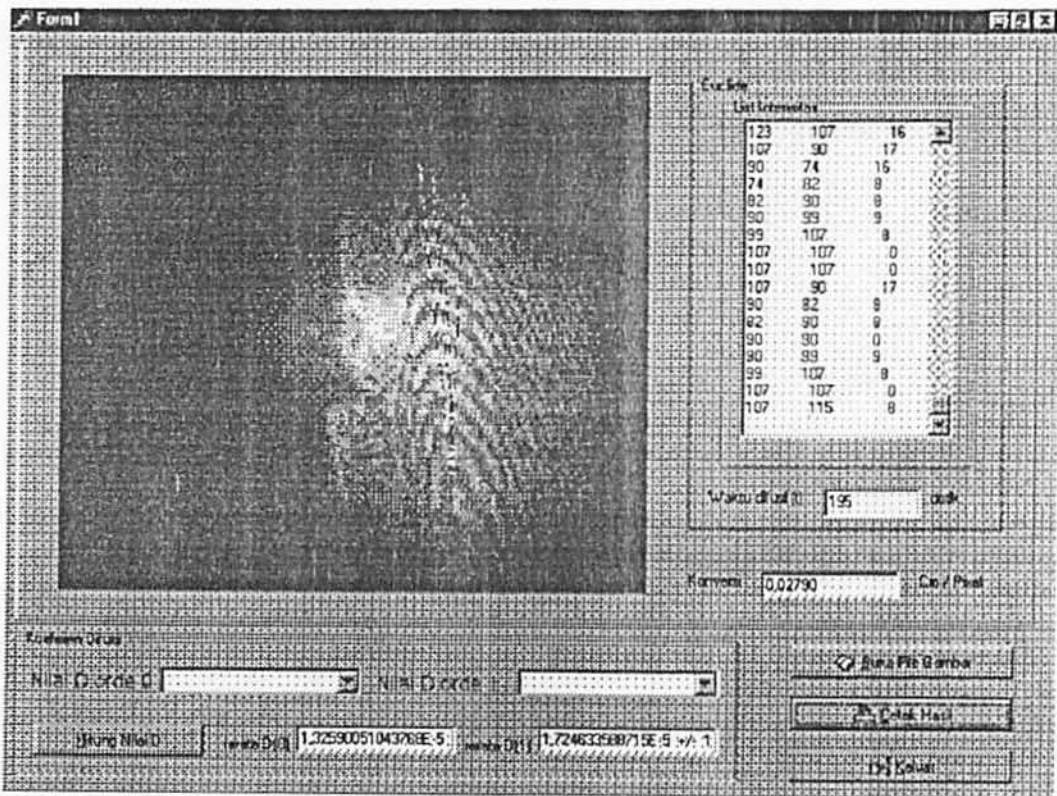
Tabel 4.3. Nilai koefisien difusi system terner (NaNO<sub>3</sub> – KNO<sub>3</sub> – H<sub>2</sub>O) menurut Sunnyono (1997)

Koefisien Difusi 10 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> / s	Co (1) : Co (2)			
	1 : 4	2 : 3	3 : 4	4 : 1
D <sub>11</sub>	1,440 ± 0,015	1,454 ± 0,014	1,476 ± 0,012	1,519 ± 0,010



