

ISSN 0218-4043

PROCEEDING

**PROGRAM PENELITIAN
PUSAT RISET DIRGANTARA
LAPAN**

1983/1984

BUKU I



DITERBITKAN OLEH
PUSAT RISET DIRGANTARA LAPAN
JL. Dr. JUNJUNAN NG. BANDUNG 40131

KATA PENGANTAR

Proceeding Program Penelitian Pusat Riset Dirgantara adalah kumpulan kertas kerja dari para peneliti di PUSRIGAN LAPAN. Pada setiap awal tahun anggaran, para peneliti secara kelompok atau sendiri, diberi kesempatan melakukan suatu judul penelitian dengan menggunakan sarana atau wahana yang tersedia di instalasi, bidang maupun makmal dasar. Kadang kala ditengah perjalanan, penelitian tidak berjalan sesuai dengan harapan, karena adanya gangguan pada peralatan, terutama peralatan yang menggunakan teknologi tinggi, tetapi sebagian besar penelitian berjalan dengan baik.

Pada penerbitan "Proceeding Program Penelitian PUSRIGAN LAPAN 1983/1984", dimuat enam topik yaitu :

1. PENELITIAN AWAL DARI POLUSI UDARA DENGAN MENGGUNAKAN TUNABLE DIODA LASER (Yeti Priyati R., Chunaeni Latief, Nurlaini J.)
halaman 3.
2. PENELITIAN POLA HAMBURAN AEROSOL H_2SO_4 DENGAN LASER HeNe ($\lambda = 0,6328 \mu m$) (Chunaeni Latief, Nurlaini J., Yeti Priyati R.)
halaman 15.
3. PENELITIAN PERAMBATAN GELOMBANG RADIO REPUBLIK INDONESIA : JAKARTA, BOGOR, BANDUNG, DAN CIREBON (Koeswadi, Sri Suhartini, M. Syarifudin, Herwita S.)
halaman 37.
4. INDEKS BIAS LAPISAN IONOSFER DI ATAS TANGERANG UNTUK TAHUN 1981 (Slamet Syamsudin, Koeswadi)
halaman 68.
5. DISTRIBUSI PULSA NOISE MATAHARI FREKUENSI 200 MHZ MELALUI STASIUN PENGAMAT MATAHARI TANJUNGSARI (Suratno, Habirun, S.L. Manurung, Supriyatno J., Maspul Aini K., Effendi)
halaman 84.
6. BEBERAPA KARAKTERISTIK LAPISAN IONOSFER DI ATAS PAMEUNGPEUK (Srie Kaloka Ps., Sarmoko Saroso, Nancy Ristanti)
halaman 102.

Pada kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih kepada seluruh staf yang terlibat dalam program ini, terutama para tenaga lapangan, operator maupun staf komputer, demikian juga kepada kerabat kerja penerbitan serta pimpinan dan pimpinan proyek di Pusat Riset Dirgantara LAPAN.

Bandung, Februari 1986
Koordinator Program
Penelitian

Drs. B. Gultom

PENELITIAN AWAL DARI POLUSI UDARA DENGAN MENGGUNAKAN TUNABLE DIODA LASER

Oleh Yeti Priyati R., Chunaeni Latief, Nurlaini J. *)

RINGKASAN

Spektroskopi tunable dioda laser merupakan teknik penting dalam pengukuran polusi udara di daerah infra merah. Pengukuran dapat dilakukan dengan cepat dan mudah dengan menggunakan spektrometer laser LS-3. Sebagai laser dioda dipakai Pb salt yang dapat bervariasi dari 3-30 μm . Penggunaan alat ini didasarkan pada kemurnian spektra, intensitas yang tinggi, tunable, dan sifat-sifat lainnya.

Untuk memberikan gambaran selanjutnya, diberikan satu contoh pengukuran gas CO_2 yang penelusurannya dilakukan dengan menggunakan metode diferensial, dan diperoleh hasil daerah kerja $\text{CO}_2(R(30))$ 1281, 1650 cm^{-1} .

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya sarana transportasi baik udara maupun darat memacu beratnya beban gas polutan di atmosfer. Apalagi diperkirakan tahun 2000 an penduduk dunia akan semakin meningkat (\pm 6350 juta) dan kebutuhan bahan bakar fosil semakin membludag, berarti pelemparan gas buang pencemar semakin tinggi. Diperkirakan udara ini semakin tercemar, maka satu kesatuan hidup akan dapat mengalami kekritisian. Akhir-akhir ini masalah pencemaran udara semakin ramai dibicarakan orang, lebih-lebih dalam era pembangunan di mana industri maupun sarana transportasi semakin meningkat, kawasan industri semakin besar dan menyebar hampir berdekatan dan membaur dengan pemukiman penduduk.

