

DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI
PROYEK PENINGKATAN STAF DAN SARANA PERGURUAN TINGGI

**PENGUKURAN ETILEN
MENGUNAKAN DEFLEKSI FOTOTERMAL**

LAPORAN PENELITIAN

Oleh :
Drs. Pujiyanto, M.S.

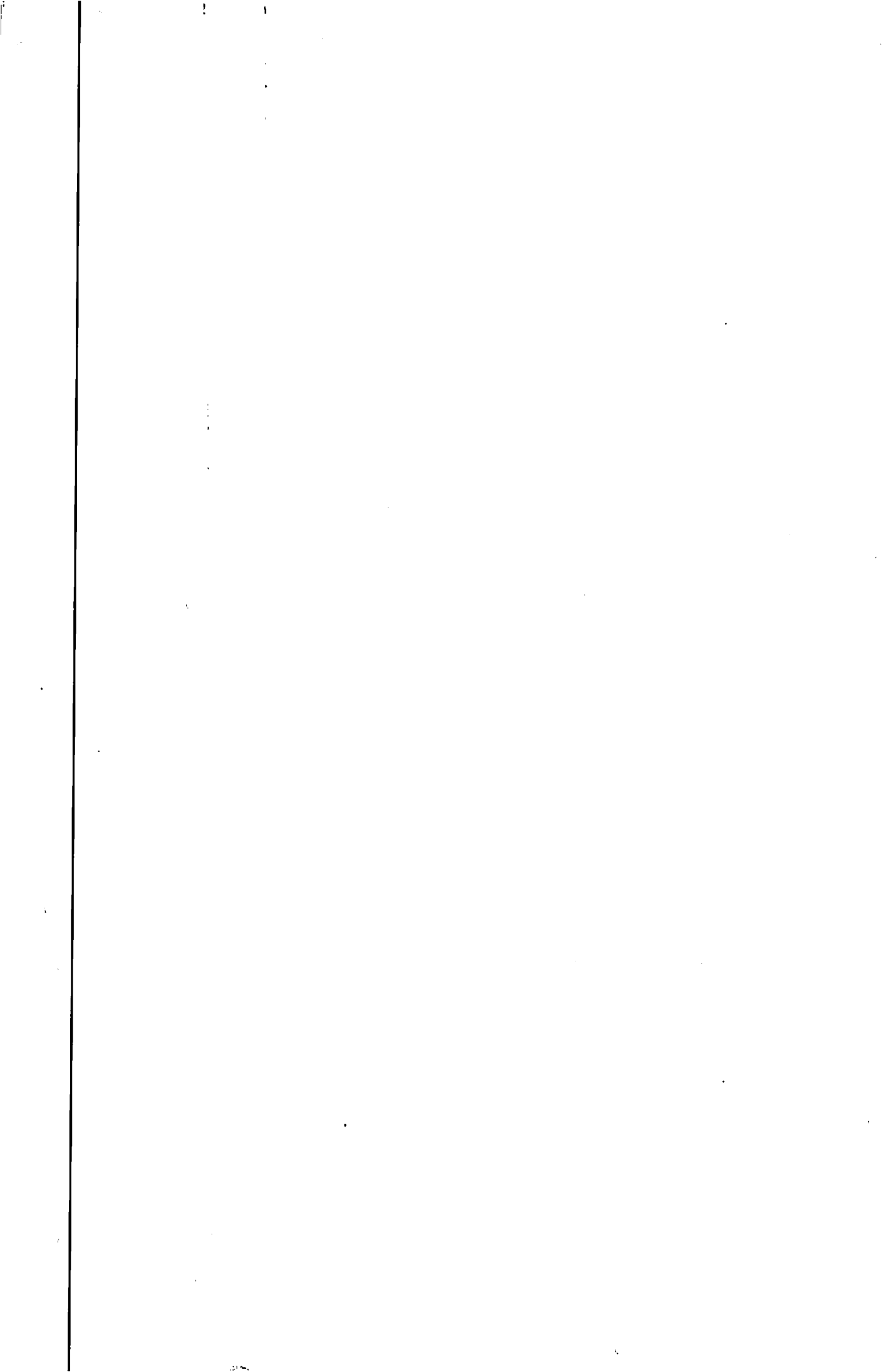
SELESAI

PAMEKAN

01 SEP 1997



FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS AIRLANGGA



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI
PROYEK PENINGKATAN STAF DAN SARANA PERGURUAN TINGGI

**PENGUKURAN ETILEN
MENGUNAKAN DEFLEKSI FOTOTERMAL**

LAPORAN PENELITIAN

Oleh :
Drs. Pujiyanto, M.S.

30002699631412 - 2

MILITARI
PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA



FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS AIRLANGGA

**PENELITIAN BERJUDUL
PENGUKURAN ETILEN
MENGUNAKAN DEFLEKSI FOTOTERMAL**

TERDAFTAR PADA;
LEMBAGA PENELITIAN
UNIVERSITAS AIRLANGGA
Nomor III LP II 1996/BLI
Surabaya, 29-2-1996
Ketua,



Prof. Dr. Noor Cholies Zaini
NIP. 130355372

Yang dipersiapkan dan disusun oleh
Drs. Pujiyanto, M.S.*
telah diseminarkan di Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Gadjah Mada

3000 269963141




Surabaya, 18 Desember 1995

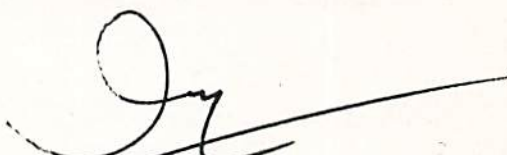
Mengetahui :

Ketua Jurusan Fisika
FMIPA Universitas Airlangga,

Kepala Laboratorium Fisika
Eksperimental FMIPA
Universitas Airlangga,


Dr. H. Redjani
NIP. 130178012




Drs. Djajadi, M. Eng. Sc.
NIP. 130531752

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur ke hadirat Allah maka pengasih lagi maha penyayang atas limpahan rahmat dan hidayahnya pada penulis, sehingga dapat menyelesaikan laporan penelitian ini.

Sehubungan dengan terselesainya laporan ini, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Kusnianto dan Bapak Drs. Sunarto, MS (Dosen FMIPA UGM), serta Bapak Dr. Muslim (Kepala Laboratorium Fisika Atom dan Inti FMIPA UGM), atas segala fasilitas yang telah diberikan. Terima kasih serupa juga disampaikan kepada pimpinan UNAIR, UGM, Tim Basic Science dan P2S2-PT sehingga penulis dapat melakukan penelitian ini.

Akhirnya penulis tak lupa menyampaikan pula terima kasih dan penghargaan yang tulus kepada istri dan anak, atas kesabaran dan dukungannya yang telah diberikan sehingga penulis sepenuhnya dapat memusatkan perhatian selama melaksanakan kegiatan penelitian.

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
A. Laser Co_2	5
B. Laser Helium-Neon	12
C. Pengaruh agihan suhu sampel terhadap lintasan optis	15
D. Model teori tentang agihan suhu pada suatu sampel	17
E. Position Sensitif Detektor	23
III. METODE PENELITIAN	29
A. Peralatan yang digunakan	29
B. Prosedur kerja	29
C. Metode Analisis Hasil	31
IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	33
A. Hasil Penelitian	33
B. Pembahasan	37
V. KESIMPULAN DAN SARAN	40
A. Kesimpulan	40
B. Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
1	Sebagian aras energi Vibrasi-rotasi molekul Co_2	8
2	Garis besar konstruksi laser Co_2 buatan Universitas Nymegen Belanda	11
3	Aras-aras energi atom He dan Ne pada laser He-Ne	14
4	Gambar skematis kostruksi laser gas He-Ne	15
5	Gambar geometris defleksi lintasan optis karena pengaruh perubahan indeks bias	16
6	Model untuk menentukan agihan suhu pada sampel	17
7	Gandengan P-N sebah detektor optis semi konduktor	23
8	Struktur PSD satu dimensi beserta rangkaian ekivalennya	25
9	Tanggapan spektral PSD 1L5	27
10	Pasangan (setup) eksperimen pengu- kuran gas etilen	30
11	Susunan pasangan (setup) eksperimen karakterisasi PSD 1L5	31
12	Hasil eksperimen signal defleksi sebagai fungsi garis-garis laser Co_2	33
13	Grafik hasil fitting data tegangan keluaran V_2 detektor posisi PSD 1L5 sebagai fungsi pergeseran	35
14	Grafik hasil fitting data tegangan keluaran V_1 detektor posisi PSD 1L5 sebagai fungsi pergeseran	36

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1 Berbagai garis laser yang muncul pada laser Co_2	9
2 Tegangan keluaran PSD IL5 sebagai fungsi posisi pada frekuensi modulasi 170 Hz	34

I.PENDAHULUAN

A.Latar Belakang Masalah

Di dalam lapangan fisika, salah satu aplikasi laser adalah untuk sistem spektroskopi defleksi fototermal. Spektroskopi defleksi fototermal dapat memberikan suatu informasi mengenai sifat atom/watak suatu bahan melalui gejala interaksi energi dengan bahan tersebut. Salah satu pemakaian spektroskopi defleksi fototermal adalah dalam bidang biologi dan pertanian. Dalam bidang-bidang itu, sistem tersebut dapat digunakan untuk mendeteksi produksi etilen (C_2H_4) lokal pada daun dalam pertumbuhan tanaman (De Vries, et al., 1991). Etilen yang diproduksi oleh tanaman berkonsentrasi sangat rendah. Gas etilen yang diproduksi oleh tanaman tersebut berperan dalam hal : proses pertumbuhan dan perkembangan, penguningan bunga dan pematangan buah. Pengukuran konsentrasi etilen yang dikeluarkan oleh tanaman dari waktu ke waktu akan memberikan informasi yang sangat berharga dalam bidang biologi dan pertanian untuk keperluan rekayasa. Teknik spektroskopi defleksi fototermal dalam pemanfaatannya pada bidang biologi dan pertanian terus dikembangkan, sehingga dapat memiliki kemampuan melacak gas yang berkonsentrasi sangat rendah. Fournier dan Boccara (1980) dalam usahanya mengembangkan teknik spektroskopi defleksi fototermal telah berhasil mencapai konsentrasi lacakan minimum 5 ppb.

Mengingat konsentrasi gas etilen yang dikeluarkan tanaman berkonsentrasi sangat rendah, maka pengembangan teknik spektroskopi defleksi fototermal yang mampu melacak konsentrasi gas yang sangat rendah mutlak diperlukan.

Dasar belerjanya sistem spektroskopi defleksi fototermal adalah berdasarkan prinsip penyerapan energi cahaya berpanjang gelombang tertentu yang menyebabkan perubahan suhu dan indeks bias suatu sampel. Perubahan indeks bias tersebut dapat dideteksi dengan mengamati defleksi berkas laser penguji yang dilewatkan pada sampel. Defleksi yang terjadi itu sangat kecil sekali (dalam orde mikrometer). Sistem spektroskopi defleksi fototermal telah dirancang dan dibuat oleh Laboratorium Fisika Atom dan Inti UGM. Dalam upaya mengembangkan sistem tersebut, maka di sini dicoba diterapkan sistem spektroskopi yang telah ada tersebut untuk pengukuran etilen (C_2H_4). Dengan menerapkan sistem spektroskopi defleksi fototermal yang telah ada tersebut untuk pengukuran gas etilen diharapkan segera dapat diketahui kekurangan-kekurangan yang ada pada sistem. Dengan diketahuinya kekurangan-kekurangan yang ada maka memungkinkan untuk melakukan penyempurnaan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dikemukakan pada latar belakang masalah, maka dalam penelitian ini yang menjadi permasalahan adalah sebagai berikut.

- 1) Apakah dengan memvariasi garis-garis laser pada laser pemompa pada pengukuran konsentrasi tertentu gas etilen dapat memberikan signal defleksi yang bermacam-macam ?
- 2) Apakah signal tegangan keluaran detektor posisi PSD 1L5 linier terhadap posisi berkas laser penguji ?.

C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini mempunyai tujuan ingin mengungkapkan bahwa sistem spektroskopi yang telah dibuat dapat digunakan untuk pengukuran gas etilen. Selain itu penelitian ini juga bertujuan ingin mengungkapkan watak PSD 1L5 terhadap berkas laser penguji yang jatuh pada permukaan sensitifnya. Dengan diketahuinya watak tersebut maka dalam penggunaannya untuk pengukuran konsentrasi gas etilen dapat memberikan hasil yang tidak lagi meragukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Prinsip dasar bekerjanya sel fototermal yang merupakan komponen spektroskopi defleksi fototermal adalah berdasarkan prinsip penyerapan energi berpanjang gelombang tertentu yang menyebabkan perubahan suhu dan indeks bias pada sampel di dalam sel fototermal. Sumber energi cahaya yang digunakan tersebut disesuaikan dengan jenis sampel yang diteliti. Untuk sampel gas etilen, sumber energi cahaya yang digunakan adalah laser CO_2 , karena pada salah satu garis laser CO_2 tersebut (yaitu garis 10P14) etilen menyerap sangat kuat (Joko Wasono, 1990) dengan bentuk spektrum serapan seperti pada lampiran - 1. Terjadinya serapan energi laser pemompa oleh etilen diindikasikan dengan perubahan indeks bias etilen. Perubahan indeks bias itu dideteksi melalui defleksi berkas laser penguji. Besarnya sudut defleksi ϕ bagi berkas laser penguji yang kolinier dengan berkas laser pemompa adalah sebagai berikut.

$$\phi = \frac{\partial n}{\partial T} \frac{P}{K \pi^2 X_0} [1 - \exp(-\alpha l)] [1 - \exp(-X_0/a^2)] \quad (1)$$

dengan ketentuan P = amplitudo modulasi daya laser pemompa, K = konduktivitas termal, X_0 = jarak antara

intensitas maksimum berkas pemompa dan penguji, l = panjang daerah tumpang tindih berkas pemompa dan penguji, dan a = ruji berkas pemompa pada penurunan intensitas sebesar e (Founier and Boccara, 1980). Untuk nilai $\alpha l \ll 1$ maka persamaan (1) dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\phi = \frac{\partial n}{\partial T} \frac{P \alpha l}{K \pi^2 X_0} \left[1 - \exp\left(-\frac{X_0^2}{a^2}\right) \right] \quad (2)$$

Terlihat pada persamaan (2) bahwa amplitudo sudut defleksi nilainya sebanding dengan amplitudo modulasi daya laser pemompa, koefisien serapan radiasi dan panjang daerah tumpang tindih antara berkas penguji dengan berkas pemompa. Sudut defleksi yang terjadi tersebut dapat dideteksi memakai detektor yang sensitif terhadap posisi (Position sensitif detector = PSD). Karena dalam penelitian pengukuran etilen menggunakan defleksi fototermal melibatkan pemakaian laser CO_2 dan PSD, maka dituntut pemahaman yang baik mengenai dua peranti tersebut. Mengingat hal itu maka dalam bab ini akan diuraikan tentang laser CO_2 dan PSD.