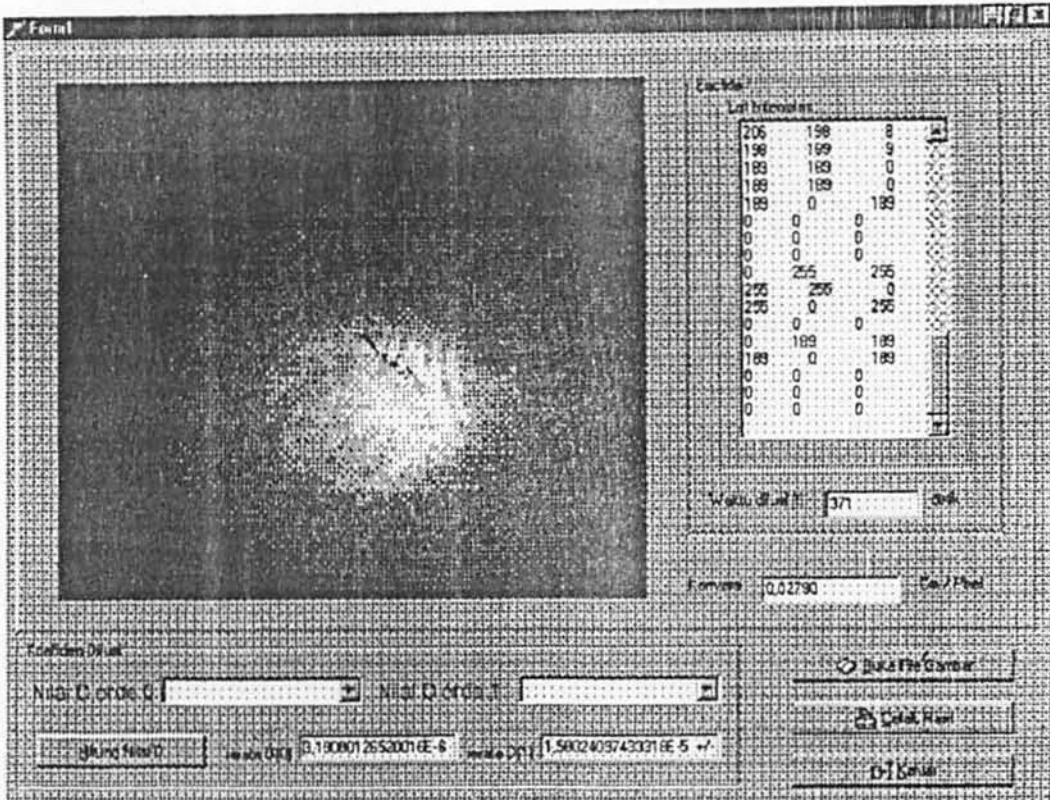


(a)

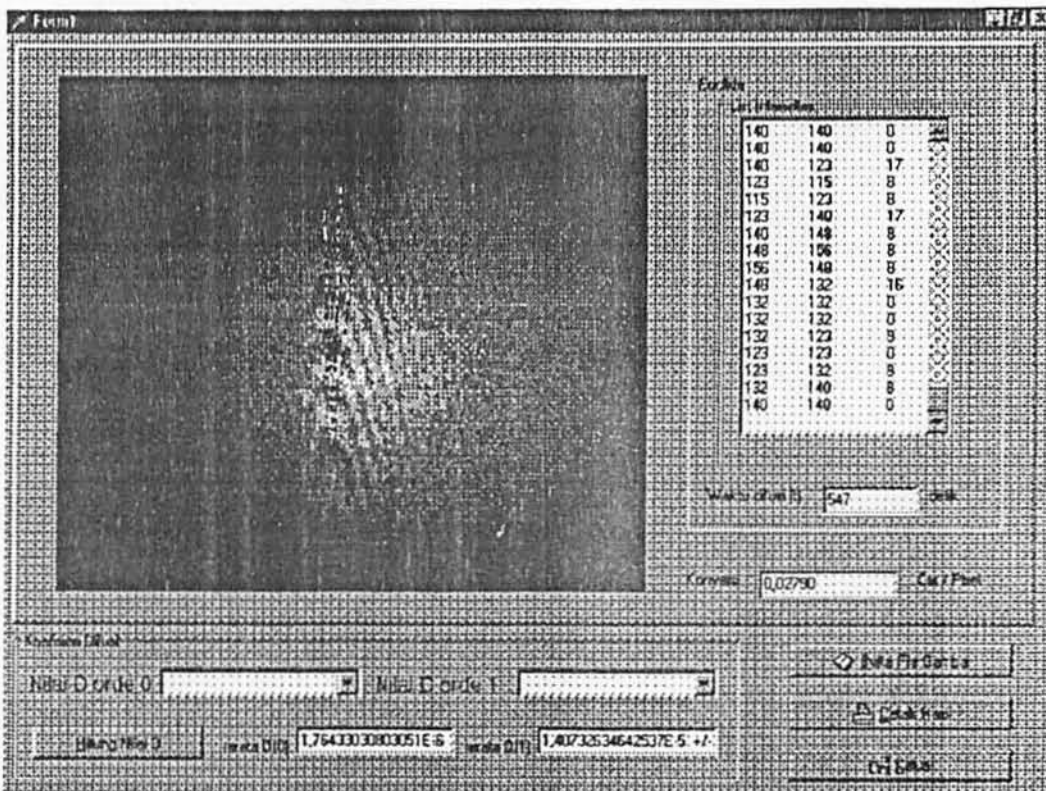


(b)

Gambar 4.1. (a) sebelum terjadinya proses difusi (b) setelah proses difusi Berlangsung 3 menit 15 detik



(a)



(b)

Gambar 4.2. Setelah proses difusi berlangsung (a) 6 menit 11 detik  
(b) 9 menit 7 detik

Dari Tabel 4.1. dapat dilihat bahwa ketidakpastian pengukuran dengan menggunakan program simulasi komputer yang telah dibuat sangat kecil, jika dibandingkan dengan penelitian serupa dengan metode manual (Tabel 4.2). Dari pengukuran koefisien difusi sistem isothermal terner dengan metode manual, yaitu menggunakan jangka sorong (Apsari dkk, 2001) didapatkan kesalahan relatif pengukuran berkisar 15%. Dengan pendayagunaan sensor CCD dengan program simulasi yang telah dibuat kesalahan relatifnya sangat kecil, yaitu berkisar antar  $1,5 \cdot 10^{-4}$  % sampai dengan  $1,5 \cdot 10^{-9}$  %.