Masih perlu diingat korban akibat tidak terencananya kawasan industri dan tidak terkontrolnya gas buang pabrik maupun industri telah menelan korban tidak sedikit. Di London tahun 1952 - 1953 sebanyak 11813 orang

*) Kelompok Penelitian Fisika Atmosfer dan Antariksa

PENELITIAN AWAL DARI POLUSI UDARA DENGAN MENGGUNAKAN TUNABLE DIODA LASER

Oleh Yeti Priyati R., Chunaeni Latief, Nurlaini J. *)

RINGKASAN

Spektroskopi tunable dioda laser merupakan teknik penting dalam pengukuran polusi udara di daerah infra merah. Pengukuran dapat dilakukan dengan cepat dan mudah dengan menggunakan spektrometer laser LS-3. Sebagai laser dioda dipakai Pb salt yang dapat bervariasi dari 3-30 μm . Penggunaan alat ini didasarkan pada kemurnian spektra, intensitas yang tinggi, tunable, dan sifat-sifat lainnya.

Untuk memberikan gambaran selanjutnya, diberikan satu contoh pengukuran gas CO_2 yang penelusurannya dilakukan dengan menggunakan metode diferensial, dan diperoleh hasil daerah kerja $\text{CO}_2(R(30))$ 1281, 1650 cm^{-1} .

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya sarana transportasi baik udara maupun darat memacu beratnya beban gas polutan di atmosfer. Apalagi diperkirakan tahun 2000 an penduduk dunia akan semakin meningkat (\pm 6350 juta) dan kebutuhan bahan bakar fosil semakin membludak, berarti pelepasan gas buang pencemar semakin tinggi. Diperkirakan udara ini semakin tercemar, maka satu kesatuan hidup akan dapat mengalami kekritisian. Akhir-akhir ini masalah pencemaran udara semakin ramai dibicarakan orang, lebih-lebih dalam erapembangunan di mana industri maupun sarana transportasi semakin meningkat, kawasan industri semakin besar dan menyebar hampir berdekatan dan membaur dengan pemukiman penduduk.

Masih perlu diingat korban akibat tidak terencananya kawasan industri dan tidak terkontrolnya gas buang pabrik maupun industri telah menelan korban tidak sedikit. Di London tahun 1952 - 1953 sebanyak 11813 orang

*) Kelompok Penelitian Fisika Atmosfer dan Antariksa

meninggal akibat zat buang industri ke udara dan terulang lagi pada tahun 1962 menelan korban 63 orang meninggal.

Peristiwa-peristiwa tersebut di atas menggugah negara-negara maju untuk melakukan pencegahan dan penelitian polusi. Di awal tahun 1984 Inggris sudah menganggap polusi merupakan hal yang rawan dan memerlukan penanganan khusus.

Penelitian polusi di kota-kota besar khususnya di Indonesia umumnya di mana pertumbuhan industri dan sarana transportasi tak bisa dibendung dikarenakan merupakan satu kesatuan hidup, yang terkait dalam era pembangunan sekarang ini perlu adanya penelitian awal, untuk mencegah tercemarnya udara Indonesia sedini mungkin sejalan dengan kemajuan teknologi udara tetap bersih, segar dan nyaman. Suatu perangkat pengukur polusi yang mempunyai keandalan tinggi saat ini adalah menggunakan laser sampai dapat mengukur orde ppb (part per billion) baik secara kualitatif maupun kuantitatif.

Dalam rencana penelitian pencemaran udara ini digunakan spektroskopi laser LS-3 dengan tabung optik lintasan panjang. Sebagai sumber laser digunakan laser dioda jenis Pb-salt yang dapat diatur daerah kerjanya dengan cara pemberian suhu lingkungan dan catu arus.

Diharapkan rencana langkah awal penelitian ini membuka cakrawala polusi di atmosfer Indonesia, yang selanjutnya dapat diteruskan dengan pengukuran polusi secara berkesinambungan sehingga berdaya guna dan berhasil guna.

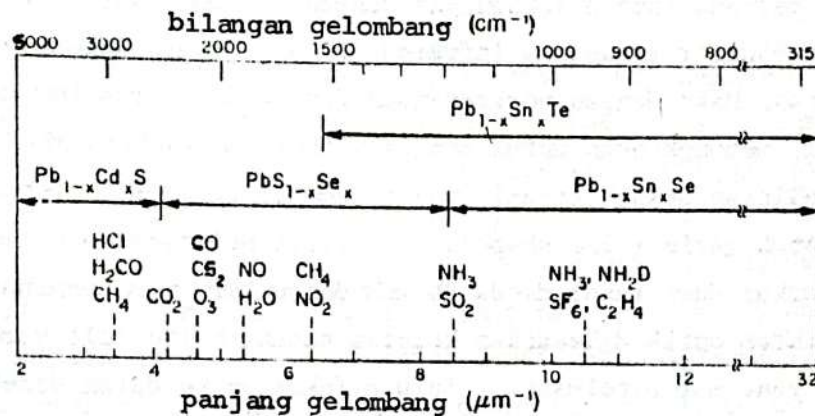
2. METODE PENGUKURAN

Seperti telah dibahas pada tulisan terdahulu⁵¹, ada bermacam-macam cara untuk menganalisa spektra cahaya yang berinteraksi dengan zat pencemar (spektroskopi). Dengan memanfaatkan sifat-sifat fisis gas yang ada di udara seperti absorpsinya, pergeseran frekuensinya dan sifat-sifat lainnya, di mana sifat-sifat tadi berbeda bila pada gas tersebut dijatuhkan berkas cahaya dengan panjang gelombang tertentu, maka pendeteksian dan pengolahan cahaya yang dipantulkan, atau dilewatkan ke daerah itu dapat memberikan informasi tentang gas polusi.