A. Laser CO_2

Laser CO_2 merupakan sumber cahaya koheren pada panjang gelombang di daerah inframerah. Spektrum pancaran inframerah pada laser CO_2 itu muncul sebagai akibat transisi radiasi di antara aras-aras vibrasi molekul CO_2

yang terdiri atas tiga ragam dasar (ragam simetri, ragam lengkung dan ragam anti simetri). Keadaan vibrasi tertentu suatu molekul CO_2 dinotasikan (n_1, n_2^1, n_3) , dengan ketentuan n_1, n_2 dan n_3 masing-masing adalah bilangan kuantum ν_1, ν_2 dan ν_3 yang dimiliki molekul CO_2 . Indeks atas pada bilangan kuantum n_2 menyatakan cacah degenerasi vibrasi yang dapat bernilai $l = n_2, n_2 - 2, \dots, 1, 0$.

Aras-aras energi $(1, 0^0, 0)$ dan $(0, 2^0, 0)$ berada sangat dekat sekali. Terjadinya resonansi dekat antara aras-aras energi itu menyebabkan gangguan yang menghasilkan suatu fungsi diri campuran bagi kedua aras energi tersebut. Dengan adanya gangguan tersebut maka penandaan $(1, 0^0, 0)$ dan $(0, 2^0, 0)$ bagi aras-aras energi tersebut tidak tepat. Karena fungsi gelombang setelah terjadi gangguan merupakan campuran antara fungsi gelombang keadaan $(1, 0^0, 0)$ dan fungsi keadaan $(0, 2^0, 0)$, maka penandaan yang tepat bagi aras energi tersebut adalah $(1, 0^0, 0, 0, 2^0, 0)_I$ dan $(1, 0^0, 0, 0, 2^0, 0)_{II}$. Penandaan keadaan tersebut diperjanjikan bahwa keadaan $(1, 0, 0, 0, 2, 0)_I$ menandai keadaan dengan energi yang lebih rendah dibandingkan keadaan $(1, 0, 0, 0, 2, 0)_I$. Transisi dari keadaan vibrasi $(0, 0^0, 1)$ ke keadaan $(1, 0^0, 0, 0, 2^0, 0)_I$ dan $(1, 0^0, 0, 0, 2^0, 0)_{II}$ masing-masing memberikan panjang gelombang sekitar $10,4 \mu\text{m}$ (pita $10,4 \mu\text{m}$) dan $9,4 \mu\text{m}$ (pita $9,4 \mu\text{m}$).

Selain bervibrasi molekul CO_2 juga berotasi. Deretan aras rotasi berkedudukan pada tiap-tiap aras keadaan

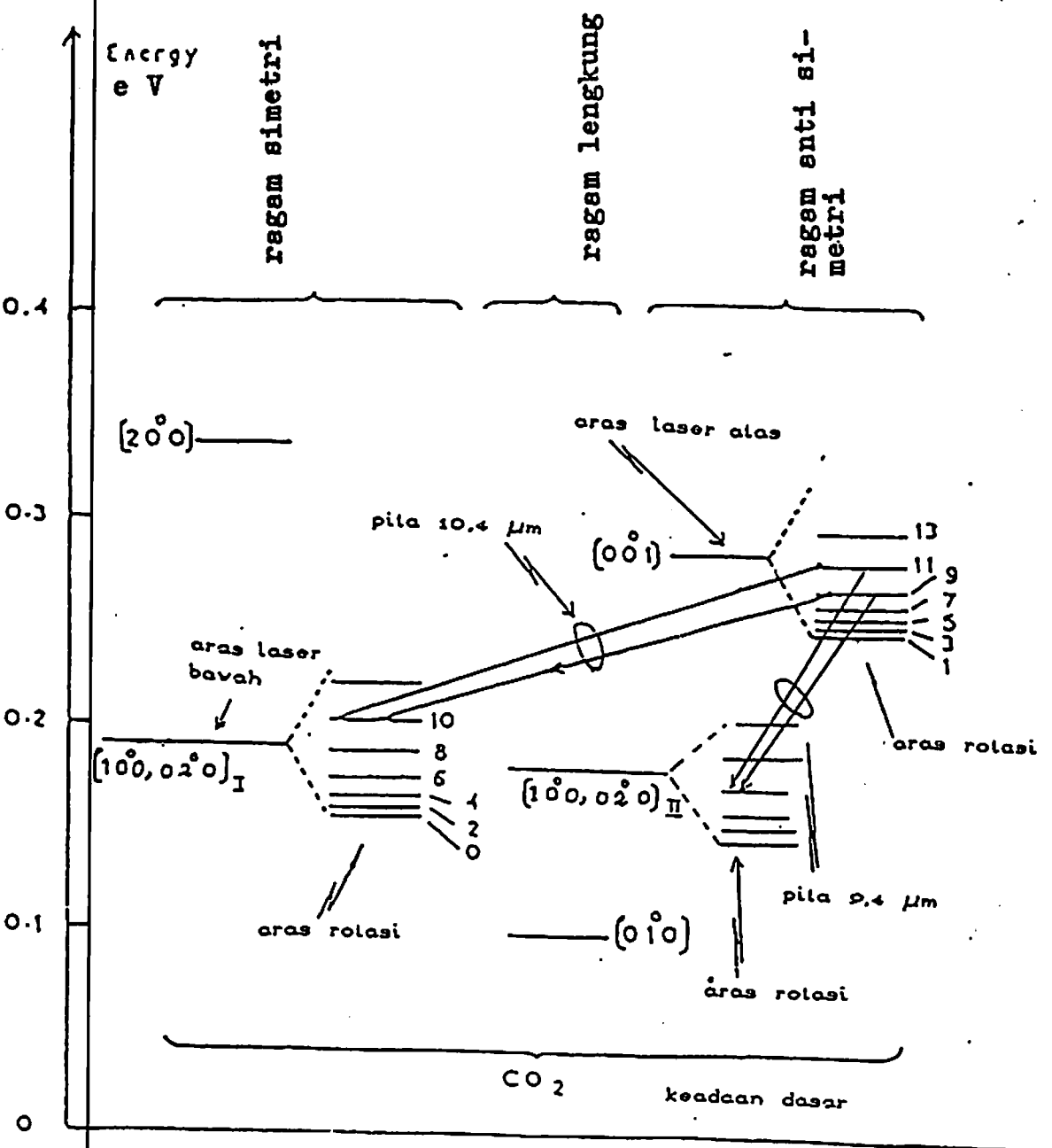
vibrasi. Bilangan kuantum bagi aras rotasi dilambangkan dengan huruf J yang dapat bernilai 0, 1, 2, ... Sebagian aras energi vibrasi rotasi molekul CO₂ yang menghasilkan transisi laser ditunjukkan pada gambar-1 (Duley, 1976).

Aturan seleksi bagi transisi antara berbagai keadaan vibrasi dan rotasi adalah sebagai berikut (Duley, 1976).

$$\text{Transisi vibrasi : } \Delta n = 1, \quad \Delta l = 0, \pm 1 \quad (3)$$

$$\text{Transisi rotasi : } \Delta J = 0, \pm 1$$

Transisi antara berbagai aras energi vibrasi-rotasi yang memenuhi aturan seleksi persamaan (3) jumlahnya sangat banyak, sehingga garis-garis laser yang mungkin dihasilkan jumlahnya sangat banyak juga. Penandaan suatu garis laser tertentu dilambangkan dengan 10P(J), 10R(J), 9F(J) dan 9R(J), dengan ketentuan angka 10 menyatakan pita 10,4 μ m, angka 9 menyatakan pita 9,4 μ m, huruf P melambangkan transisi dengan nilai $\Delta J = 1$, huruf R melambangkan transisi dengan nilai $\Delta J = -1$ dan J menyatakan nilai bilangan kuantum rotasi mana yang dituju oleh suatu transisi. Berbagai garis laser yang muncul pada laser CO₂ diberikan pada tabel-1 (Duley, 1976).



Gambar-1 Sebagian aras energi vibrasi-rotasi molekul CO₂

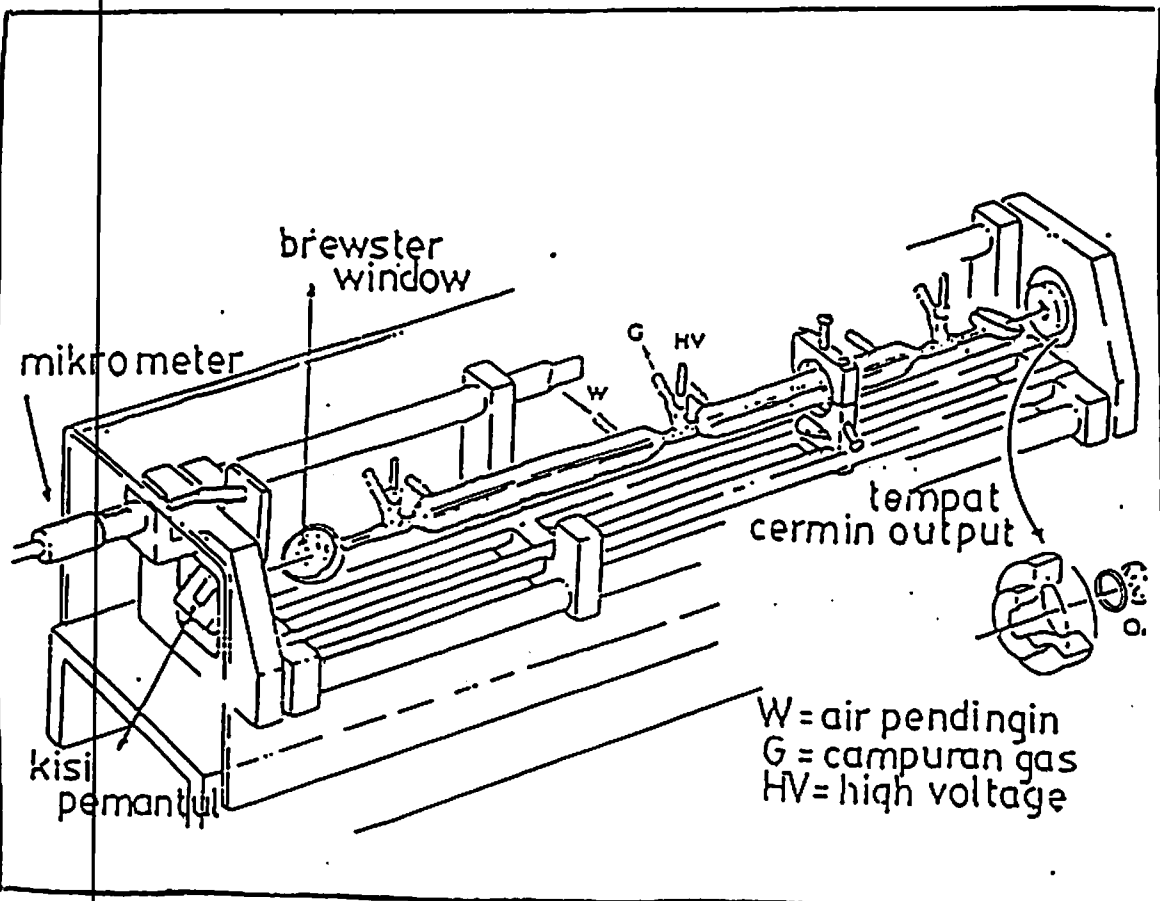
Tabel-1 : Berbagai garis laser yang muncul pada laser CO₂.

Cabang P				Cabang R			
Pita 10,4 μm		Pita 9,4 μm		Pita 10,4 μm		Pita 9,4 μm	
Garis Laser	Panjang gelombang (μm)	Garis Laser	Panjang gelombang (μm)	Garis Laser	Panjang gelombang (μm)	Garis Laser	Panjang gelombang (μm)
10P (4)	10,4410	9P (4)	9,4285	10 R(4)	10,3655	9R (4)	9,3677
10P (6)	10,4585	9P (6)	9,4425	10 R(6)	10,3500	9R (6)	9,3555
10P (8)	10,4765	9P (8)	9,4581	10 R(8)	10,3335	9R (8)	9,3420
10P(10)	10,4945	9P(10)	9,4735	10R(10)	10,3190	9R(10)	9,3295
10P(12)	10,5135	9P(12)	9,4885	10R(12)	10,3010	9R(12)	9,3172
10P(14)	10,5326	9P(14)	9,5045	10R(14)	10,2860	9R(14)	9,3055
10P(16)	10,5518	9P(16)	9,5195	10R(16)	10,2655	9R(16)	9,2937
10P(18)	10,5713	9P(18)	9,5360	10R(18)	10,2470	9R(18)	9,2825
10P(20)	10,5912	9P(20)	9,5525	10R(20)	10,2200	9R(20)	9,2715
10P(22)	10,6118	9P(22)	9,5690	10R(22)	10,2335	9R(22)	9,2605
10P(24)	10,6324	9P(24)	9,5860	10R(24)	10,2200	9R(24)	9,2500
10P(26)	10,6534	9P(26)	9,6035	10R(26)	10,2075	9R(26)	9,2397
10P(28)	10,6748	9P(28)	9,6210	10R(28)	10,1950	9R(28)	9,2295
10P(30)	10,6965	9P(30)	9,6391	10R(30)	10,1825	9R(30)	9,2197
10P(32)	10,7194	9P(32)	9,6575	10R(32)	10,1710	9R(32)	9,2103
10P(34)	10,7415	9P(34)	9,6760	10R(34)	10,1590	9R(34)	9,2010
10P(36)	10,7648	9P(36)	9,6941	10R(36)	10,1480	9R(36)	9,1920
10P(38)	10,7880	9P(38)	9,7140	10R(38)	10,1370	9R(38)	9,1830
10P(40)	10,8120	9P(40)	9,7335	10R(40)	10,1260	9R(40)	9,1740
10P(42)	10,8360	9P(42)	9,7535	10R(42)	10,1150	9R(42)	9,1660
10P(44)	10,8605	9P(44)	9,7735	10R(44)	10,1050	9R(44)	9,1575
10P(46)	10,8855	9P(46)	9,7940	10R(46)	10,0955	9R(46)	9,1490
10P(48)	10,9110	9P(48)	9,8150	10R(48)	10,0860	9R(48)	9,1420
10P(50)	10,9360	9P(50)	9,8360	10R(50)	10,0760	9R(50)	9,1340
10P(52)	10,9630	9P(52)	9,8575	10R(52)	10,0670	9R(52)	9,1265
10P(54)	10,9900	9P(54)	9,8790	10R(54)	10,0585		
10P(56)	11,0165	9P(56)	9,9010				
		9P(58)	9,9230				
		9P(60)	9,9465				