Hasil penelitian pada Gambar 4.2 (a) untuk orde terang (0) dan Gambar 4.2. (b) untuk orde terang (0) tidak diikuti dalam meratakan hasil koefisien difusi sistem isothermal terner, karena nilai koefisien difusi untuk kedua gambar tersebut sangat menyimpang jauh. Hasil akhir penelitian didapatkan dengan meratakan nilai-nilai koefisien difusi sistem isothermal terner pada Tabel 4.1., tanpa nilai kedua gambar yang telah disebutkan di atas. Hasil koefisien difusi sistem isothermal terner 0,1 M  $\text{NaNO}_3$  -  $\text{KNO}_3$  -  $\text{H}_2\text{O}$  dengan memanfaatkan sensor bayangan CCD dan program simulasi komputer berbahasa Delphi yang dibuat adalah :

$$(1,44 \pm 0,05) \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}.$$

Hasil perhitungan koefisien difusi sistem isothermal terner dengan program simulasi yang telah dibuat didapatkan kesalahan relatifnya sekitar 3,5 %. Hal ini lebih bagus dari penelitian Apsari dkk (2001) dengan kesalahan relatifnya 7,8 %.

Dilihat dari hasil penelitian yang ada, nilai koefisien difusi sistem isothermal terner berkisar antara  $1,40 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$  sampai dengan  $1,45 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ . Jika dibandingkan dengan pengukuran koefisien difusi sistem terner serupa yang dilakukan oleh Sunyono (1997) yang menggabungkan metode Linder dan Crooks diperoleh

rentang penelitian antara  $1,425 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$  sampai dengan  $1,455 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ . Penelitian dengan metode interferometri holografi serupa, dengan analisis secara manual dengan memanfaatkan jangka sorong, didapatkan rentang penelitian antara  $1,29 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$  sampai dengan  $1,55 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ . Dengan metode analisis manual didapat rentang penelitian yang sangat lebar, walaupun hasil penelitian Apsari dkk (2001) dengan metode tersebut masih masuk dalam rentang penelitian metode lain tetapi analisis dengan manual kurang presisi. Hal ini dapat dilihat dari ketidakpastian pengukuran yang diperoleh. Bagaimanapun juga analisis dengan program simulasi komputer yang dihasilkan dari penelitian ini lebih presisi, dan hasilnya masih sesuai dengan metode lain.

Namun begitu pembuatan program simulasi komputer yang telah dibuat dengan mendayagunakan sensor CCD perlu disempurnakan, karena masih ada beberapa kelemahan, diantaranya adalah :

1. CCD hanya mampu bekerja pada batas sensitivitas mata manusia, sehingga dengan CCD yang ada hanya bisa merekonstruksi hologram dan tidak dapat merekam proses difusi larutan. Untuk dapat merekam proses difusi dibutuhkan CCD khusus yang diharapkan dapat mendeteksi frekuensi cahaya yang sangat tinggi mendekati  $10^{14}$  Hz.
2. Interface yang digunakan pada penelitian ini adalah interface yang paling murah dikelasnya sehingga kemungkinan sensitivitasnya kurang. Dari beberapa kali uji coba sistem secara keseluruhan, CCD dan program masih sulit untuk menterjemahkan kondisi terang untuk orde nol (0). Bagaimanapun juga kondisi terang sempurna saat rekonstruksi sulit didapatkan, karena masih terdapat bintik

hitam yang dapat diterjemahkan oleh program sebagai pixel. Hal ini yang perlu terus dikaji dan diteliti sehingga kondisi ideal akan didapatkan.