Tiap metode yang digunakan memerlukan sumber laser tertentu yang tergantung dari daerah pengukuran yang diperlukan.

Sebagai contoh, dengan laser dioda dapat digunakan dalam 5 kelas spektroskopi sebagai berikut: absorpsi, modulasi, heterodyne, opto akustik, dan resonansi. Pengkelompokan ini didasarkan pada cara sinar laser itu dimodulasi, dideteksi dan diproses. Spektroskopi Raman atau fluorensi tidak tercakup di sini karena daerah operasi yang berbeda.

Daerah panjang gelombang dari laser dioda Pb-salt untuk bermacam-macam komposisi ditunjukkan pada gambar (2.1)



Gambar 2.1 :

Daerah panjang gelombang dari laser dioda Pb-salt untuk bermacam-macam komposisi

Penggunaan tunable dioda laser sebagai sumber radiasi memberikan beberapa keuntungan sebagai berikut :

1. Kemurnian spektra yang tinggi (10^{-4} cm^{-1}).
Sifat ini dapat mengeliminir atau mengurangi error yang disebabkan garis-garis absorpsi yang berinterferensi.
2. Daerah spektra.
Daerah dari 3-30 μm mengandung spektra absorpsi dari hampir semua molekul gas.
3. Pengaturan frekuensi.
Dapat dipilih garis-garis atau daerah spektra dengan teliti. Kemudahan pengaturan memungkinkan absorpsi differensial atau teknik lain yang menggunakan informasi yang ada dalam bentuk garis absorpsi dengan maksud untuk mempertinggi perbedaan terhadap absorpsi background.

4. Kemudahan modulasi.

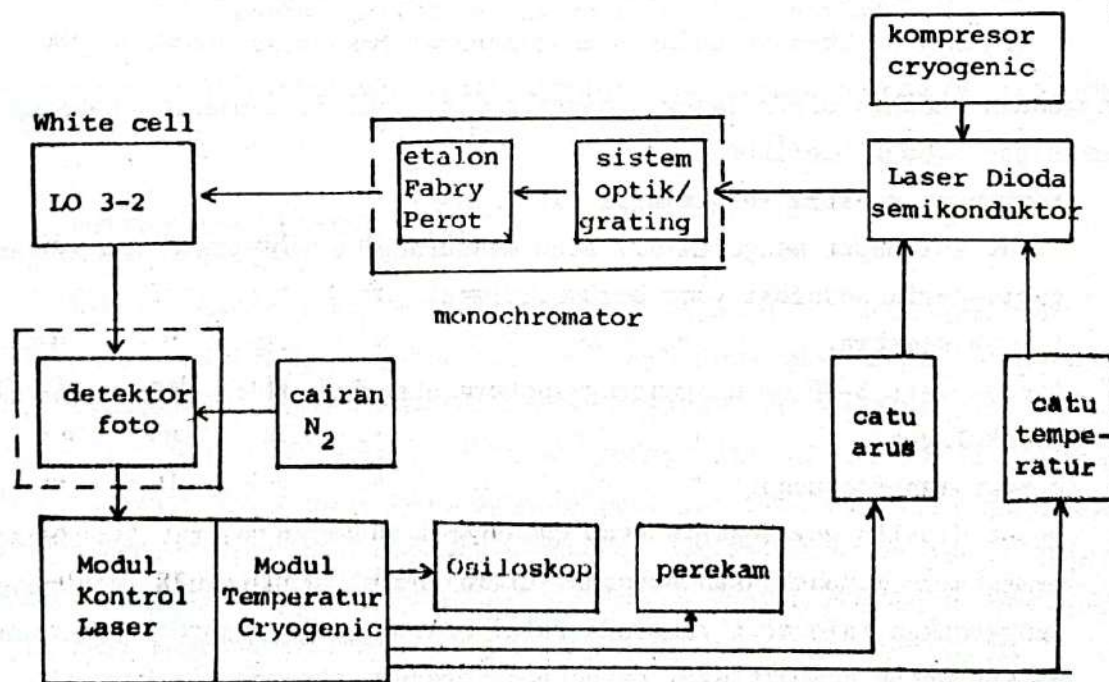
Operasi frekuensi tinggi mengurangi turbulensi dan noise partikel pada pengukuran lintasan panjang.

5. Intensitas tinggi.

Pengukuran transmisi sepanjang lintasan optik panjang dapat dilakukan dengan mudah.