Di dalam tabung lucutan laser CO₂, keadaan vibrasi ($0^0 1$) molekul CO₂ terjadi karena tumbukan antara molekul CO₂ dengan molekul gas nitrogen (N₂) yang telah tereksitasi [berada dalam aras energi 18 cm⁻¹ di bawah

keadaan ($0, 0^\circ$ 1)]. Terjadinya eksitasi molekul N_2 disebabkan oleh tumbukan antara molekul N_2 dengan elektron berenergi. Elektron berenergi untuk menumbuk N_2 itu berasal dari gas helium (He) yang dilucuti melalui elektroda tegangan tinggi. Untuk menghasilkan keluaran laser CO_2 yang optimum, campuran gas CO_2 , N_2 dan He harus tertentu. Perbandingan campuran gas CO_2 : N_2 : He sekitar 1 : 1 : 6 pada tekanan 80 mbar. Campuran gas CO_2 , N_2 dan He dalam tabung laser dapat dibuat dengan mekanisme sistem aliran (flowing system) atau sistem bukan aliran (non flowing system) yang dikenal sebagai jenis "sealed off". Untuk memperkuat intensitas keluaran laser CO_2 tersebut, sinar laser yang terbentuk dilewatkan secara bolak-balik di dalam sistem resonator. Sistem resonator itu terdiri atas dua buah cermin dari bahan ZnSe yang terpasang di ujung-ujung tabung lucutan. Cermin yang satu mempunyai fraksi refleksi 70 % dan yang lain 90 %. Keluaran laser CO_2 dapat dipilih panjang gelombangnya melalui pengaturan kedudukan kisi pemantul. Pengaturan ini dapat ditempuh dengan cara manual memakai tangan melalui mikrometer sekrup atau diatur secara mekanis melalui motor bertahap (stepper motor). Arah polarisasi keluaran laser CO_2 dapat dibuat sama karena adanya dua buah jendela Brewster (Brewster window) pada ujung-ujung pemandu gelombang. Jendela Brewster itu dapat diatur posisi sudutnya sehingga menghasilkan sudut brewster tertentu. sudut brewster

didefinisikan sebagai sudut yang menghasilkan rugi pantulan minimum bagi cahaya laser yang terpolarisasi normal pada bidang mendatar di sumbu optis laser (Beesley, 1972). Untuk dapat lebih memperjelas kedudukan : elektroda tegangan tinggi, jendela brewster, kisi pemantul dan lain-lain, maka di bawah ini (gambar-2) diperlihatkan secara garis besar konstruksi laser CO₂ buatan Universitas Nymegen belanda yang dimiliki oleh FMIPA UGM.



Gambar-2 Garis besar konstruksi laser CO₂ buatan Universitas Nymegen Belanda.

B. Laser Helium-Neon

Laser Helium-Neon (He-Ne) adalah laser gas yang pertama kali dioperasikan pada tahun 1961 oleh Ali Javan bersama kelompok kerjanya (Ferwerda, 1994). Laser He-Ne terdiri atas campuran 1,0 mm Hg gas He dan 0,1 mm Hg gas Ne, yang dilucuti tegangan dc sehingga menghasilkan arus elektron berenergi yang dapat mengeksitasi atom-atom He ke keadaan tereksitasi dalam jumlah yang besar. Atom-atom He selanjutnya turun ke aras energi yang lebih rendah. Aras metasbil 2^3S memiliki waktu hidup lama, yaitu sekitar 10^{-4} sekon. Aras 2^1S atom He memiliki energi yang hampir sama dengan aras 3 S dan 2 S atom Ne. Apabila suatu atom He yang tereksitasi ke aras 2^1S menumbuk atom Ne pada keadaan dasar, ada kebolehjadian bahwa atom He menyerahkan energinya pada atom Ne dan membawa atom Ne pada keadaan 3S. Dengan cara tersebut diperoleh kenaikan populasi aras 3S dan 2S atom Ne. Mengingat hal tersebut, maka gas He digunakan sebagai suatu mekanisme pemompaan bagi aras-aras energi. Aras 3S dan 2S atom Ne adalah merupakan aras atas bagi berbagai transisi laser, yaitu garis laser dengan $\lambda = 0,63428 \mu\text{m}$, garis laser dengan $\lambda = 1,15 \mu\text{m}$ dan garis laser dengan $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ sebagaimana terlihat pada gambar-3.

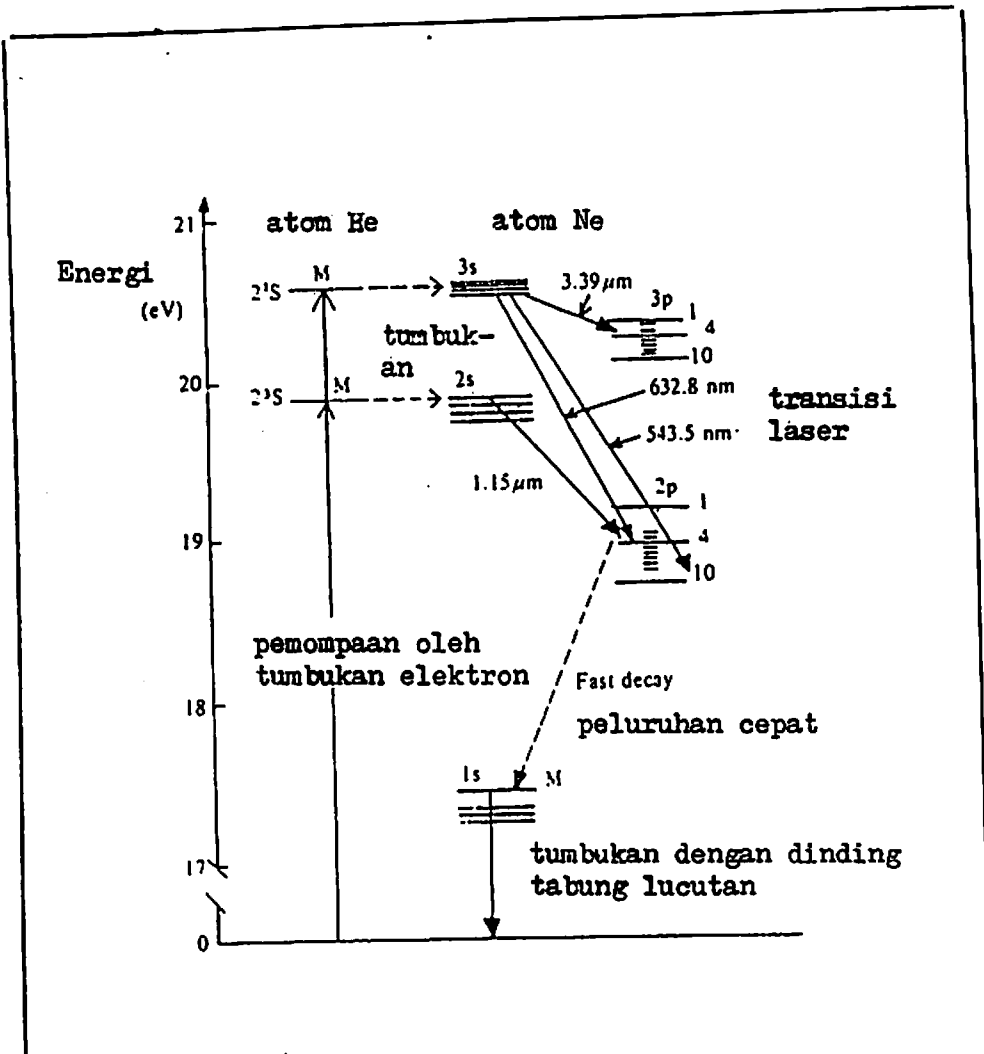
Garis laser dengan $\lambda = 0,6328 \mu\text{m}$ disebabkan oleh transisi antara aras 3S dan 2P atom Ne. Atom Ne pada aras

2p meluruh menuju aras 1S dalam waktu 10^{-8} sekon, sehingga lebih singkat bila dibandingkan waktu hidup pada aras 3S yaitu 10^{-7} sekon. Keadaan 1S memiliki waktu hidup yang lama, sehingga lebih banyak populasinya. Hal demikian itu memberikan suatu balikan populasi (population inversion) yang lebih efektif.

Garis laser dengan $\lambda=1,15 \mu\text{m}$ (inframerah) berkaitan dengan transisi antara aras 2S dan 2p atom Ne. Aksi laser yang terjadi pada transisi ini bergantung pada kecepatan pengosongan aras 1S, seperti halnya pada garis laser dengan $\lambda=0,6328 \mu\text{m}$.

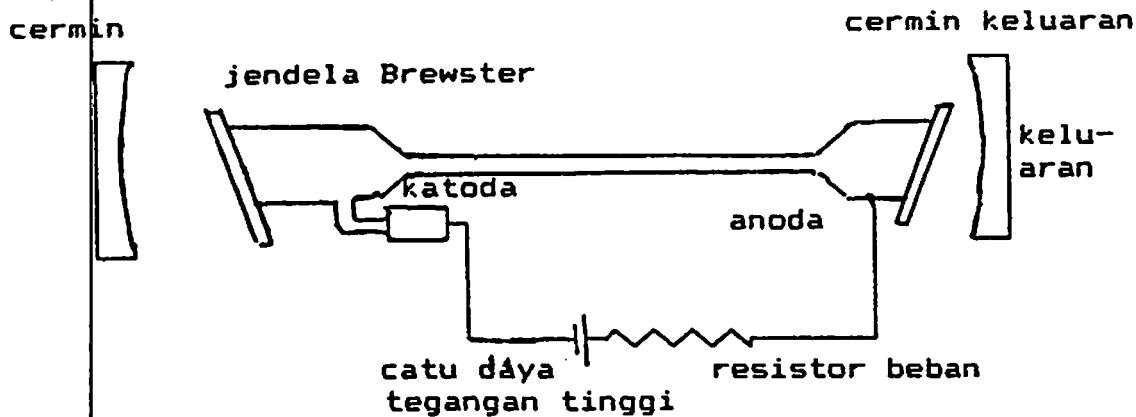
Garis laser dengan $\lambda=3,39 \mu\text{m}$ (inframerah jauh) berkaitan dengan transisi antara aras 3S dan 3p. Transisi ini memberikan penguatan (gain) yang besar. Sebagai konsekuensinya, bila tidak diberikan suatu cara pendinginan tertentu, maka aksi laser hanya terjadi pada transisi-transisi tersebut. Pada laser yang panjang gelombang keluarannya $0,6328 \mu\text{m}$, aksi laser dicapai dengan cara memasukkan suatu elemen yang menyerap kuat radiasi $3,39 \mu\text{m}$ ke dalam lintasan optis pada rongga resonator tersebut.

Konstruksi laser gas He-Ne secara skematis diberikan pada gambar 4. Gas-gas He dan Ne diisikan pada tabung yang diletakkan di antara dua cermin datar yang dapat memantulkan dan meneruskan sebagian. Susunan dua cermin paralel tersebut disebut sebagai "Fabry Perot resonator".



gambar-3. Aras-aras energi atom He dan Ne pada laser He-Ne.

Tabung yang berisi gas di dalam Fabry-Perot resonator" dipatasi oleh jendela Brewster. Jendela Brewster ini diatur sedemikian rupa sehingga membentuk sudut yang besarnya sama dengan sudut Brewster terhadap sumbu rongga demikian itu memberikan efek bahwa hanya komponen medan listrik arah tertentu yang ditransmisikan. Sebagai konsekuensinya, berkas keluaran laser He-Ne terpolarisasi secara penuh.



gambar-4. Gambar skematis konstruksi laser gas He-Ne

C. Pengaruh agihan suhu sampel terhadap lintasan optis

Pada umumnya indeks bias suatu bahan merupakan fungsi suhu dan tekanan. Apabila perubahan tekanan pada bahan diupayakan tidak terjadi, maka perubahan indeks bias bahan hanya tergantung perubahan suhu yang terjadi di dalam bahan. Bila n_0 menyatakan indeks bias bahan sebelum terjadi perubahan maka karena perubahan suhu di dalam bahan indeks bias bahan akan mengalami perubahan sedemikian rupa pada posisi r dan waktu t indeks biasnya menjadi sebagai berikut.

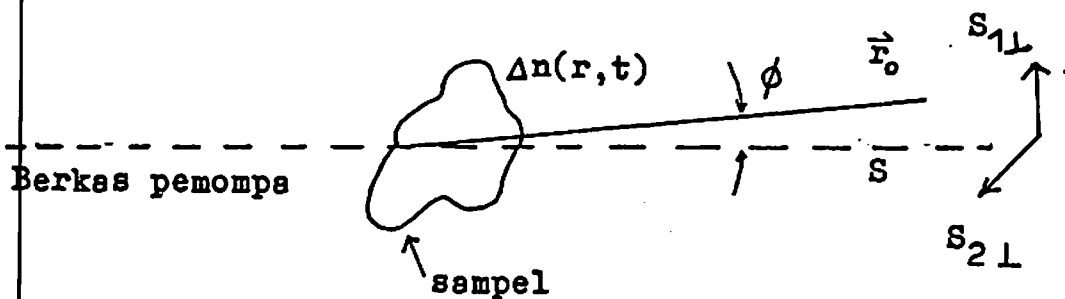
$$\begin{aligned}
 n(\vec{r}, t) &= n_0 + \Delta n(r, t) \\
 &= n_0 + \left. \frac{\partial n}{\partial T} \right|_{T \text{ sekeliling}} T(\vec{r}, t) \quad (4)
 \end{aligned}$$

dengan $T(\vec{r}, t)$ adalah agihan suhu pada bahan.