3. Untuk nilai koefisien difusi yang baik dibutuhkan proses perekaman yang baik, karena proses perekaman yang tidak berkualitas akan terlihat saat rekonstruksi hologram, sehingga mempengaruhi nilai akhir koefisien difusi sistem isothermal terner yang ada.
4. Program penelitian ini masih belum dilengkapi dengan perhitungan
  - a. Rata-rata hasil dengan menggunakan rumus rata-rata berbobot (Bevington, 1969). Untuk pengembangan lebih lanjut, faktor bobot dapat disertakan ke dalam program.
  - b. Kriteria penolakan data yang disebut Kriteria Chauvenet (Bevington, 1969) sehingga data-data yang menyimpang jauh tidak diikutkan pada saat meratakan hasil akhir koefisien difusi sistem isothermal terner

Bagaimanapun juga analisis dengan program simulasi dengan mendayagunakan sensor CCD ini sangat teliti dan sangat membantu kerja peneliti yang berminat mengembangkan metode interferometri holografi, karena analisis hologram dengan metode manual sangat membutuhkan kerja laboratorium yang sangat tinggi. Untuk itu perlu dilengkapi dan diimbangi dengan piranti lain yang tidak murah seperti interface, CCD yang sensitivitasnya tinggi, komputer PC beserta printer yang memadai, dan program simulasi yang berkualitas tinggi.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

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

1. Teknik interferometri holografi penyinaran ganda dengan mendayagunakan sensor CCD dan program simulasi komputer berbahasa Delphi dapat digunakan sebagai instrumen alternatif pengukuran koefisien difusi sistem isothermal terner berdasarkan model matematik yang telah dijabarkan.
2. Otomasi analisis koefisien difusi sistem isothermal terner  $\text{NaNO}_3 - \text{KNO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  dengan mendayagunakan sensor CCD dan program simulasi komputer sudah dapat dilakukan, walaupun masih membutuhkan perbaikan program dan piranti pendukung lainnya.
3. Hasil analisis koefisien difusi sistem isothermal terner  $\text{NaNO}_3 - \text{KNO}_3 - \text{H}_2\text{O}$  dengan pendayagunaan sensor CCD dan program simulasi komputer yang telah dibuat adalah  $(1,44 \pm 0,05) \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$  dengan kesalahan relatif sebesar 3,5 %. Hasil ini sesuai dengan metode lain dan metode serupa dengan analisis manual. Jika dibandingkan dengan analisis manual yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya (Apsari dkk, 2001), analisis yang dilakukan pada penelitian ini lebih unggul dan lebih presisi.



## 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., misalnya otomasi sel difusi dengan pompa peristaltik. 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, yang pada penelitian ini belum dirancang. Disamping itu perlu perancangan Shutter digital, karena shutter yang ada hanya mampu menyinari plat film holografi maksimal 1 detik.

Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan otomasi analisis koefisien difusi sistem isothermal terner dengan sistem otomasi real time dengan memanfaatkan transformasi fourier, dan memperhatikan pula piranti pendukung yang lebih sensitif seperti : interface, CCD, dan komputer PC.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Alberty, R.A. and Daniels, F. 1984. *Terjemahan Surdia, N.M. Kimia Fisika.* Penerbit Erlangga. Surabaya
2. Apsari, R. 1998. **Penentuan Koefisien Difusi Larutan Dengan Teknik Interferometri Holografi, Tesis, Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada.** Yogyakarta.
3. Apsari, R. 1999. **Aplikasi Interferometri Holografi Penyinaran Ganda Untuk Menentukan Koefisien Difusi Sistem Isotermal Larutan Biner KCl-H<sub>2</sub>O.** Laporan Penelitian Universitas Airlangga.
4. Apsari, R, Moh. Yasin, warsoto, 2001. **Penentuan Koefisien Difusi Sistem Termer Dengan Metode Interferometri Holografi.** *J. MIPA Vol. 6 No.2 : 75-80.*
5. Bescey, 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.
6. Bochner, N. dan Pipman, J. 1976. **A Simple Method Of Determining Diffusion Constant By Holographic Interferometry.** *J.Phys. D : Applied Pysics.*, Vol.9, 1825-1830, Printed in Great Britain.
7. Crank, J. 1970. **The Mathematics Of Diffusion.** Oxford University Press, London.
8. Gray, G. dan Fenichel, H. 1979. **Holographic Interferometric Study Of Liquid Diffusion.** *Applied Optics*, vol.18, No.3, 343-345, USA.
9. 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.
10. Izzarra C. dan Vallee O. 1994. **On the Use of Linear CCD Image Sensors in Optics Experiments.** *Am. J. Phys.* 62 (4), 3 -7.
11. Laud, BB. Penterjemah : Sutanto. 1988. **Laser dan Optik Non Linier.** Penerbit Universitas Indonesia. Jakarta.
12. Lea, W dan Work, W.M. 1993. **Two-wavelength Interferometric Technique for Measuring The Refractive index of Salt-water Solution.** *Applied Optics.* Vol. 32, 3992-4002.
13. Linder, P.W. Nassimbeni, L.R. Polson, A. and Rogers, A.L. 1976. **The Diffusion Coefficient of Sucrosa in Water.** *J. Chem. Educ.*, 53, 330-332.