Metode absorpsi

Teknik ini pertama-tama dilaksanakan dengan sistem dispersi konvensional atau sistem Fourier Transform Infrared (FTIR), dengan kemampuan resolusi yang terbatas. Maka dengan perkembangan dan kemampuan resolusi dari tunable dioda laser, memungkinkan untuk mengukur tidak hanya lebar garis (line width) dengan ketelitian besar, tetapi juga parameter absorpsi molekuler lainnya seperti bentuk garis (line shape), koefisien pelebaran dan pergeseran tekanan. Berkas dari laser dioda Pb-salt dengan komposisi tertentu, setelah melewati sistem optik dilewatkan kedalam tabung White cell yang berisi gas sampel yang mau ditelusuri, lalu difokuskan ke dalam detektor infra merah HgCdTe. Dengan bantuan sistem elektronik, keluaran dari detektor ini akan memberikan informasi dari gas yang dijejaki. Blok diagram dari sistem pengukuran dapat dilihat pada gambar (2.2)



Gambar 2.2 :
Blok diagram dari sistem pengukuran

3. RENCANA PERCOBAAN

Kelayakan untuk memonitor gas-gas di atmosfer khususnya carbon monoxida (CO) menggunakan laser dioda metode lintasan panjang telah dipelopori oleh Hinkley dan Sample (1975). Perkembangan penelusuran gas-gas di atmosfer semakin pesat, terlebih dengan dikembangkannya laser dioda jenis Pb-salt yang mempunyai lebar pita yang sempit dan mudah dilakukan pengaturan panjang gelombang melalui perubahan temperatur sekeliling laser dan catu arus lasernya.

Penggunaan untuk pengukuran gas-gas seperti CO, CO₂, NO, NO₂, O₃ dan lain sebagainya. Suatu cara untuk penelusuran kadar gas di atmosfer dalam rencana percobaan ini dilakukan dengan sistem laboratorium menggunakan tabung optik lintasan panjang (White cell).

Digunakannya tabung optik lintasan panjang dikarenakan konsentrasi gas yang ditelusuri mencapai orde ppb (part per billion). Oleh karena itu pengukuran dengan metode absorpsi sinar laser yang dilakukan pada gas yang diukur akan dapat terbantu dengan memperpanjang lintasan yang berarti memperbesar kemungkinan terserapnya cahaya yang melewati gas tersebut.

3.1 Sistem Peralatan

Peralatan pelacak polusi dalam hal ini digunakan laser spektrometer (LS-3) dilengkapi dengan tabung optik lintasan panjang. Perangkat ini dapat dibagi menjadi tiga bagian besar :

i. Sistem laser spektrometer

Sistem ini digunakan untuk membangkitkan cahaya laser dari laser dioda dengan lebar pita sangat sempit dan monochromatis dapat diubah-ubah panjang gelombangnya (menggunakan kisi cermin, temperatur lingkungan dioda, arus laser). Di dalam peralatan ini dilengkapi dengan sistem optik pengarah berkas laser, detektor isyarat, dan pemotong berkas laser secara mekanik. Dari hasil pengaturan daerah kerja laser didapat daerah penyerapan gas yang selanjutnya dicocokkan dengan tabel AFGL. Dari sini secara kualitatif dapat diketahui jenis gas yang ditelusuri.

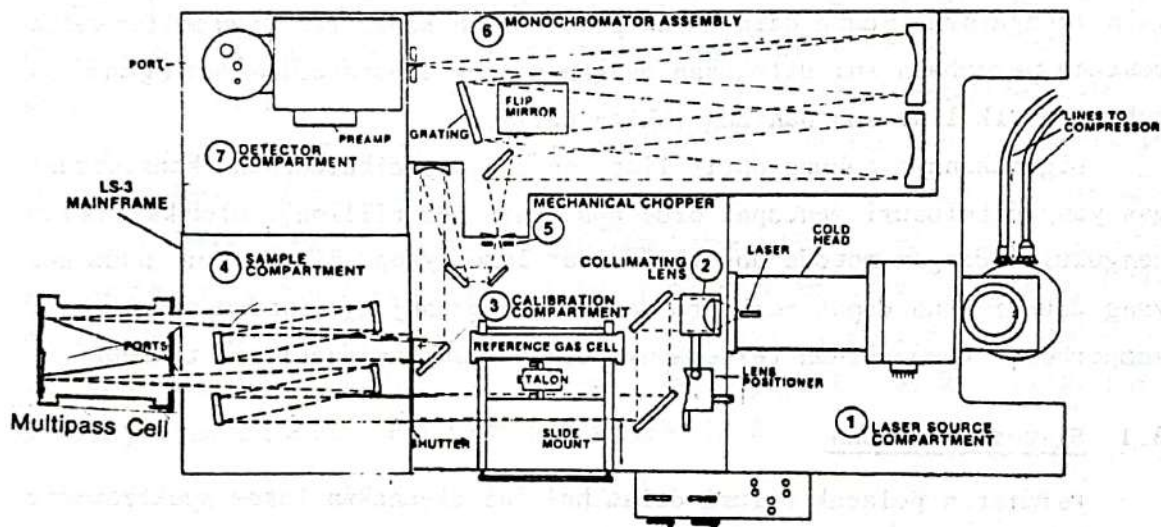
ii. Sistem tabung optik lintasan panjang