Penjalaran berkas optis gaussian melalui bahan yang indeks biasnya bervariasi (gambar - 5) diberikan oleh persamaan berikut.

$$\frac{d}{ds} \left(n_0 \frac{d\vec{r}_0}{ds} \right) = \nabla_{\perp} n(\vec{r}, t) \quad (5)$$

dengan \vec{r}_0 adalah pergeseran berkas arah tegak lurus terhadap arah semula, $\nabla_{\perp} n(\vec{r}, t)$ adalah gradian indeks bias tegak lurus lintasan optis \vec{s} (Casperson, 1973).



gambar-5. Gambar geometris defleksi lintasan karena pengaruh perubahan indeks bias

Persamaan (5) bila diintegrasikan untuk seluruh lintasan optis \vec{s} diperoleh sebagai berikut.

$$n_0 \frac{d\vec{r}_0}{ds} = \int_0 \nabla_{\perp} n(\vec{r}, t) d\vec{s} \quad (6)$$

Karena simpangan defleksi berkas bernilai kecil, maka $\frac{d\vec{r}_0}{ds} \approx \phi =$ sudut defleksi. Dengan demikian berlaku persamaan berikut ini.

$$\phi \approx \frac{1}{n_0} \int_0 \nabla_{\perp} n(\vec{r}, t) d\vec{s} \quad (7)$$

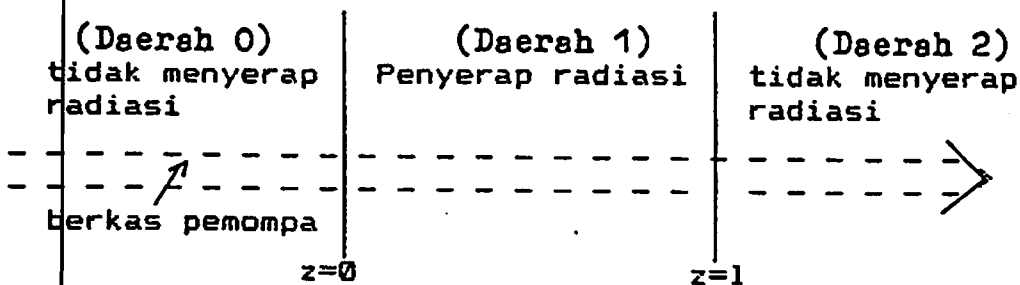
Karena $\nabla_{\perp} (n_0) = 0$, maka persamaan (7) dapat di bawa ke bentuk berikut.

$$\phi \approx \frac{1}{n_0} \frac{\partial n}{\partial T} \int_s \nabla_{\perp} T(\vec{r}, t) d\vec{s} \quad (8)$$

Terlihat pada persamaan (8) bahwa agihan suhu $T(\vec{r}, t)$ akan menyebabkan lintasan optis tergeser sebesar ϕ . Bila pola agihan suhu $T(\vec{r}, t)$ diketahui maka besarnya sudut defleksi ϕ dapat dihitung.

D. Model teori tentang agihan suhu pada suatu sampel

Untuk menjelaskan bentuk agihan suhu pada sampel, Jackson, et al pada tahun 1981 telah mengusulkan suatu model teoritis. Model yang diajukan adalah membagi sampel atas tiga daerah yang tidak menyerap radiasi (daerah 0 dan 2) dan daerah penyerap radiasi (daerah 1) sebagaimana gambar-6.



gambar-6. Model untuk menentukan agihan suhu pada sampel.

Suhu $T(\vec{r}, t)$ pada daerah 0, 1 dan 2 memenuhi persamaan sebagai berikut.

$$\left. \begin{aligned} \nabla^2 T_0 - \frac{1}{k_0} \frac{\partial T_0}{\partial t} &= 0 \\ \text{(daerah 0)} \\ \nabla^2 T_1 - \frac{1}{k_1} \frac{\partial T_1}{\partial t} &= - \frac{Q(\vec{r}, t)}{k} \\ \text{(daerah 1)} \\ \nabla^2 T_2 - \frac{1}{k_2} \frac{\partial T_2}{\partial t} &= 0 \\ \text{(daerah 2)} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

dengan K_i = konduktivitas termal bahan pada daerah i ,
 $k_i = \frac{K_i}{C_i}$ = koefisien difusi termal bahan daerah ke i , ρ_i =
 massa jenis C_i = kalor jenis, T_i suhu bahan diatas suhu
 sekeliling, l =ketebalan daerah penyerap dan $Q(\vec{r}, t)$ =
 energi yang tersimpan persatuan volume medan penyerap.

Persamaan (9) harus memenuhi syarat batas sebagai berikut.

$$\left. \begin{aligned} T_0 \Big|_{z=0} &= T_1 \Big|_{z=0} \quad \text{dan} \quad T_1 \Big|_{z=l} = T_2 \Big|_{z=l} \\ K_0 \frac{\partial T_0}{\partial z} \Big|_{z=0} &= K_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} \Big|_{z=0} \quad \text{dan} \quad K_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} \Big|_{z=l} = K_2 \frac{\partial T_2}{\partial z} \Big|_{z=l} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Energi kalor yang dimodulasi pada frekuensi ω , akan
 diserap oleh sampel menurut persamaan sebagai berikut.

$$Q(\vec{r}, t) = \frac{1}{2} \frac{4\rho\alpha}{\pi^2 a^2} \exp(-az) \exp(-2r^2/a^2) \exp(i\omega t) + c \quad (11)$$

dengan $Q(\vec{r}, t)$ = energi yang diserap persatuan volume,
 p = daya yang mengeksitasi secara optis (berkas pemompa),
 α = koefisien serapan, a = jari-jari berkas pemompa pada faktor penurunan energi medan gaussian sebesar $1/e^2$ dan C adalah konstanta.

Persamaan (9) diselesaikan dengan membuat sisipan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 T_0(\vec{r}, t) &= 1/2 \int_0^{\sim} \delta d\delta J_0(\delta r) c(\delta) \exp(\beta_0 z) \exp(i\omega t) + C \\
 &\text{(untuk daerah 0)} \\
 T_2(\vec{r}, t) &= 1/2 \int_0^{\sim} \delta d\delta J_0(\delta r) D(\delta) \exp[-\beta_2(z-1)] \exp(i\omega t) + C \\
 &\text{(untuk daerah 2)} \\
 T_1(\vec{r}, t) &= 1/2 \int_0^{\sim} \delta d\delta J_0(\delta r) \left[T(\delta) \exp(-\alpha z) + A(\delta) \exp(-\beta_1 z) \right. \\
 &\text{(daerah 1)} \\
 &\left. B(\delta) \exp(\beta_1 z) \right] \exp(i\omega t) + C
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

dengan $T(\sigma) = \frac{Pa}{\pi^2 K_i} \frac{\exp[-(\sigma a)^2 / B]}{(\beta_i^2 - \sigma^2)}$ dan $\beta^2 = \sigma^2 + i\omega/k_i$

Persamaan (12) bila disisipkan ke syarat batas persamaan (10) diperoleh nilai-nilai A, B, D, E dan H sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 A(\delta) &= - \left[(1-g)(b-h)\exp(-\alpha l) + (g+h)(1+b)\exp(\beta_1 l) \right] T(\delta) / H(\delta) \\
 B(\delta) &= - \left[(1+g)(b-h)\exp(-\alpha l) + (g+h)(1-b)\exp(-\beta_1 l) \right] T(\delta) / H(\delta) \\
 D(\delta) &= T(\delta) \exp(-\alpha l) + A(\delta) \exp(-\beta_1 l) + B(\delta) \exp(\beta_1 l) \\
 E(\delta) &= T(\delta) + A(\delta) + B(\delta) \\
 H(\delta) &= \left[(1+g)(1+b)\exp(\beta_1 l) - (1-g)(1-b)\exp(-\beta_1 l) \right]
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

dengan $g = K_0 \beta_0 / K_1 \beta_1$, $b = K_2 \beta_2 / K_1 \beta_1$ dan $h = \alpha / \beta_1$

Penyelesaian umum agihan suhu pada sampel diperoleh dengan cara mengkombinasi persamaan (12) dan (13).

Untuk mendapatkan interpretasi terhadap penyelesaian yang telah diperoleh maka ditinjau penyelesaian 1 dimensi. Penyelesaian 1 dimensi untuk kasus di atas, agihan suhu pada daerah 1 (daerah penyerap) dihitung dengan persamaan berikut.

$$T(z) = 2 \pi \int_0^{\infty} T_1(\vec{r}, t) dr \tag{14}$$

Bila persamaan (12) disisipkan ke persamaan (14) diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 T(z) &= \int_0^{\infty} r dr \left\{ \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \delta d\delta \cdot J_0(\delta r) \left[T(\delta) \exp(-\alpha az) + A(\delta) \exp(-\beta_1 z) + \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. B(\delta) \exp(\beta_1 z) \right] \exp(i\omega t) \right\} + C
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

Bila perumusan $\int_0^{\infty} \delta \, d\delta \int_0^{\infty} r \, dr J_0(\delta r) R(\delta) = R(0)$ digunakan, maka persamaan (15) dapat disederhanakan sebagai berikut.

$$T(z) = 2\pi \left[T(0) \exp(-\alpha z) + A(0) \exp(k_1 z) + B(0) \exp(k_1 z) \right] \quad (16)$$

dengan $k_1^2 = i\omega/k_1$

Berdasarkan persamaan (16) dapat dipahami bahwa $A(\delta)$ merupakan amplitudo gelombang difusi termal pada arah z positif, $B(\delta)$ merupakan amplitudo termal gelombang difusi pada arah z negatif dan $T(\delta)$ adalah suhu yang muncul yang mengakibatkan tersimpannya energi pada daerah (r, z) yang berasal dari berkas pemompa. Disamping itu dapat dipahami pula bahwa agihan suhu untuk masing-masing daerah tersebut saling bebas satu sama lain dan untuk masing-masing daerah memiliki panjang termal efektif menurut persamaan:

$$l_i = \left[R_0 (k_1^2 + \delta^2)^{-1/2} \right]^{-1}$$

Apabila difusi kalor pada daerah batas diabaikan maka integrasi agihan suhu sepanjang sumbu z adalah

$$\int_0^l \nabla_z T_1(\vec{r}, t) dz = \frac{1}{2} \left[P (1 - \exp(-\alpha l)) \right]$$

$$\int_0^{\infty} \frac{\delta J_0(\delta) \exp[-(\delta a)^2/8]}{k_1^2 + \delta^2} \delta a \exp(i\omega t) \delta a + c \quad (17)$$

Bila panjang termal l jauh lebih besar dibandingkan ruji berkas pompa, maka k_1^2 dapat diabaikan terhadap δ^2 . Pada pendekatan $\delta^2 \gg k_1^2$, bila persamaan (17) diambil gradiennya arah tegak lurus diperoleh sebagai berikut.

$$\int_0^l \nabla_{\perp} T_1(\vec{r}, t) dz = \frac{1}{2} \left\{ \left[P \frac{(1 - \exp(-\alpha l))}{\pi^2 k_1^2} \right] \int_0^l \frac{\delta J_1(\delta x_0) \exp \left[-(\delta a)^2 / 8 \right] d\delta \exp(i\omega t)}{\delta^2} \right\} + c \quad (18)$$

$$= \frac{1}{2} \frac{P[1 - \exp(-\alpha l)]}{\pi^2 k_1^2 x_0} \left[1 - \exp\left(-\frac{2x_0^2}{a^2}\right) \exp(i\omega t) \right] \quad (19)$$

Berdasarkan persamaan (18) dan (19) maka selanjutnya dapat dihitung besarnya sudut defleksi lintasan optis sebagai berikut.

$$\phi = \frac{1}{n_0} \frac{\partial n}{\partial T} \int_0^l \nabla_{\perp} T(r, t) dz$$

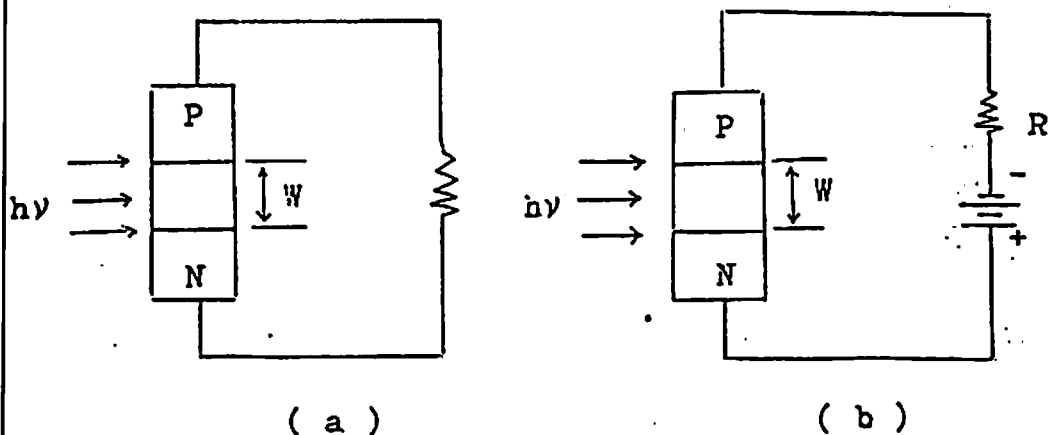
$$\approx \left(\frac{\partial n}{\partial T} \right) \frac{P[1 - \exp(-\alpha l)]}{\pi^2 k_1^2 x_0} \left[1 - \exp\left(-\frac{2x_0^2}{a^2}\right) \exp(i\omega t) \right] + c \quad (20)$$

dengan demikian persamaan (1) di bagian depan telah dapat dibuktikan.

E. Position Sensitif Detector (PSD)

Position sensitif detector (PSD) adalah merupakan salah satu peranti detektor optis yang dapat mengubah posisi jatuhnya energi cahaya pada detektor itu menjadi signal listrik. PSD diklasifikasikan atas dua jenis yaitu : untuk deteksi posisi satu dimensi dan untuk deteksi posisi dua dimensi.

Peranti detektor optis semikonduktor pada dasarnya merupakan gandengan antara bahan semikonduktor dengan jenis berbeda. Pada gambar-7 ditunjukkan gandengan P-N sebuah detektor optis semikonduktor.



Gambar-7 Gandengan P-N sebuah detektor optis semikonduktor.