14. Mathew, R., Paduano, L., Albright, J.G., Miller, D.G. dan Rard, J.A. 1989. **Isothermal Diffusion Coefficient for NaCl - MgCl<sub>2</sub> H<sub>2</sub>O at 25<sup>0</sup>C, 4. Solute Concentration Ratio 1 : 3.** *J. Phys. Chem.*, 93, 6875-6878.
15. Rakhmanto, WH. 1995. **Koefisien Pertautan Fluks-Gaya Sistem Difusif C<sub>6</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>- H<sub>2</sub>O.** *Tesis*, Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
16. Richerzhagen, B. 1996. **Interferometer for Measuring the Absolute Refractive Index of Liquid Water as a Function of Temperatur at 1.06  $\mu$ m.** *Applied Optics*. Vol.35, No.10, 1650-1653.
17. Sirohi, RS. 1985. **A Course Of experiments With He-Ne Laser .** Wiley Esstern Limited, New Dehli.
18. Sunyono. 1997. **Koefisien Difusi dan Pertautan Fluks-Gaya Sistem Isotermal Larutan Terner NaNO<sub>3</sub>-KNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O.** *Tesis*, Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
19. Vest, C. 1979. **Holographic Interferometry.** John Wiley and Sons, Toronto, Canada.
20. Weast, R. C. 1972. Ed., **Handbook of Chemistry and Physics**, CRC Press, Clevela

## LAMPIRAN I

Penyelesaian Persamaan Koefisien Difusi Larutan (D)

$$C(x,t) = \frac{C_1 + C_2}{2} + \frac{(C_1 - C_2)\pi}{2\sqrt{2}} \int_0^y \exp(-z^2) dz \quad (1)$$

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

$$C(x,t) = K \int_0^y \exp(-z^2) dz \quad (3)$$

$$\text{Dari tabel diketahui bahwa } e^{-z^2} = 1 - z^2 + \frac{1}{2!} z^4 - \frac{1}{3!} z^6 + \frac{1}{4!} z^8 \dots \quad (4)$$

Dengan mengintegrasikan dua suku pertama pada persamaan (4), maka :

$$\int_0^y e^{-z^2} dz = \left[ z - \frac{1}{3} z^3 \right]_0^y = \frac{x}{2(Dt)^{1/2}} - \frac{x^3}{24(Dt)^{3/2}} \quad (5)$$

$$\text{sehingga } C(x,t) = K \left[ \frac{x}{2(Dt)^{1/2}} - \frac{x^3}{24(Dt)^{3/2}} \right] \quad (6)$$

Karena ketergantungan linear  $C(x,t)$  terhadap  $n(x,t)$  maka :

$$\frac{\partial}{\partial t} C(x,t) = \frac{\partial}{\partial t} n(x,t) = K \frac{\partial}{\partial t} \left[ \frac{x}{2(Dt)^{1/2}} - \frac{x^3}{24(Dt)^{3/2}} \right] \quad (7)$$

Berdasarkan persamaan (7), hasil turunan indeks bias  $n(x,t)$  terhadap waktu ( $t$ ) disajikan pada persamaan (8) berikut.

$$\frac{\partial n(x,t)}{\partial t} = K \left[ \frac{x^3}{16D^{3/2} t^{3/2}} - \frac{x}{4D^{1/2} t^{3/2}} \right] \quad (8)$$

$$\frac{\partial n(x,t)}{\partial t} = -\frac{Kx \left[ 1 - \frac{x^2}{4Dt} \right]}{4(Dt^3)^{1/2}} \quad (9)$$

$$\frac{\partial n(x,t)}{\partial t} = -\frac{Kx \exp(-y^2)}{4(Dt^3)^{1/2}} \quad (10)$$

Perkalian silang persamaan 2.12 dan 2.13 pada Bab II, menghasilkan :

$$(2m+1) \frac{\partial n(x_2,t)}{\partial t} = (2p+1) \frac{\partial n(x_1,t)}{\partial t} \quad (11)$$

Sulihan persamaan (10) ke persamaan (11) :

$$-(2m+1) \frac{Kx_2 \exp(-y_2^2)}{4(Dt^3)^{1/2}} = -(2p+1) \frac{Kx_1 \exp(-y_1^2)}{4(Dt^3)^{1/2}}$$

$$(2m+1)Kx_2 \exp(-y_2^2)4(Dt^3)^{1/2} = (2p+1)Kx_1 \exp(-y_1^2)4(Dt^3)^{1/2}$$

$$(2m+1)x_2 \exp(-y_2^2) = (2p+1)x_1 \exp(-y_1^2)$$

$$\frac{\exp(-y_2^2)}{\exp(-y_1^2)} = \frac{(2p+1)x_1}{(2m+1)x_2}$$

$$\frac{e^{-\frac{x_2^2}{4Dt}}}{e^{-\frac{x_1^2}{4Dt}}} = \frac{(2p+1)x_1}{(2m+1)x_2}$$

$$-\frac{1}{4Dt}(x_2^2 - x_1^2) = \ln \frac{(2p+1)x_1}{(2m+1)x_2}$$

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

(12)