Tabung optik lintasan panjang ini terdiri dari cermin T disebelah masukan cahaya dan dua cermin D dibagian belakang tabung, keduanya

berfungsi memantulkan dan menggandakan lintasan cahaya yang berada di dalam tabung ini. Kegunaan tabung lintasan panjang sebagai sarana penempatan gas yang akan diukur agar dapat dilewati sinar laser dan gasnya tidak keluar. Di dalam tabung akan terjadi proses penyerapan (lihat gambar 3.1) dan panjang lintasan dinyatakan dengan :

$$L = 4 (n + 1) R + 2d \quad (3-1)$$

di mana n = jumlah titik bayangan pada cermin T bagian atas
 R = jari-jari kelengkungan cermin
 d = perbedaan lintasan optik antara cermin T dengan celah keluaran atau masukan cahaya



Gambar 3.1 :

Sistem Spektrometer Laser LS-3

Pengisian gas ke dalam tabung optik dilakukan dengan cara pengosongan terlebih dahulu dan pencucian dengan gas N_2 . Pengosongan dilakukan dengan menggunakan pompa vakum melalui manifold, kemudian gas yang akan diukur dimasukkan dari tabung cuplik ke dalam White cell dan dimonitor temperatur dan tekanannya. Besaran fisis ini diukur untuk perhitungan konsentrasi (perhitungan kuantitatif).

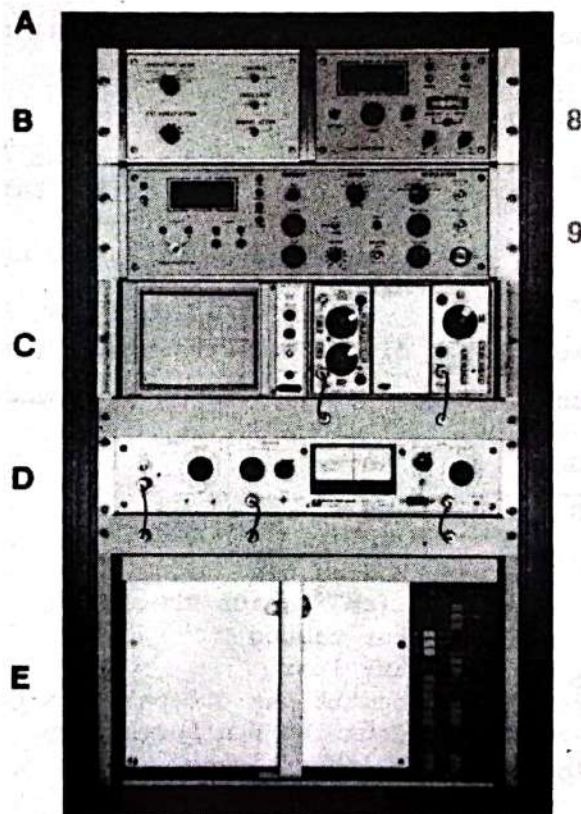
iii. Sistem elektronik

Isyarat keluaran detektor foto diproses oleh sistem elektronik, di mana keluaran yang didapat ditelusuri dengan komando dari komputer yang sekaligus berfungsi sebagai pengontrol dan pemroses serta pengumpul

data. Hasil akhir dari komputer dikeluarkan dan diplot pada recorder (lihat gambar 3.2), Pada sistem elektronik ini dilakukan kegiatan :

- pengaturan temperatur lingkungan dioda laser cold head.
- pemberian catu arus dan pengontrolan dioda laser.
- pemroses isyarat.
- perekaman isyarat.
- pengontrolan pemotong cahaya baik elektronik maupun mekanik.

Kesemua peralatan ini dilengkapi dengan recorder dan monitor gambar atau bentuk isyarat digunakan oscilloscop dan ditambah komputer SP 5080 sebagai data aquisition system. (lihat gambar 3.2)



Gambar 3.2 :
Sistem elektronik dan komputer SP 5080.

3.2 Pengukuran Gas

Langkah awal percobaan setelah tabung putih lintasan panjang diisi dengan gas yang akan dijejaki adalah menentukan daerah kerja gas yang mempunyai daerah penyerapan tinggi, ini dilihat dari garis strength line pada AFGL yang paling besar disekitar kerja foto diodanya. Penelusuran dilakukan dengan mengarahkan panjang gelombang yang tepat dengan kisi cermin, kemudian menggunakan temperatur lingkungan dan yang terakhir catu arus laser.

Data yang diperoleh direkam dan diserahkan ke komputer SP 5080 setelah diproses data dikeluarkan untuk diplot pada recorder (lihat gambar 3.3). Dari sini dapat dianalisa gas penyerapnya dan konsentrasi gasnya. Pada contoh gambar 3.3, penelusuran yang telah dilakukan terhadap gas CO₂ pada berbagai variasi konsentrasi.