- (a) tanpa diberi tegangan catu
- (b) diberi tegangan catu

Energi cahaya yang jatuh pada posisi tertentu dapat diubah menjadi signal tegangan hanya pada rentang panjang gelombang tertentu saja. Panjang gelombang pancung atas λ_c ditentukan berdasarkan sela energi E_g bahan semikonduktor

yang digunakan. Apabila E_g dinyatakan dalam elektron volt (eV), maka λ_c dalam satuan μm diberikan oleh persamaan berikut.

$$\lambda_c (\mu m) = \frac{h c}{E_g} = \frac{1,2398 (\mu m eV)}{E_g (eV)} \quad (21)$$

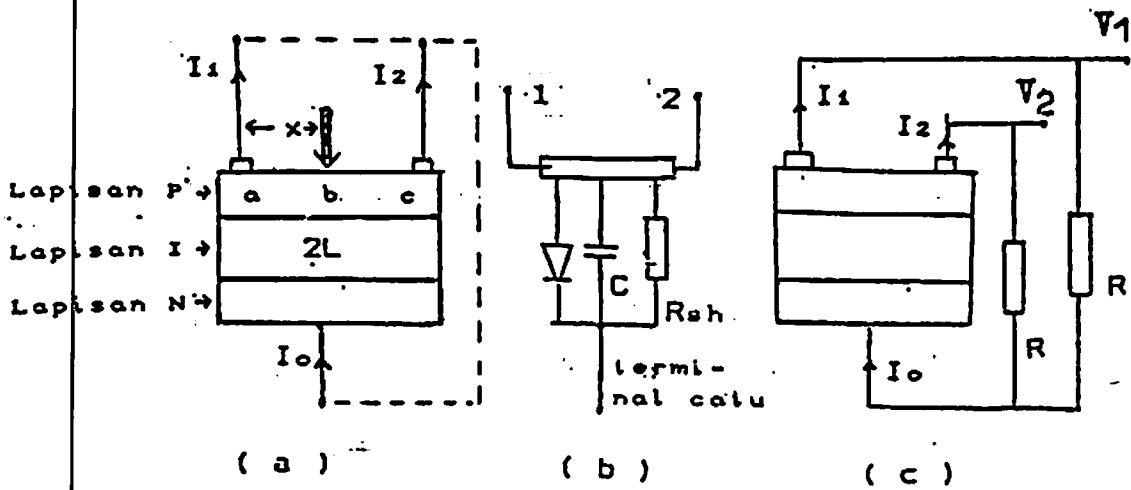
Watak detektor optis semikonduktor salah satunya ditentukan oleh nilai kuantum yang dimiliki. Efisiensi kuantum didefinisikan sebagai ratio antara cacah lubang-elektron yang terbentuk tiap detik dengan cacah foton cahaya yang datang tiap detik. Nilai efisiensi kuantum sebuah detektor semikonduktor adalah sebagai berikut.

$$\eta = 1 - \exp [-\alpha_s(\lambda)] W [1 - R_r] \quad (22)$$

dengan ketentuan $\alpha_s(\lambda)$, W dan R_r masing-masing adalah koefisien serapan pada panjang gelombang λ , lebar daerah deflasi dan koefisien pantulan pada permukaan detektor (Keiser, 1984). Terlihat pada persamaan 22 bahwa detektor optis semikonduktor dapat ditingkatkan nilai efisiensi kuantumnya dengan cara memperbesar daerah deflasi W . Pelebaran daerah deflasi W dapat dilakukan dengan cara menyisipkan bahan semikonduktor I (intrinsik) di antara gandingan P-N. Detektor optis semikonduktor yang menggunakan mekanisme pelebaran daerah deflasi demikian itu dikenal sebagai PIN fotodiode.

Struktur PSD adalah merupakan PIN fotodiode lateral dengan lapisan P dan N dibuat memiliki sifat resistansi yang sangat serbasama. Untuk PSD satu dimensi strukturnya

ditunjukkan pada gambar-8a dan rangkaian ekivalennya ditunjukkan pada gambar-8b. Berdasarkan gambar-4a, prinsip kerja PSD satu dimensi dapat dijelaskan sebagai berikut. Bila titik suatu berkas cahaya jatuh pada posisi berjarak x dari keluaran 1, maka pada posisi x itu akan dibangkitkan arus foto sebesar I_0 . Arus foto yang terbangkit itu sebagian akan mengalir melalui hambatan R_{ab} menuju keluaran 1, dan sisanya akan mengalir melalui hambatan R_{bc} menuju keluaran 2.



Gambar-8 Struktur PSD satu dimensi beserta rangkaian ekivalennya

Besar arus I_1 dan I_2 masing-masing adalah sebagai berikut.

$$I_1 = \frac{R_{bc} // R_{bc}}{R_{ab}} I_0 = I_0 \frac{2L - x}{2L} \quad (23)$$

dan

$$I_2 = \frac{R_{ab} // R_{bc}}{R_{bc}} I_0 = I_0 \frac{x}{2L} \quad (24)$$

Apabila terminal keluaran 1 dengan terminal catu, dan

terminal keluaran 2 dengan terminal catu masing-masing diberi resistor R (gambar-8.c) maka tegangan V_1 dan V_2 masing-masing adalah sebagai berikut.

$$V_1 = I_0 R \frac{2L - x}{2L} \quad (25)$$

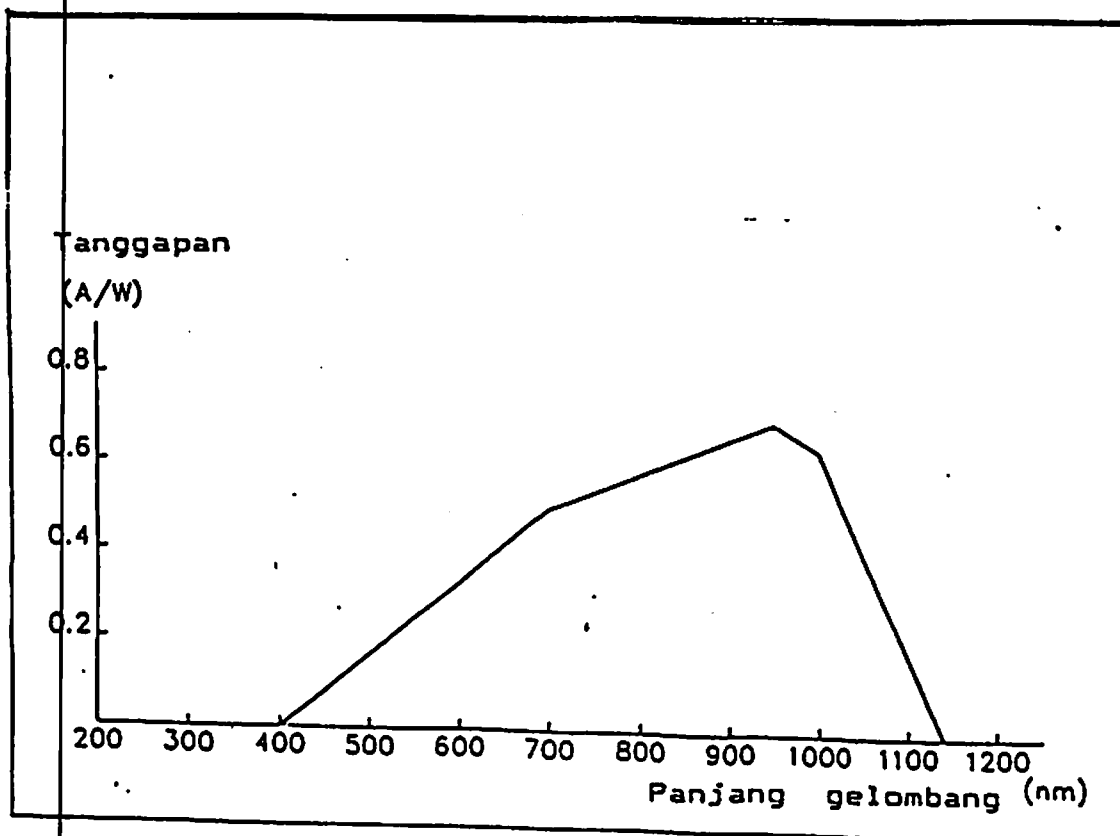
dan

$$V_2 = I_0 R \frac{x}{2L} \quad (26)$$

Berdasarkan persamaan 25 dan 26 terlihat bahwa tegangan keluaran V_1 dan V_2 linier terhadap posisi x dengan kemiringan (slope) sebesar $I_0 R / 2L$. Kemiringan itu akan sangat menentukan resolusi terhadap posisi x . Karena nilai $2L$ adalah tetap, maka resolusi detektor dapat ditingkatkan dengan memperbesar I_0 dan R . Nilai I_0 yang besar dapat ditempuh dengan cara meningkatkan efisiensi kuantum η . Mekanisme peningkatan nilai efisiensi kuantum telah diuraikan pada bagian depan. Mengenai hambatan R , tentunya tidak boleh terlalu besar karena arus foto yang terbangkit dalam orde mikro ampere. Untuk arus berorde mikroampere semacam itu, pemilihan bagi nilai R yang tidak terlampau besar adalah dalam orde kilo ohm. Bila nilai hambatan R yang dipakai berorde kilo ohm, maka tegangan keluaran V_1 dan V_2 dapat diharapkan berorde milli volt.

Salah satu contoh PSD satu dimensi adalah PSD 1L5. PSD jenis ini terkemas dalam kemasan dua baris (dual in

line package) memiliki dua terminal keluaran (kaki no.6 dan 13), satu terminal untuk pemberian catu (kaki no.1) dan memiliki tanggapan spektral seperti gambar-9 (Si Tek Electro Optic I, 1989).



Gambar-9 Tanggapan spektral PSD 1L5

F. Foto Transistor sebagai komponen detektor posisi

Deteksi defleksi laser uji selain menggunakan PSD (position sensitif detector) dapat juga menggunakan detektor optis biasa sebagaimana yang dilakukan oleh Fournier dan Boccara tahun 1980. Detektor optis biasa tersebut harus memiliki kepekaan cukup tinggi terhadap intensitas berkas cahaya. Detektor optis dengan kepekaan cukup tinggi yang relatif mudah didapatkan adalah fototransistor. Dengan menggunakan detektor optis biasa (fototransistor), mekanisme pendeteksian sudut defleksi ϕ prinsipnya adalah bahwa intensitas berkas laser penguji yang datang pada fototransistor bervariasi intensitasnya karena terdefleksinya berkas laser penguji. Variasi intensitas berkas laser penguji yang mengindikasikan defleksi tersebut dibuat dengan cara memasang sistem penghalang bagi sebagian berkas yang datang. Kerugian pemakaian detektor optis biasa (fototransistor) untuk detektor defleksi adalah kemungkinan timbulnya derau dari radiasi sekeliling. Hal itu karena fototransistor juga peka terhadap radiasi cahaya sekeliling. Kerugian di atas kiranya dapat diatasi dengan menempatkan detektor optis (fototransistor) pada kotak gelap.

III.METODE PENELITIAN

A.Peralatan Yang Digunakan

Peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah Laser CO₂, Sel fototermal, Power meter Laser CO₂, X-Y recorder, CO₂ Spektrum analyser, mikrometer sekrup, 2 buah multimeter digital (Iwatsu Sc-7404), laser He-Ne, Chopper, lensa objektif panjang fokus 5 cm), osiloskop (kikusui) dan detektor posisi PSD 1L5.

B.Prosedur Kerja

1.Pengukuran Gas Etilen Menggunakan Defleksi Fototermal

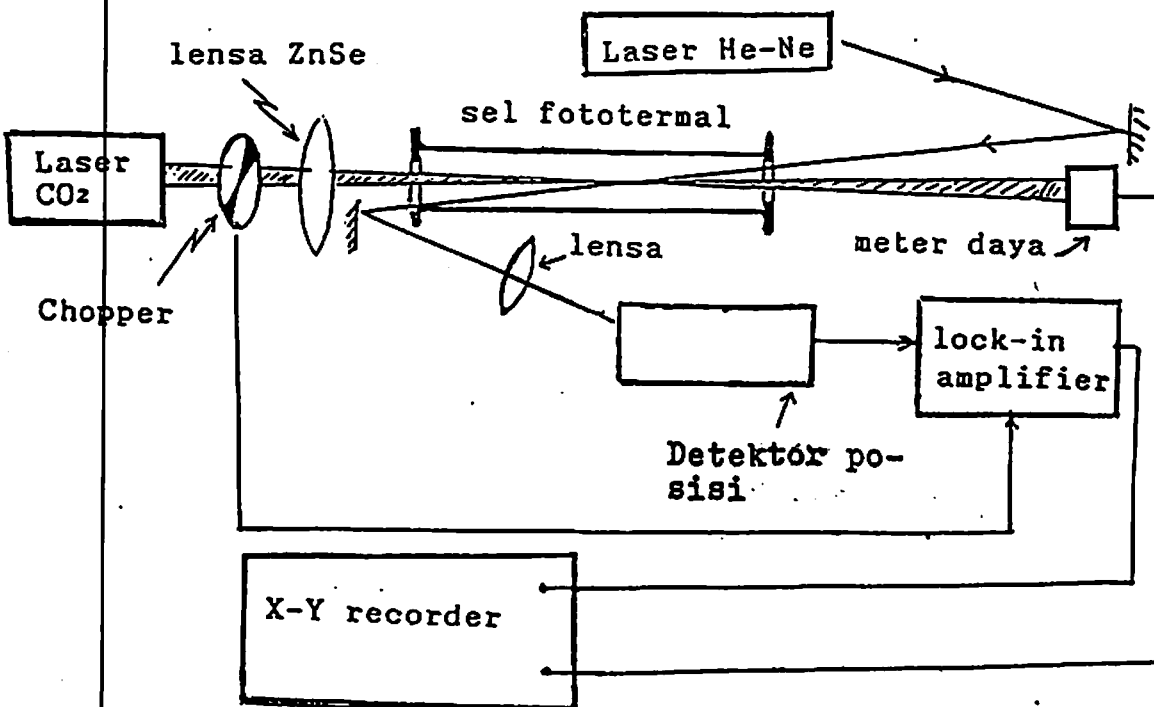
Untuk pengukuran gas etilen menggunakan defleksi fototermal disusun pasangan (setup) peralatan eksperimen seperti gambar 10. Pada sel fototermal disuntikkan gas etilen berkonsentrasi tertentu (dalam eksperimen ini dicoba konsentrasi 20 ppm). Selanjutnya direkam signal defleksi yang terjadi sebagai fungsi panjang gelombang laser CO₂ (garis-garis laser CO₂). Pemilihan garis-garis laser tersebut dilakukan dengan cara mengatur kedudukan kisi pemantul pada laser CO₂. Kedudukan kisi pemantul pada laser CO₂ tersebut dilakukan dengan memutar mikrometer sekrup melalui motor bertahap (Stepper Motor).

2. Karakterisasi Detektor Posisi PSD 1L5

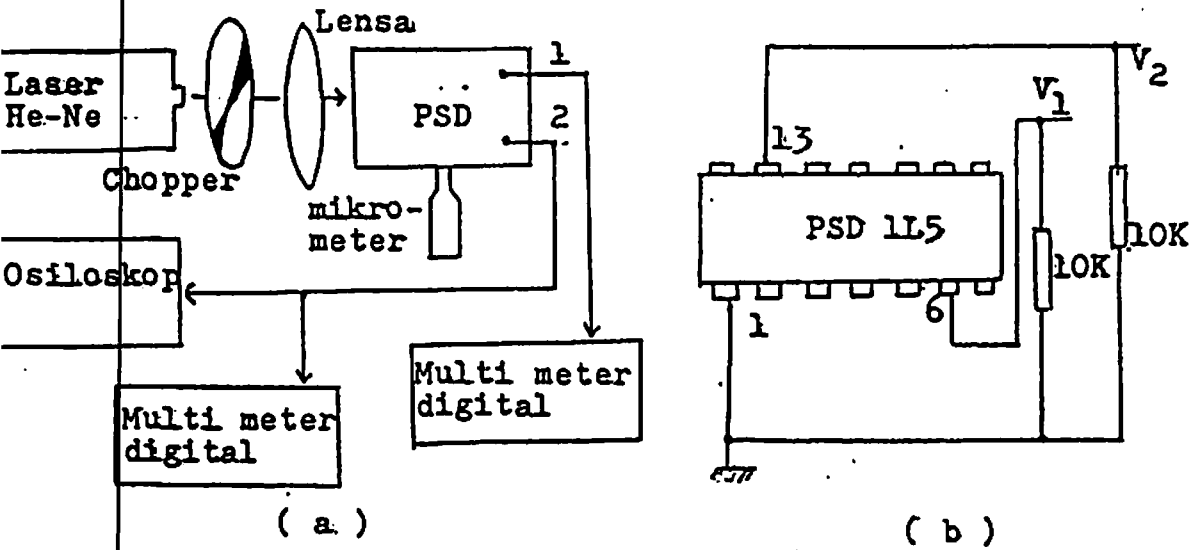
Disusun pasangan (setup) eksperimen seperti gambar 11a dengan ketentuan susunan rangkaian elektronis detektor

posisi yang digunakan adalah seperti gambar 11b.