**LAMPIRAN 2****Penyelesaian Ralat Rambatan Koefisien Difusi Larutan**

Dari lampiran 1 diperoleh rumusan Koefisien Difusi Larutan :

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

Karena  $p=m$ , maka :

$$D = \frac{(x_1^2 - x_2^2)}{4t \ln \left( \frac{x_1}{x_2} \right)} \quad (2)$$

Rumus ralat rambatan untuk persamaan (2) adalah :

$$S_D^2 = \left( \frac{\partial D}{\partial x_1} S_{x_1} \right)^2 + \left( \frac{\partial D}{\partial x_2} S_{x_2} \right)^2 + \left( \frac{\partial D}{\partial t} S_t \right)^2 \quad (3)$$

Persamaan (2) diturunkan terhadap  $x_1$ ,  $x_2$ , dan  $t$  dengan rumus :

$$\frac{d\left(\frac{u}{v}\right)}{dt} = \frac{v \frac{du}{dt} - u \frac{dv}{dt}}{v^2} \quad (4)$$

Turunan persamaan (2) terhadap  $x_1$  dan  $x_2$  dapat diselesaikan dengan pemisalan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} u &= (x_1^2 - x_2^2) \\ v &= \ln \left( \frac{x_1}{x_2} \right) = \ln x_1 - \ln x_2 \end{aligned} \quad (5)$$

Turunan persamaan (2) terhadap  $x_1$  adalah sebagai berikut :

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

$$\frac{\partial D}{\partial x_1} = \frac{1}{4l} \left\{ \frac{2x_1^2 \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right) - (x_1^2 - x_2^2)}{x_1 \left[ \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right) \right]^2} \right\} \quad (6)$$

Turunan persamaan(2) terhadap  $x_2$  adalah sebagai berikut :

$$\frac{\partial D}{\partial x_2} = \frac{1}{4l} \frac{\partial}{\partial x_2} \left\{ \frac{x_1^2 - x_2^2}{\ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right)} \right\} = \frac{1}{4l} \frac{\ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right)(-2x_2) - (x_1^2 - x_2^2)\left(-\frac{1}{x_2}\right)}{\left[ \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right) \right]^2}$$

$$\frac{\partial D}{\partial x_2} = \frac{1}{4l} \left\{ \frac{(x_1^2 - x_2^2) - 2x_2^2 \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right)}{x_2 \left[ \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right) \right]^2} \right\} \quad (7)$$

Turunan persamaan (2) terhadap  $l$  adalah sebagai berikut :

$$\frac{\partial D}{\partial l} = \frac{(x_1^2 - x_2^2)}{4l \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right)} \left(-\frac{1}{l^2}\right) = \frac{(x_2^2 - x_1^2)}{4l^2 \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right)} \quad (8)$$

Kuadrat ralat rambatan koefisien difusi larutan adalah :

$$S_D^2 = \left\{ \frac{1}{4l} \left[ \frac{2x_1^2 \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right) - (x_1^2 - x_2^2)}{x_1 \left[ \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right) \right]^2} \right] \right\}^2 (S_{x_1})^2 + \left\{ \frac{1}{4l} \left[ \frac{(x_1^2 - x_2^2) - 2x_2^2 \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right)}{x_2 \left[ \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right) \right]^2} \right] \right\}^2 (S_{x_2})^2 + \left\{ \frac{(x_2^2 - x_1^2)}{4l^2 \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right)} \right\}^2 (S_l)^2 \quad (9)$$

Ralat rambatan diperoleh dengan mengakarkan sisi kanan persamaan (9).