Penelusuran dilakukan dengan metode differensial. Secara umum dasar perhitungan dan penelusuran pada hukum Beer di mana :

$$- \ln \left(\frac{I}{I_0} \right) = \alpha L c \frac{P}{P_0} \quad (3-2)$$

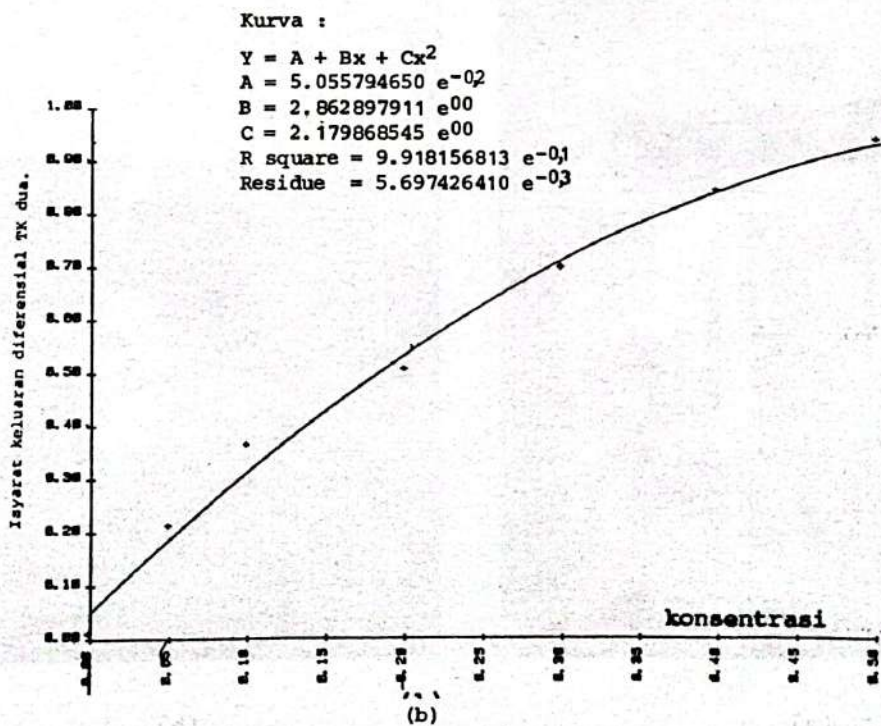
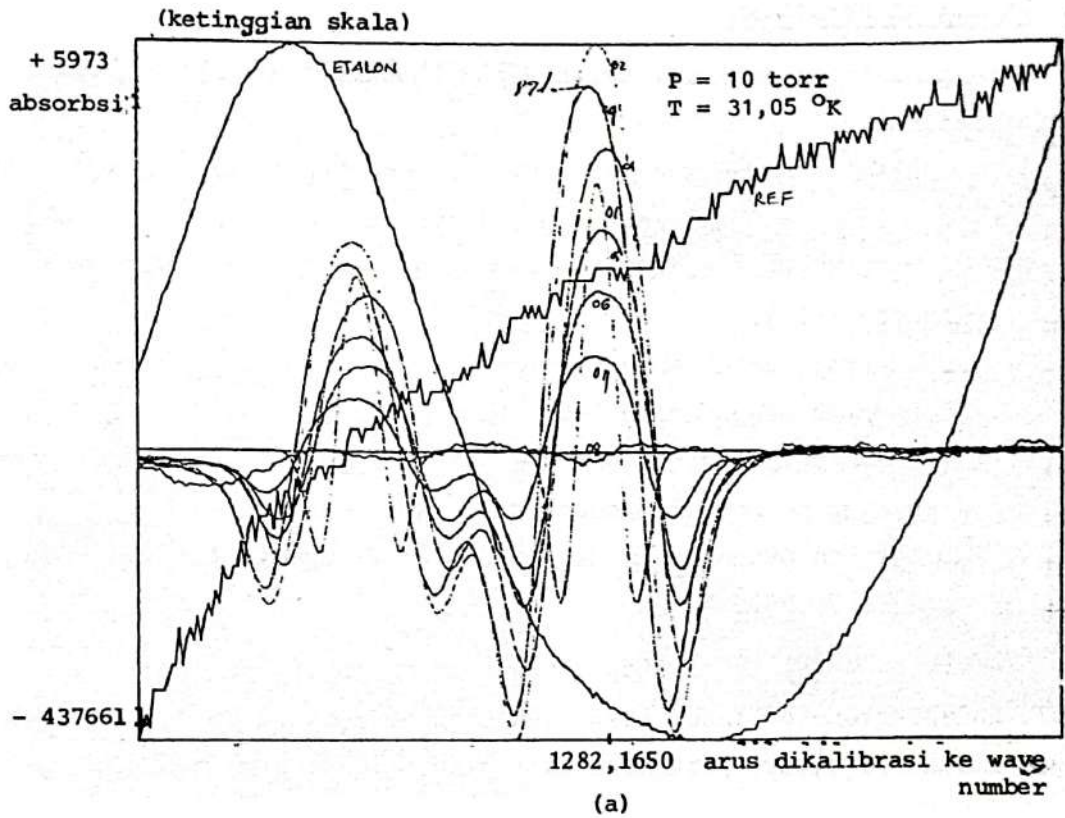
di mana I_0 dan I = intensitas cahaya masukan dan cahaya keluaran
 L = lintasan optik (panjang tabung)
 c = konsentrasi
 p = tekanan gas di dalam tabung
 p_0 = tekanan udara luar