Detektor posisi yang terpasang pada mikrometer sekrup, diatur kedudukannya sedemikian rupa posisi bintang cahaya jatuh tepat di salah satu tepi sensitifnya. Selanjutnya posisi detektor posisi digeser sedikit demi sedikit memakai mikrometer sekrup sambil diamati bentuk tegangan keluaran pada osiloskop dan sambil mencatat tegangan keluaran V_1 dan V_2 pada multimeter digital.



Gambar 10. Pasangan (setup) eksperimen pengukuran gas etilen



Gambar 11 Susunan pasangan (setup) eksperimen karakterisasi PSD 1L5

C. Metode Analisis Hasil

Hasil eksperimen pengukuran gas etilen menggunakan spektroskopi defleksi fototermal akan dianalisis melalui spektrum signal defleksi yang terjadi. Apabila signal defleksi terkuat yang terjadi bertepatan dengan garis laser 10P14, maka dapat dipastikan bahwa signal tersebut mengindikasikan serapan sampel gas etilen yang diukur.

Hasil yang diperoleh dari eksperimen karakterisasi PSD 1L5 akan diuji sifat linieritasnya antara : tegangan keluaran V_1 dan V_2 terhadap posisi defleksi berkas laser x . Bentuk kaitan antara tegangan keluaran V_1 dan V_2 terhadap posisi x secara teoritis diberikan oleh persamaan 25 dan 26 . Dengan demikian data-data tegangan keluaran V_1 dan V_2 hasil eksperimen harus dicocokkan (fitting) dengan fungsi fitting yang berbentuk sebagai berikut.

$$y = a_0 + a x \quad (27)$$

dengan ketentuan $y = V_1$ atau V_2 , $a_0 = V_{10}$ atau V_{20} (V_{10} = tegangan V_1 saat $x = 0$, dan V_{20} = tegangan V_2 saat $x = 0$), $a = I_0 R / 2L$ dan x = posisi. Pencocokan data eksperimen dengan fungsi fitting tersebut dilakukan dengan cara menghitung nilai χ^2 dan probabilitas untuk melampaui $P(\chi^2)$. Untuk keperluan penghitungan nilai-nilai itu digunakan "Data Fitting" yang disusun oleh Sterrenburg tahun 1987.

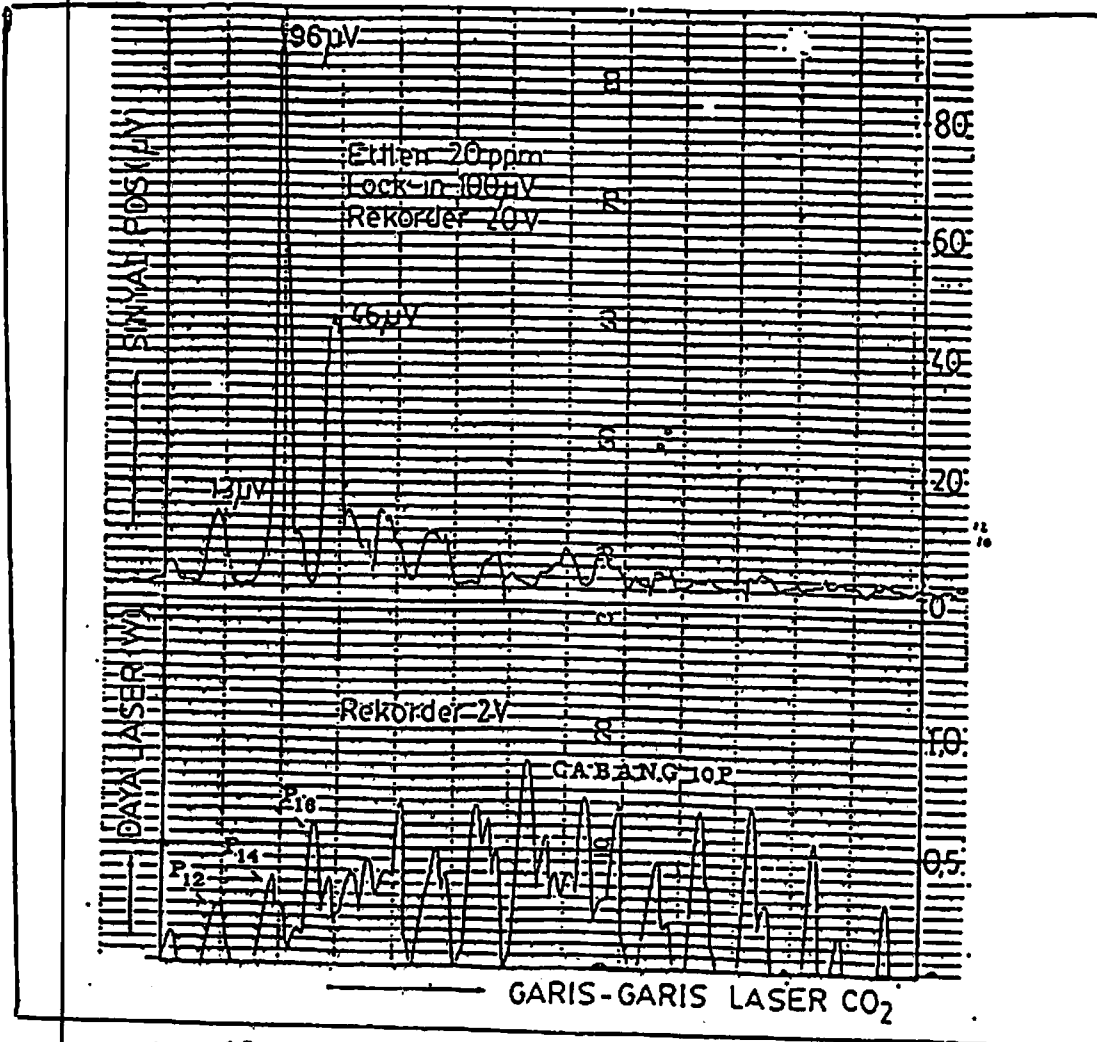
Hasil Analisis : Apabila nilai χ^2 sekitar 1 dan nilai $P(\chi^2)$ sekitar 0,5, maka fungsi pencocokan merupakan pendekatan yang baik (Bevington, 1969). Apabila dalam Analisis nanti ternyata fungsi fitting (persamaan 27) merupakan pendekatan yang baik maka dapat disimpulkan bahwa tegangan keluaran V_1 dan V_2 linier terhadap posisi.

IV.HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A.Hasil Penelitian

1. Hasil Eksperimen Pengukuran Gas Etilen

Hasil eksperimen pengukuran gas etilen menggunakan defleksi fototermal berupa spektrum serapan gas etilen sebagai fungsi garis-garis laser CO₂. Signal Defleksi hasil eksperimen sebagai fungsi garis-garis laser CO₂ diberikan pada gambar 12 berikut ini.



Gambar 12 Hasil eksperimen signal defleksi sebagai fungsi garis-garis laser CO₂

2. Hasil Eksperimen Karakterisasi PSD 1L5

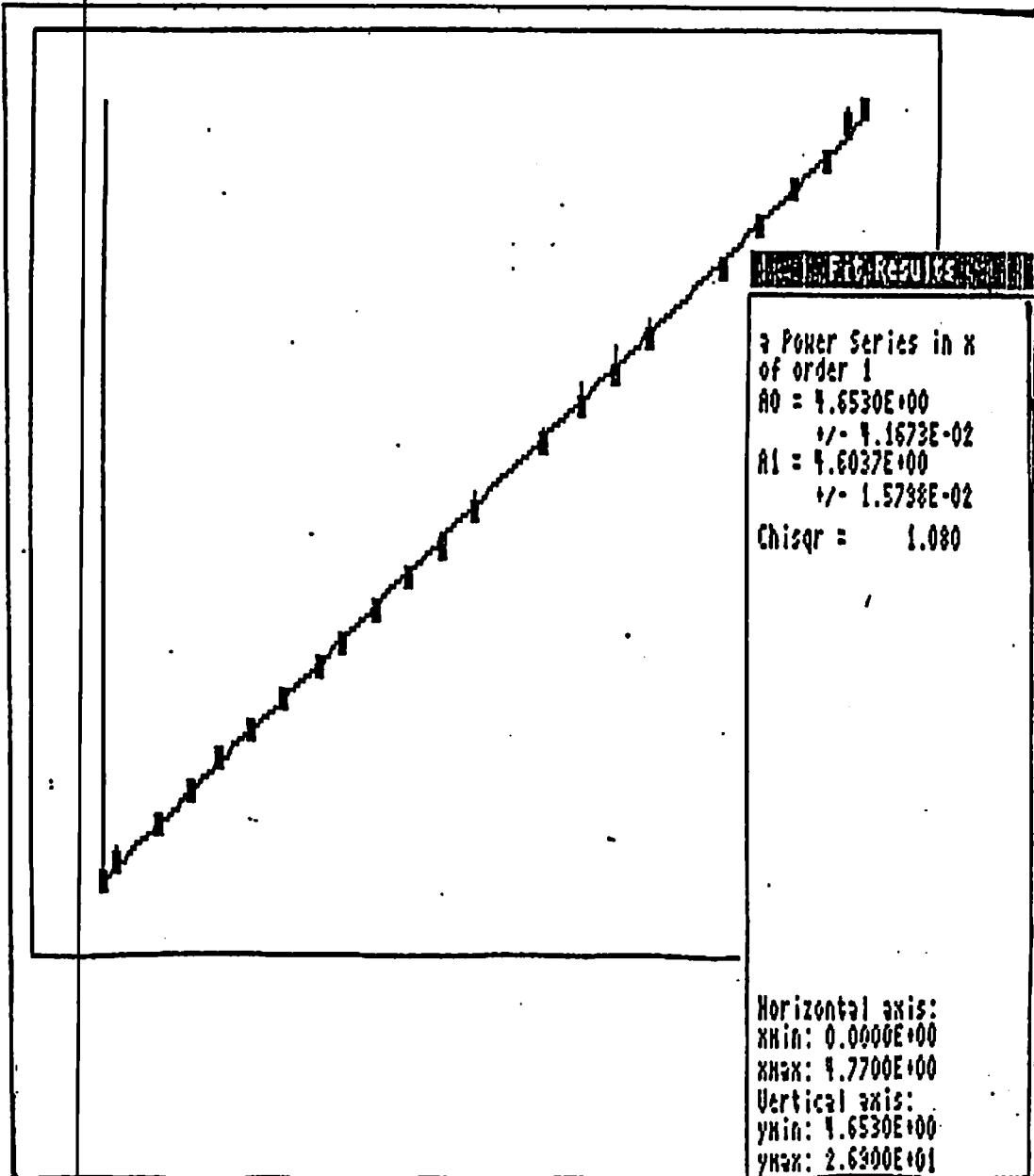
Hasil eksperimen karakterisasi PSD 1L5 berupa data tegangan keluaran sebagai fungsi posisi berkas laser (x) untuk dua keadaan yaitu : berkas laser dimodulasi dan tidak dimodulasi. Untuk berkas laser yang dimodulasi (pada frekuensi 170 Hz) data tegangan keluaran diberikan pada tabel-2. Sedangkan untuk berkas laser tidak dimodulasi, tidak menghasilkan tegangan keluaran.

Tabel-2 : Tegangan keluaran PSD 1L5 sebagai fungsi posisi pada frekuensi modulasi 170 Hz