LAMP IRAN 3LISTING PROGRAM

```

unit Holo1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons, ExtCtrls;

type
  TForm1 = class(TForm)
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    BitBtn1: TBitBtn;
    BitBtn2: TBitBtn;
    BitBtn3: TBitBtn;
    BitBtn4: TBitBtn;
    Image1: TImage;
    Shape1: TShape;
    Shape2: TShape;
    procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn4Click(Sender: TObject);
    procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form1: TForm1;

implementation

uses Holo2, Holo3, Holo4;

{$R *.DFM}

procedure TForm1.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin
  form2.show;
  form1.hide;
end;

```



```

procedure TForm1.BitBtn2Click(Sender: TObject);
begin
  application.terminate;
end;

procedure TForm1.BitBtn4Click(Sender: TObject);
begin
  form3.show;
  form1.hide;
end;

procedure TForm1.BitBtn3Click(Sender: TObject);
begin
  form4.show;
  form1.hide;
end;

end.

unit Holo2;

interface

uses
  Printers, Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  Menus, StdCtrls, Buttons, ExtDlgs, ExtCtrls, ComCtrls, ToolWin, ImgList;

type
  TForm2 = class(TForm)
    MainMenu1: TMainMenu;
    File1: TMenuItem;
    Ulang1: TMenuItem;
    Bukagambar1: TMenuItem;
    Cetakgambar1: TMenuItem;
    N1: TMenuItem;
    Keluar1: TMenuItem;
    Prosedur1: TMenuItem;
    Caramelakukanperhitungan1: TMenuItem;
    OpenPictureDialog1: TOpenPictureDialog;
    PrintDialog1: TPrintDialog;
    PrinterSetupDialog1: TPrinterSetupDialog;
    BitBtn1: TBitBtn;
    BitBtn2: TBitBtn;
    BitBtn3: TBitBtn;
    BitBtn4: TBitBtn;
  end;

```

```

Panel1: TPanel;
Image1: TImage;
GroupBox1: TGroupBox;
Label16: TLabel;
Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
Label19: TLabel;
Label20: TLabel;
Edit1: TEdit;
Edit2: TEdit;
Edit3: TEdit;
Edit4: TEdit;
Edit5: TEdit;
Memo1: TMemo;
Memo2: TMemo;
GroupBox2: TGroupBox;
Label22: TLabel;
Label23: TLabel;
Edit7: TEdit;
Edit8: TEdit;
Label25: TLabel;
Label26: TLabel;
Edit10: TEdit;
Edit11: TEdit;
Label24: TLabel;
Edit9: TEdit;
Edit12: TEdit;
Label27: TLabel;
Button1: TButton;
GroupBox3: TGroupBox;
Edit6: TEdit;
procedure BitBtn4Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
procedure Image1MouseDown(Sender: TObject; Button: TMouseButton;
  Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
procedure Keluar1Click(Sender: TObject);
procedure Ulang1Click(Sender: TObject);
procedure Bukagambar1Click(Sender: TObject);
procedure Cetakgambar1Click(Sender: TObject);
procedure Caramelakukanperhitungan1Click(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);

private

```

```

{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;

var
  Form2: TForm2;
  Xd, Yd: Array [1..10] of integer;
  Count: Integer;
implementation

uses Holo1, Holo3;

{$R *.DFM}

procedure TForm2.BitBtn4Click(Sender: TObject);
begin
  form2.hide;
  form1.show;
end;

procedure TForm2.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin
  if OpenPictureDialog1.Execute then
  begin
    Image1.Picture.LoadFromFile(OpenPictureDialog1.FileName);
  end;
end;

procedure TForm2.Image1MouseDown(Sender: TObject; Button: TMouseButton;
  Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
begin
  Inc(Count);
  Xd[Count]:= x;
  Yd[Count]:= y;
  If (Count Mod 2)= 1 Then
    Memo1.Lines.Add(Inttostr(Count)+' : '+Inttostr(Xd[Count])+' '+Inttostr(Yd[Count]))
  Else
    Memo2.Lines.Add(Inttostr(Count)+' : '+Inttostr(Xd[Count])+' '+Inttostr(Yd[Count]));
  If (Count Mod 2)= 1 Then
    edit8.text:=(inttostr(Xd[count]))
  else
    edit9.text:=(inttostr(Xd[count]));
  If (Count Mod 2)= 1 Then
    edit11.text:=(inttostr(Yd[count]))

```

```

else
  edit12.text:=(inttostr(Yd[count]))
end;

procedure TForm2.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  Count:=0;
end;

procedure TForm2.BitBtn2Click(Sender: TObject);
begin
  Memo1.Clear;
  Memo2.Clear;
  Memo1.Lines.Add('Data Ganjil');
  Memo2.Lines.Add('Data Genap');
  edit1.clear;
  edit2.clear;
  edit3.clear;
  edit4.clear;
  edit5.clear;
  edit6.clear;
  edit7.clear;
  edit8.clear;
  edit9.clear;
  edit10.clear;
  edit11.clear;
  edit12.clear;
  Count:=0;
end;

procedure TForm2.BitBtn3Click(Sender: TObject);
Var X1,Y1,i: Integer;
    ImgRect,PrnRect: TRect;
begin
  PrinterSetupDialog1.Execute;
  X1:= Image1.Width;
  Y1:= Image1.Height;
  ImgRect:=Rect(0,0,X1,Y1);
  PrnRect:=Rect(0,0,X1,Y1);
  Printer.BeginDoc;
  Printer.Canvas.TextOut(10,10,' Data Ganjil      Data Genap');
  For i:=1 to Round(count/2) Do
    Printer.Canvas.TextOut(15,(i+1)*10,Inttostr(Xd[i])+','+Inttostr(Yd[i])+
'+Inttostr(Xd[i+1])+','+Inttostr(Yd[i+1]));
  Printer.Canvas.CopyRect(PrnRect,Form2.Canvas,ImgRect);