Hasil pengukuran akan didapat absorpsinya αL dan dari tabel AFGL dapat dapat dicari konsentrasi gasnya menggunakan persamaan :

$$c = \frac{(\alpha L) p_0 T}{n S L p T_0} \times \frac{\Delta \nu_D}{A} \quad (3-3)$$

di mana S = strength line gas
 n = molekul (cm⁻³) pada STP
 T = temperatur tabung
 T_0 = temperatur luar
 A = faktor bentuk gas didapat dari penggabungan bentuk Gaussian dan Lorentzian
 $\Delta \nu_D$ = setengah lebar bidang

Dari hasil percobaan diperoleh daerah kerja CO₂ adalah 1282,1650 cm⁻¹ pada daerah CO₂ (R(30)) dengan strength line 4,070 x 10⁻²⁵ (cm⁻¹/mole cm⁻²). Setelah diplot didapat grafik konsentrasi CO₂ lawan isyarat keluaran diferensial tingkat 2 (metode pengukuran).



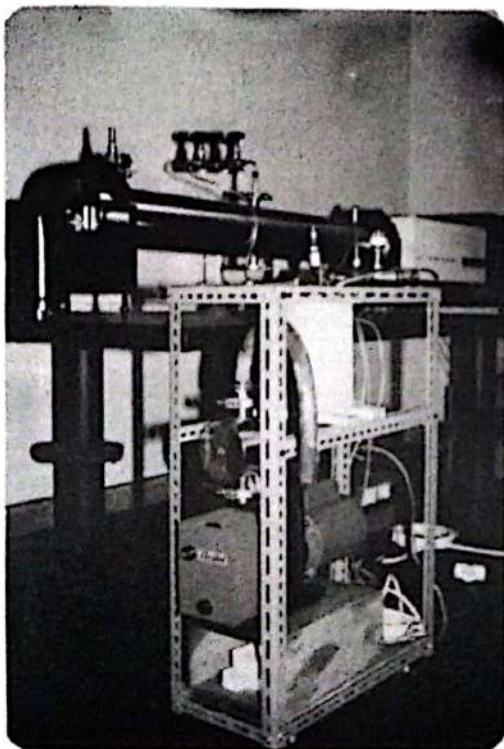
Gambar 3.3 :
Hasil pengukuran CO₂

3.3 Pembuatan Peralatan

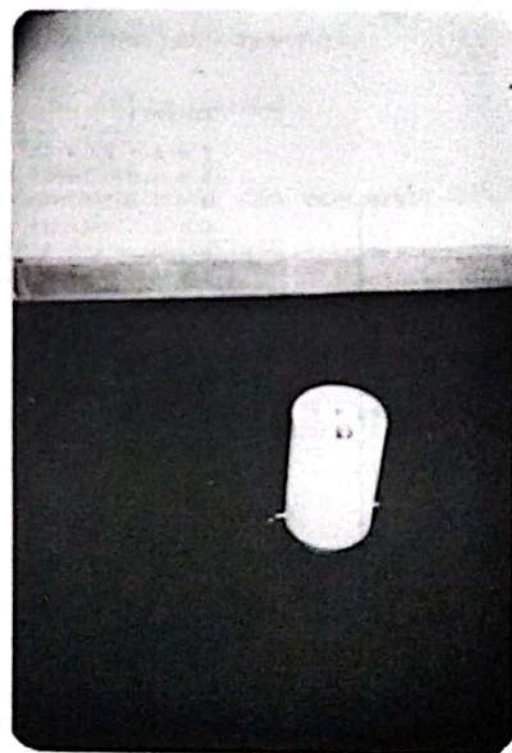
Pada penelitian awal ini telah dibuat beberapa peralatan penunjang sebagai berikut :

1. Manifold, perangkat untuk saluran pencampur gas (polusi) yang akan diukur, gas pencuci dan pemvakuman.
2. Tempat dudukan termometer pada tabung optik lintasan panjang (White cell).
3. Cold trap, untuk mendinginkan udara yang dipompa keluar, agar kemampuan pengosongan lebih berdaya guna.
4. Dudukan pompa vakum, untuk kesatuan sistem manifold, cold trap, sehingga pompa vakum mudah dipindahkan.
5. Dilakukan pengosongan dan pengisian Cryogenic compresor dengan gas He 99,9999 %.

Semua peralatan tersebut di atas dibuat dengan maksud untuk melengkapi peralatan Spektrometer laser LS-3, sehingga pengukuran dapat dilakukan dengan mudah. Foto dari peralatan tadi bisa dilihat pada gambar 3.4.