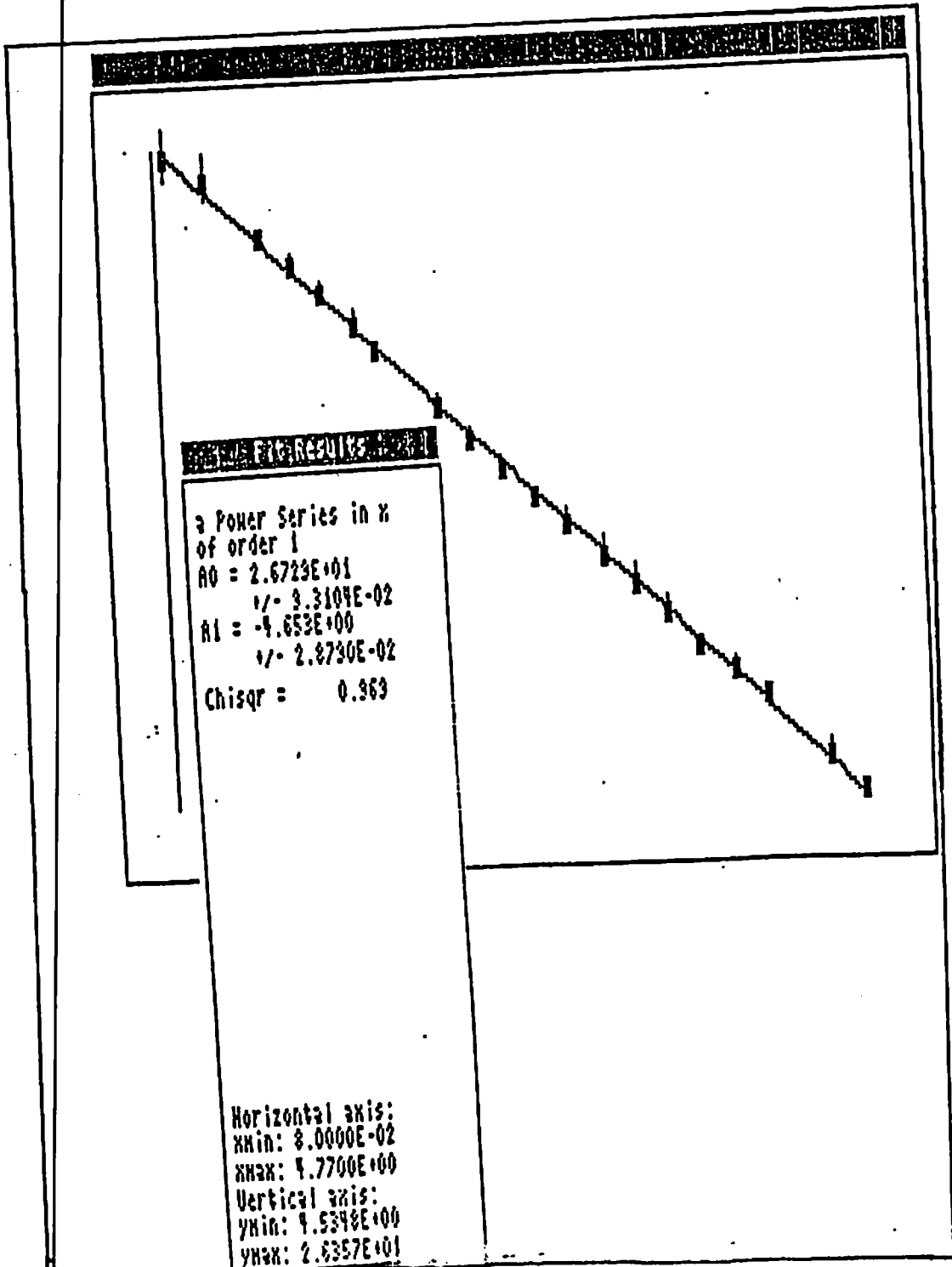
x (mm)	V_2 (mV searah)	S_{V_2}	x (mm)	(mV searah)	S_{V_1}
0,00	4,7	0,1	0,08	26,2	0,9
0,08	5,2	0,2	0,34	25,4	0,8
0,34	6,3	0,1	0,72	23,5	0,1
0,55	7,2	0,1	0,93	22,5	0,3
0,72	8,1	0,1	1,13	21,6	0,2
0,93	8,9	0,1	1,36	20,5	0,3
1,13	9,9	0,1	1,50	19,6	0,2
1,36	10,8	0,1	1,92	17,6	0,4
1,50	11,5	0,1	2,13	16,5	0,4
1,71	12,4	0,1	2,34	15,6	0,3
1,92	13,3	0,2	2,55	14,6	0,2
2,13	14,2	0,3	2,77	13,6	0,4
2,34	15,3	0,3	3,01	12,6	0,5
2,77	17,2	0,3	3,22	11,6	0,5
3,01	18,3	0,5	3,44	10,6	0,4
3,22	19,3	0,6	3,65	9,5	0,1
3,44	20,4	0,4	3,89	8,7	0,2
3,89	22,3	0,2	4,12	7,8	0,2
4,12	23,5	0,1	4,54	5,8	0,3
4,33	24,6	0,1	4,77	4,7	0,1
4,54	25,5	0,1			
4,67	26,5	0,3			
4,77	26,9	0,1			

3. Hasil Fitting Data

Grafik hasil fitting data tegangan keluaran V_2 dan V_1 detektor posisi PSD ILS diberikan pada gambar 13 dan 14. Data lengkap hasil fitting data diberikan pada lampiran 2.1 dan 2.1.



gambar 13. Grafik hasil fitting data tegangan keluaran V_2 detektor posisi PSD ILS sebagai fungsi pergeseran



Gambar 14. Grafik hasil fitting data tegangan keluaran V_d detektor posisi PSD ILS sebagai fungsi pergeseran

B. Pembahasan

Hasil pengukuran gas etilen menggunakan spektroskopi defleksi fototermal pada gambar-8, memperlihatkan bahwa signal defleksi terkuat ($90 \mu\text{V}$) terjadi pada garis laser pemompa 10P14. Hal ini sesuai dengan fakta bahwa etilen menyerap terkuat pada panjang gelombang $10,5326 \mu\text{m}$ (atau garis laser 10P14). Pada garis laser sekitar 10P14 (yaitu garis 10P12 dan 10P16) etilen memberikan signal serapan yang relatif kecil ($13 \mu\text{V}$ untuk 10P12 dan $46 \mu\text{V}$ untuk 10P16).

Hasil fitting data tabel-2 bagi tegangan keluaran V_1 yang memberikan nilai $x^2 = 0,969$ dan $P(x^2) = 49,325 \%$, menunjukkan bahwa hubungan linier antara V_1 terhadap x hasil eksperimen dapat diterima. Ukuran kemiringan V_1 terhadap x adalah $= (-4,6535 \pm 0,0287) \text{ mV/mm}$.

Sedangkan hasil fitting data tabel-2 bagi tegangan keluaran V_2 yang memberikan nilai $x^2 = 1,080$ dan $P(x^2) = 36,136 \%$, menunjukkan bahwa hubungan linier antara V_2 dengan posisi x hasil eksperimen dapat diterima. Ukuran kemiringan fungsi V_2 terhadap x adalah $= (4,6037 \pm 0,0157) \text{ mV/mm}$.

Kemiringan fungsi V_1 terhadap x dan kemiringan V_2 terhadap x hasil eksperimen ada sedikit perbedaan (secara teori nilainya adalah sama). Adanya sedikit perbedaan itu disebabkan karena kedua resistor yang dihubungkan pada terminal-terminal keluaran detektor itu tidak persis sama

nilainya. Berdasarkan data kemiringan tersebut, dapat dikatakan bahwa setiap perubahan posisi berkas $1 \mu\text{m}$ akan menghasilkan perubahan tegangan sekitar empat μV . Karena dalam spektroskopi defleksi fototermal, defleksi (perubahan posisi x) yang terjadi berorde μm , maka signal tegangan keluaran PSD 1L5 yang dapat diharapkan adalah berorde μV . Karena orde signal tegangan keluaran μV , maka pemakaiannya dalam spektroskopi defleksi fototermal perlu diperkuat terlebih dahulu. Untuk menghindari derau yang mungkin terjadi, maka penguat yang dipakai haruslah penguat lock-in. Apabila penguat yang digunakan adalah lock-in, maka frekuensi acuan bagi penguat itu diambilkan dari frekuensi chopper. Pemakaian PSD 1L5 ditunjang dengan pemakaian penguat lock-in dalam spektroskopi defleksi fototermal akan memberikan resolusi yang sangat tinggi.

Hasil eksperimen yang telah dilakukan menunjukkan bahwa PSD 1L5 tidak menanggapi berkas laser yang tidak dimodulasi (tidak di "chopper"). Dengan pertolongan rangkaian ekuivalen gambar-4b, hal itu secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut. Untuk berkas tak dimodulasi, arusfoto I_0 yang terbangkit merupakan arus searah rata. Sifat kapasitansi yang diwakili oleh kapasitor C akan menahan sepenuhnya terhadap arus searah rata itu. Sifat resistansi yang diwakili oleh resistor R_{sh} juga akan menahan arus searah rata tersebut, karena

nilainya sangat besar. Dengan demikian PSD tidak menghasilkan signal keluaran. Sebaliknya bila cahaya yang datang dimodulasi, maka arusfoto I_0 yang terbangkit merupakan arus searah yang berubah-ubah. Arus searah yang berubah-ubah itu dapat menembus kapasitor C, karena dalam kejadian ini nilai impedansi kapasitif kapasitor jauh lebih kecil dibandingkan dengan nilai hambatan R_{sh} . Dengan demikian pada keluaran detektor PSD dihasilkan signal keluaran.

Sifat detektor PSD yang hanya peka terhadap cahaya termodulasi itu tidak akan terpengaruh oleh radiasi cahaya sekeliling yang tak termodulasi. Oleh karena itu dalam pemakaiannya, detektor PSD tersebut tidak menuntut tempat yang gelap.

V.KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan pada penelitian "Pengukuran Etilen Menggunakan Defleksi Fototermal" , maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Variasi garis-garis laser pemompa pada pengukuran etilen dapat memberikan tiga puncak signal defleksi yang berbeda, dengan puncak terbesar pada garis laser 10P14.
2. Sistem Spektroskop defleksi fototermal yang telah dikembangkan dapat digunakan untuk pengukuran/pelacakan gas etilen yang berkonsentrasi 20 ppm.
3. Watak linieritas tegangan keluaran PSD 1L5 terhadap perubahan posisi cukup baik.
4. Dalam pemakaiannya, detektor PSD 1L5 hanya peka terhadap berkas laser yang termodulasi, sehingga penggunaannya untuk pengukuran etilen menggunakan defleksi fototermal tidak menuntut tempat yang gelap.

B. Saran

Setelah melakukan penelitian ini penulis ingin menyampaikan saran-saran sebagai berikut.

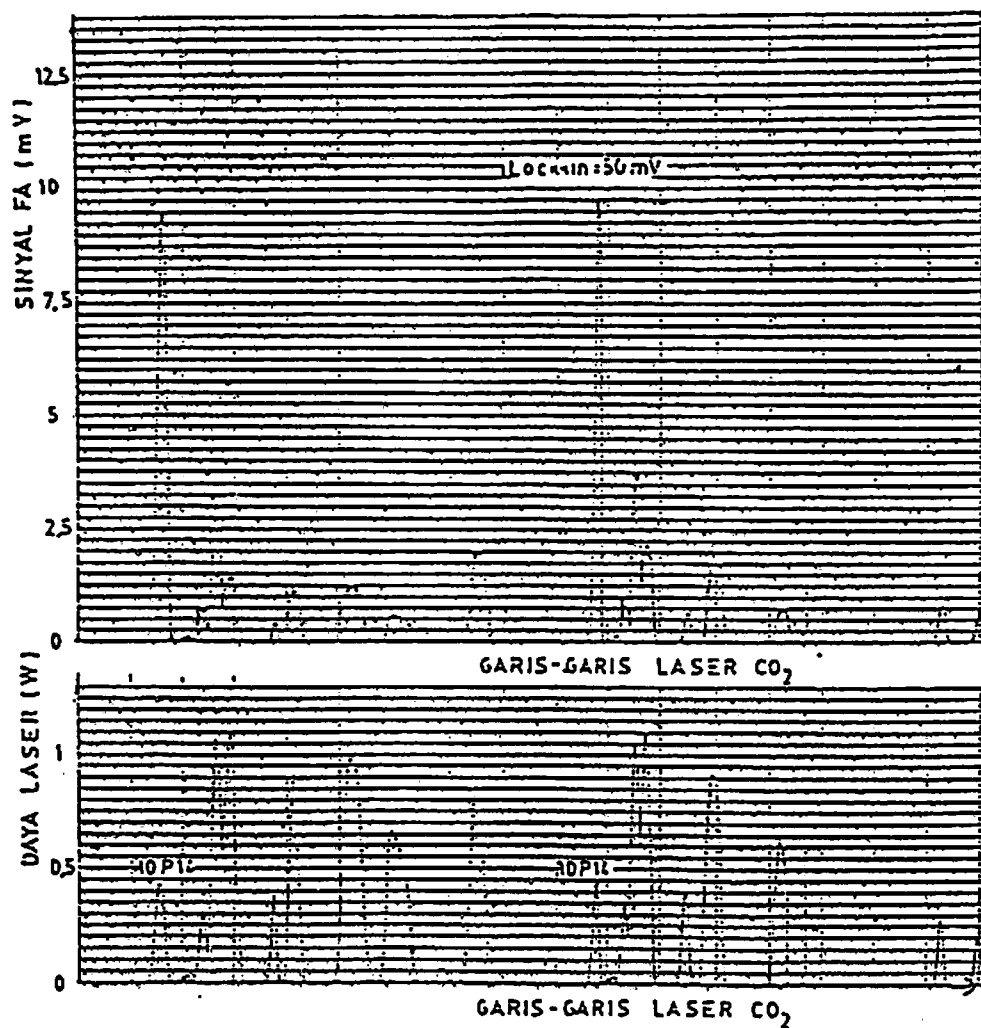
Karena cukup baiknya watak linieritas antara tegangan

keluaran FSD 1L5 dengan posisi (defleksi) dan tingginya tingkat resolusi yang mungkin dapat dicapai, maka bila tersedia FSD 1L3 disarankan untuk tetap digunakan dalam rangka mengembangkan sistem spektroskopi defleksi fototermal.

DAFTAR PUSTAKA

- Beesley, M.J., 1972, *Laser and Their Applications*", Taylor & Francis Ltd., London.
- Sevington, P.R., 1969, *Data Reduction and error analysis for the physical Sciences*, Mc Graw-Hill Book Company, New York.
- Casperson, L.W., 1973, *Applied Optics*, Vol 12, P 2434, New York.
- De Vries, H. et all; 1990, *The photothermal deflection technique: Fast Trace gas detection in the atmosphere*, Paper P I/3 , 7th International meeting on photoacoustic and photothermal phenomena, page 189.
- Duley, W.W., 1976, *CO₂ Lasers: Effect and applications*, Academic Press, New York.
- Ferweda, H.A., 1994, *Lasers And Optics*, Institute for Theoretical Physics, Groningen.
- Fournier, D; and Boccara, A.C; 1980, *Sensitive in situ trace gas detection by photothermal deflection spectroscopy*, Applied Physics Letters, Vol.37 No 6, page 513-521.
- Joko Wasono, M.A; 1990, *Spektroskopi Fotoakustik untuk pelacakan gas*, Tesis S2 Fakultas Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta.
- Keiser, G., 1984, *Optical fibre Communications*, Mc Graw-Hill International Book Co., Singapore.
- Si Tek Electro Optics, 1989, *Operation Principles of Position Sensing Detector*, SiTek Electro Optics I - 3003, page 14-44.
- Sterrenburg, W.A., 1987, *data Fitting* , FMIPA UGM, Yogyakarta.