```

```

Printer.EndDoc;
end;

procedure TForm2.Keluar1Click(Sender: TObject);
begin
  form2.hide;
  form1.show;
end;

procedure TForm2.Ulang1Click(Sender: TObject);
begin
  Memo1.Clear;
  Memo2.Clear;
  Memo1.Lines.Add('Data Ganjil');
  Memo2.Lines.Add('Data Genap');
  edit1.clear;
  edit2.clear;
  edit3.clear;
  edit4.clear;
  edit5.clear;
  Count:=0;

end;

procedure TForm2.Bukagambar1Click(Sender: TObject);
begin
  if OpenPictureDialog1.Execute then
  begin
    Image1.Picture.LoadFromFile(OpenPictureDialog1.FileName);
  end;

end;

procedure TForm2.Cetakgambar1Click(Sender: TObject);
Var X1,Y1,i: Integer;
    ImgRect,PmRect: TRect;
begin
  PrinterSetupDialog1.Execute;
  X1:= Image1.Width;
  Y1:= Image1.Height;
  ImgRect:=Rect(0,0,X1,Y1);
  PmRect:=Rect(0,0,X1,Y1);
  Printer.BeginDoc;
  Printer.Canvas.TextOut(10,10,' Data Ganjil      Data Genap');
  For i:=1 to Round(count/2) Do

```

```

Printer.Canvas.TextOut(15,(i+1)*10,Inttostr(Xd[i])+','+Inttostr(Yd[i])+
'+Inttostr(Xd[i+1])+','+Inttostr(Yd[i+1]));
Printer.Canvas.CopyRect(PrnRect,Form2.Canvas,ImgRect);
Printer.EndDoc;

end;

procedure TForm2.Caramelakukanperhitungan1Click(Sender: TObject);
begin
  form3.show;
  form1.hide;
end;

procedure TForm2.Button1Click(Sender: TObject);
var
  Xd1,Xd2,Xd3,Yd1,Yd2,Yd3,t,p,m:integer;
  X1,X2,D,Px1,Px2:real;
begin
  Xd1:=strtoint(edit7.text);Xd2:=strtoint(edit8.text);
  Xd3:=strtoint(edit9.text);
  Yd1:=strtoint(edit10.text);Yd2:=strtoint(edit11.text);
  Yd3:=strtoint(edit12.text);
  t:=strtoint(edit3.text);m:=strtoint(edit4.text);
  p:=strtoint(edit5.text);
  Px1:=sqrt((sqr(Xd2-Xd1))+sqr(Yd2-Yd1));
  Px2:=sqrt((sqr(Xd3-Xd2))+sqr(Yd3-Yd2));
  X1:=Px1*(0.025);
  X2:=Px2*(0.025);
  D:=(((X2*X2)-(X1*X1))/(4*t))/ln((((2*p)+1)*X1)/(((2*m)+1)*X2));
  groupbox3.visible:=true;
  edit1.Text:=floattostr(X1);
  edit2.Text:=floattostr(X2);
  edit6.Text:=floattostr(D);
  edit6.visible:=true;
end;

end.

unit Holo3;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons, ComCtrls;

```

```

type
  TForm3 = class(TForm)
    BitBtn1: TBitBtn;
    Memo1: TMemo;
    procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form3: TForm3;

implementation

uses
  Holo1;

{$R *.DFM}

procedure TForm3.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin
  form1.show;
  form3.hide;
end;

end.

unit Holo4;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons;

type
  TForm4 = class(TForm)
    BitBtn1: TBitBtn;
    procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }

```

```
end;  
  
var  
  Form4: TForm4;  
  
implementation  
  
uses Holo1;  
  
{SR *.DFM}  
  
procedure TForm4.BitBtn1Click(Sender: TObject);  
begin  
  form4.hide;  
  form1.show;  
end;  
  
end.
```



LAMPIRAN 4

FOTO\*FOTO SET UP PERALATAN PENELITIAN



1-1 APR 2003

PAMERAN