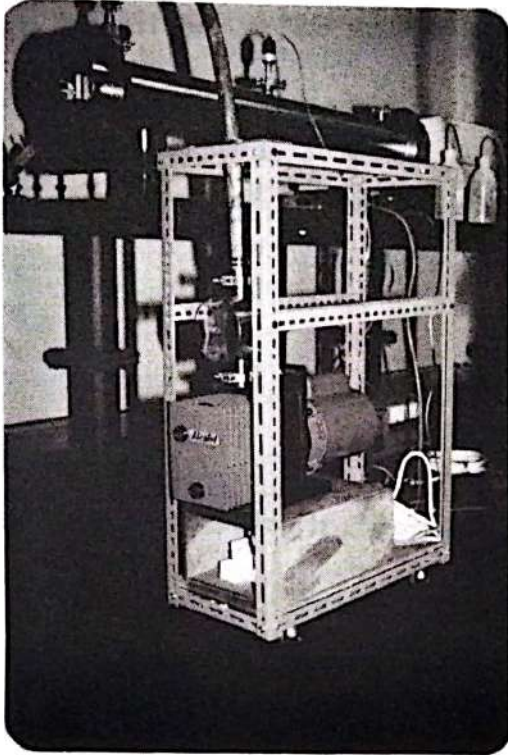


(a)

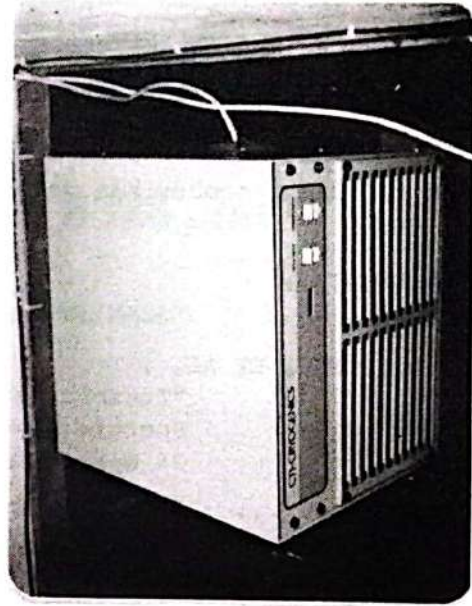


(b)

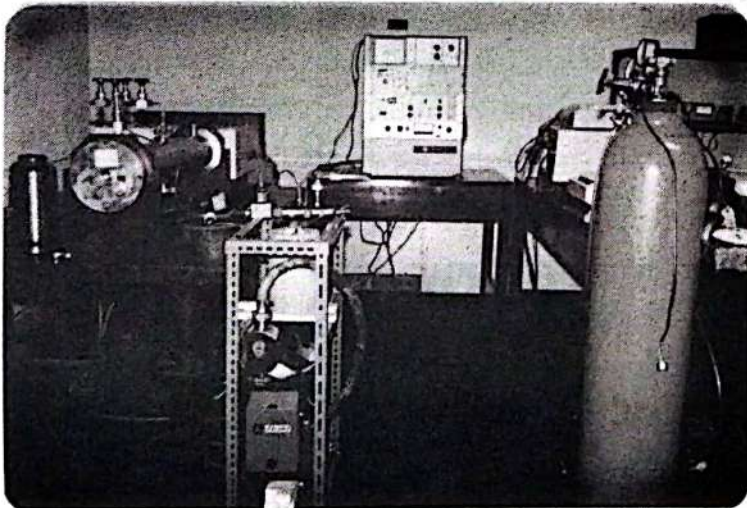
Gambar 3.4 :



(c)



(d)



(e)

Keterangan :

- a. manifold dan dudukan termometer pada tabung optik lintasan panjang (white cell)
- b. Cold trap
- c. Dudukan pomparakum
- d. Cryogenic Compressor
- e. Foto keseluruhan peralatan.

Gambar 3.4 :

Foto peralatan penunjang spektrometer laser LS-3

4. KESIMPULAN

Bila dibandingkan dengan teknik lainnya, pengukuran polusi udara dengan menggunakan spektrometer laser dioda memberikan beberapa keuntungan sebagai berikut; sifat-sifatnya yang unik, dapat menelusuri hampir semua gas polusi dengan sensitivitas tinggi. Diharapkan penelitian awal dari polusi udara ini dapat memberikan gambaran bagi penelitian berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. R.S. ENG, ET AL, :
"Tunable Dioda Laser Spektroskopi"
Spectra Physics, Laser Analytics Division,
25 Wiggins Avenue, Bedford, Massachusetts.
2. : "Laser Analytics Inc"
Condensed Current Publications, Applications of
Tunable Dioda Lasers, May 1979.
3. : "Manual Laser Source Spectrometer"
Revised December 26, 1979.
4. DEAN E. PAINTER :
"Air Pollution Technology"
Reston Publishing Company, Inc.
Reston, Virginia 22090.
5. STAF LASER : "Seminar Polusi Udara"
LAPAN Bandung.
6. CHUNAENI LATIEF :
"Pengukuran Absorpsi Gas dengan Menggunakan
White cell pada Spektroskopi Laser"
Majalah LAPAN, 1982.