Lampiran 1 : Spektrum serapan Etilen (Diambil dari tesis S2 Fisika UGM, penulis Joko Wasono)



Empiran 2.1 : Fitting data tegangan keluaran V_2

*** Fit of the data to a Power Series in x ***
 $Y = A_0 + A_1x^{*}1$
 $A_0 = 4.6530E+00$ +/- $4.1673E-02$
 $A_1 = 4.6037E+00$ +/- $1.5798E-02$

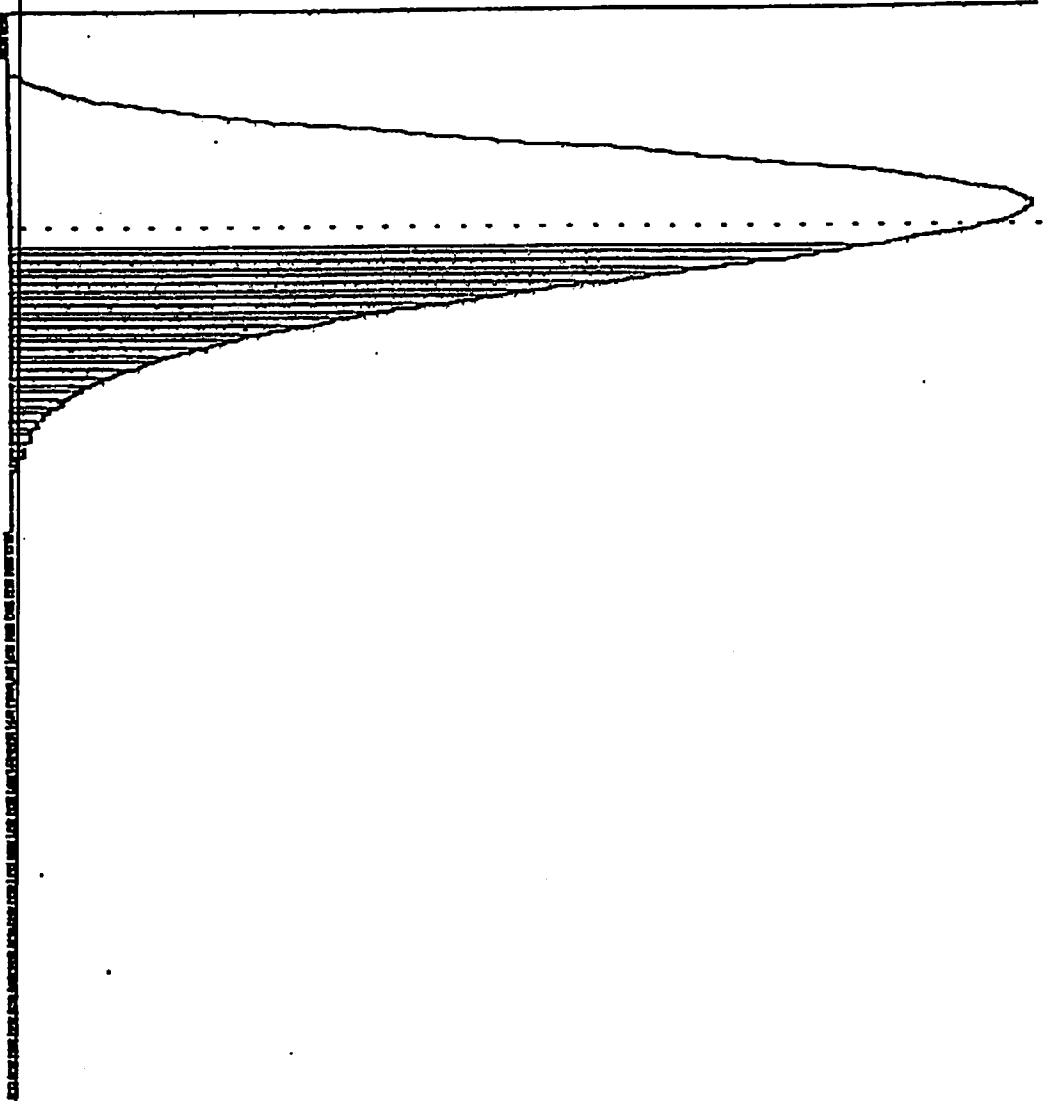
Chisqr = 1.0800E+00 Probability of exceeding this is 36.14 %

Correlation Array sigma(Ai,Aj)^2 (see (B-33) Bevington)

i= 0 j= 0 -5.091E-04
 i= 1 j= 1 2.4958E-04

y[i]	yfit[i]	y[i]-yfit[i]	σ^2	y[i]-yfit[i]
4.700	4.653	0.047	0.220	0
5.200	5.021	0.179	0.798	0
6.300	6.216	0.082	0.667	0
7.200	7.185	0.015	0.022	0
8.100	7.968	0.132	1.750	0
8.900	8.934	-0.034	0.119	0
9.900	9.855	0.045	0.201	0
10.800	10.914	-0.114	1.301	0
11.500	11.559	-0.059	0.343	0
12.400	12.525	-0.125	1.571	0
13.300	13.492	-0.192	0.923	0
14.200	14.459	-0.259	0.745	0
15.300	15.426	-0.126	0.175	0
17.200	17.405	-0.205	0.468	0
18.300	16.510	0.210	0.177	0
19.300	19.477	-0.177	0.087	0
20.400	20.490	-0.090	0.050	0
22.300	22.561	-0.261	1.708	0
23.500	23.620	-0.120	1.446	0
24.600	24.587	0.013	0.017	0
25.500	25.554	-0.054	0.289	0
26.500	26.152	0.348	1.344	0
			0.258	0

lanjutan Lampiran 2.1



The horizontal axis is the normalized chi-square

Degrees of freedom:
21

The probability of exceeding $\chi^2_{1-\alpha} = 1.02$ is 38.13% (= the shaded area)

..... at $\chi^2_{1-\alpha} = 1.0$

Horizontal axis:
 XMIN: 0.0000E+00
 XMAX: 5.0000E+00
 Vertical axis:
 YMIN: 0.0000E+00
 YMAX: 1.3972E+00

*** Fit of the data to a Power Series in x ***

$$Y = A_0 + A_1x^{**1}$$

$$A_0 = 2.6729E+01 \quad +/- \quad 9.3104E-02$$

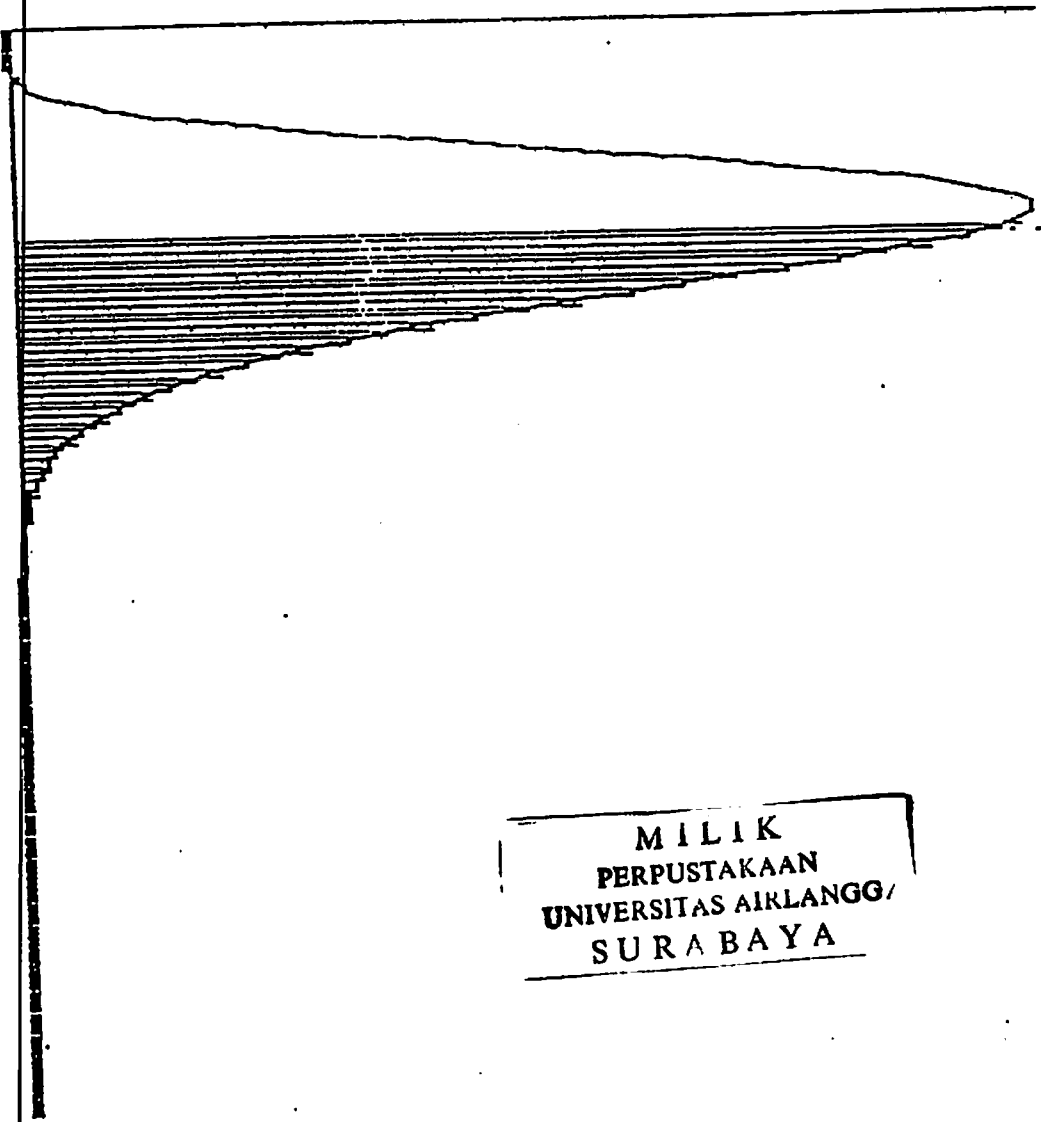
$$A_1 = -4.653E+00 \quad +/- \quad 2.8790E-02$$

Chisqr = 9.6852E-01 probability of exceeding this is 49.35 %

Correlation Array $\sigma(A_i, A_j)^2$ (see (8-33) Bevington)

	j= 0	j= 1
i= 0	8.6683E-03	-2.355E-03
i= 1		8.2884E-04

y[i]	yfit[i]	y[i]-yfit[i]	0^2	y[i]-yfit[i]
26.200	26.357	-0.157	0.030	0----
25.400	25.147	0.253	0.100	-----0
23.500	23.379	0.121	1.466	---0
22.500	22.402	0.098	0.107	---0
21.600	21.471	0.129	0.415	---0
20.500	20.401	0.099	0.109	---0
19.600	19.750	-0.150	0.560	0----
17.600	17.795	-0.195	0.239	0----
16.500	16.818	-0.318	0.633	0-----
15.600	15.841	-0.241	0.647	0-----
14.600	14.864	-0.264	1.745	0-----
13.600	13.841	-0.241	0.362	0-----
12.600	12.724	-0.124	0.061	0--
11.600	11.747	-0.147	0.086	0--
10.600	10.723	-0.123	0.095	0--
9.500	9.746	-0.246	6.052	0-----
8.700	8.629	0.071	0.125	-----0
7.800	7.559	0.241	1.450	-----0
5.800	5.605	0.195	0.423	-----0
4.700	4.535	0.165	2.729	-----0



Chi-square distribution

MILIK
 PERPUSTAKAAN
 UNIVERSITAS AIRLANGGA/
 SURABAYA

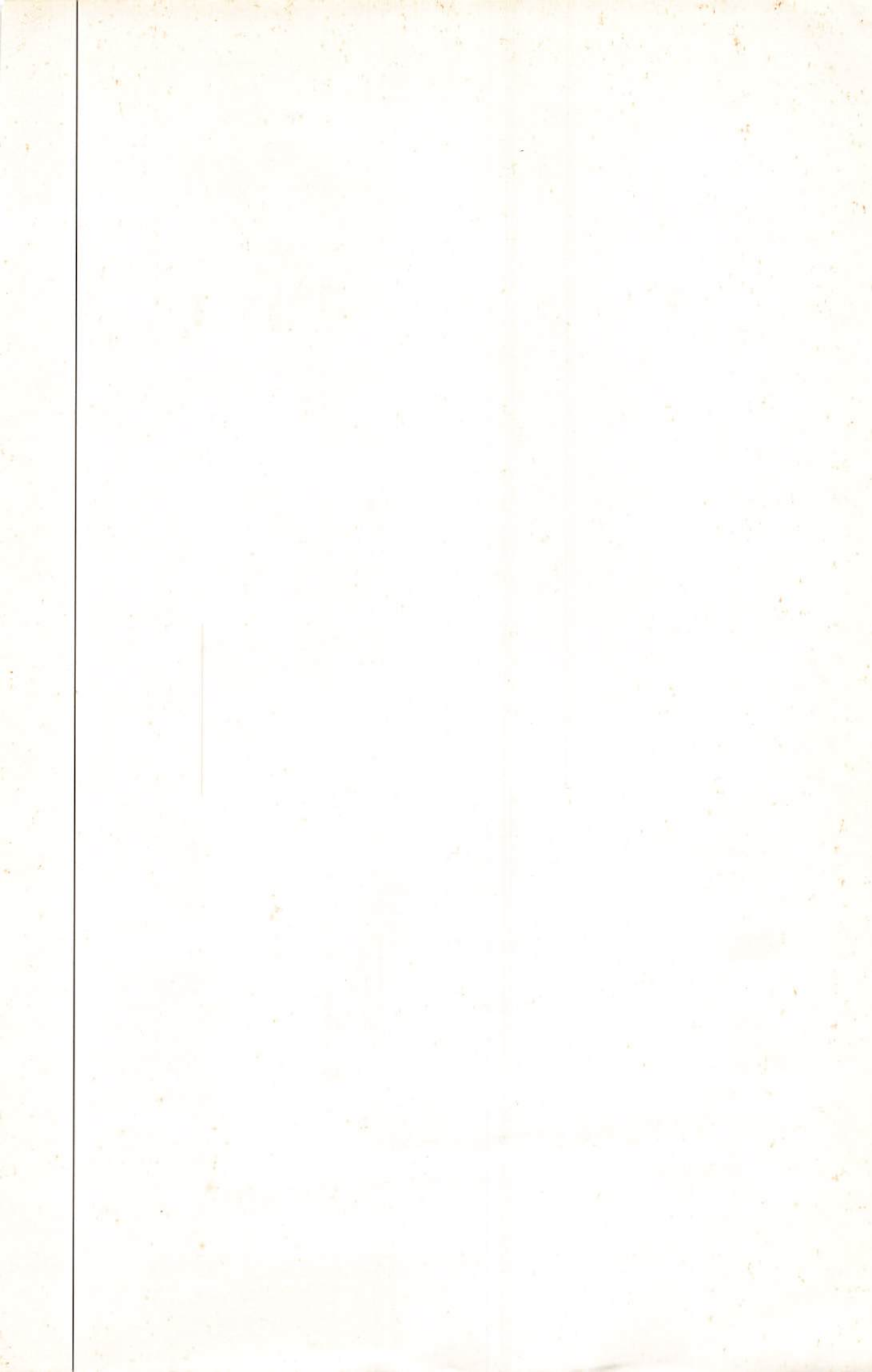
The horizontal axis is the normalized Chi-square

Degrees of freedom: 10

The probability of exceeding ChiSq= 0.97 is 49.35% (= the shaded area)

..... 3d ChiSq= 1.0

Horizontal axis:
 XMin: 0.0000E+00
 XMax: 5.0000E+00
 Vertical axis:
 YMin: 0.0000E+00
 YMax: 1.2553E+00



SELESAI

PAMERAN

01 SEP 1997

[Faint handwritten notes and stamps are visible in the background of the form, including the word "KARTU" and various illegible markings.]

