

SPEKTROMETER FOTOAKUSTIK UNTUK PELACAKAN GAS ETILEN (C_2H_4)

Murniati
Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Sriwijaya

ABSTRAK

Spektrometer fotoakustik (FA) merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk mendeteksi gas etilen (C_2H_4) sebagai salah satu jenis gas polutan. Cara kerjanya didasarkan pada perubahan serapan radiasi inframerah menjadi bunyi sesudah radiasi tersebut diserap oleh cuplikan gas yang berada di dalam sel resonansi fotoakustik. Spektrometer ini menggunakan sebuah sumber radiasi laser CO_2 yang panjang gelombangnya dapat ditala dan memancarkan garis-garis laser antara 9-11 μm , sedang daya keluarannya berkisar antara (0,1-0,7) W. Sinyal akustik dideteksi dengan mikrofon mini yang mempunyai kepekaan 10 mV/Pa. Asap buangan pabrik gula disedot kemudian diinjeksikan kedalam sel fotoakustik. Setelah radiasi laser dilewatkan pada sel fotoakustik yang telah berisi sampel dan peralatan lainnya dioperasikan, maka terbentuk spektrum yang direkam dengan alat perekam. Hasil yang diperoleh dari pendeteksian sampel udara lingkungan pabrik gula Madukismo Yogyakarta terdapat 52 ppm gas etilen.

Kata Kunci: Spektrometer Fotoakustik, etilen, Asap buangan pabrik gula.

PENDAHULUAN

Spektroskopi fotoakustik (FA) merupakan pengukuran radiasi yang berinteraksi dengan suatu cuplikan dengan cara mendeteksi sinyal akustik yang ditimbulkan oleh radiasi yang dimodulasi dan dilewatkan pada suatu sel fotoakustik yang berisi cuplikan tersebut. Pada spektroskopi FA sinyal yang dideteksi berbanding langsung dengan kuantum energi yang diserap

cuplikan. Oleh karena itu pantulan dan hamburan tidak terlalu berarti pengaruhnya seperti pada cara konvensional. Begitu pula pada spektroskopi FA, tidak perlu adanya persyaratan transmisi sehingga cuplikan yang tidak tembus radiasi pun dapat dianalisis.

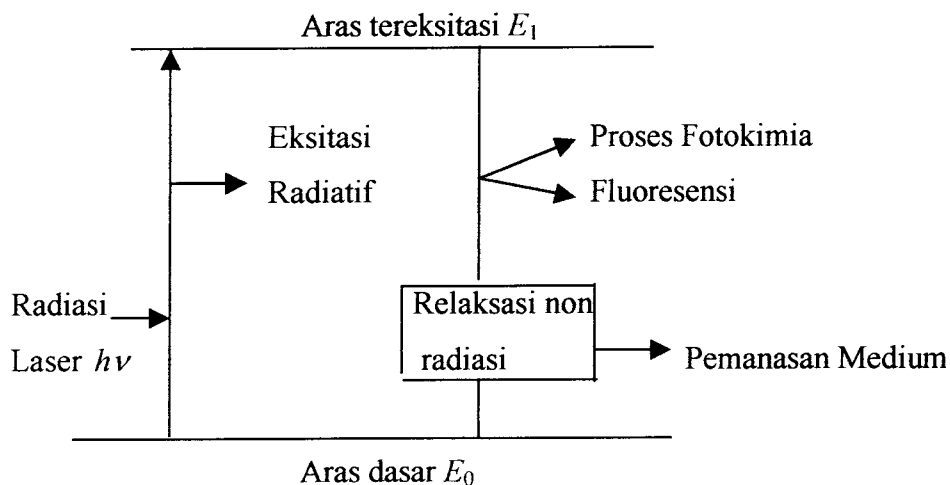
Disamping beberapa kelebihan spektroskopi FA di atas, metode FA menjadi metode yang efektif dan efisien, karena kehadiran laser dengan sifat khususnya, yaitu dayanya yang tinggi serta sifat ekawarnya

(*monochromaticity*) yang pasti dan kepekaan (*Sensitivity*) yang sangat tinggi dapat dicapai oleh teknik spektroskopi FA. Dengan demikian teknik FA menyajikan metode yang lebih mudah untuk mendeteksi atau melacak gas pengotor yang berada dalam suatu campuran gas lain.

Penyerapan Radiasi dan Efek Fotoakustik

Serapan radiasi oleh suatu molekul gas terjadi apabila radiasi tersebut beresonansi dengan transisi antar tingkat-tingkat tenaga molekul gas tersebut. Jika molekul gas menyerap radiasi foton, maka molekul yang menduduki tingkat tenaga

dasar E_0 (*ground state*) akan tereksitasi ke tingkat tenaga yang lebih tinggi E_1 (*excited state*), dengan $\Delta E = E_1 - E_0 = h \nu$ merupakan perbedaan tenaga antara dua tingkat tersebut, sedangkan ν merupakan frekuensi radiasi foton yang diserap. Molekul yang tereksitasi tadi berada dalam keadaan tidak stabil sehingga cenderung kembali ke keadaan dasar yang stabil dengan cara membuang energi ΔE (proses deeksitasi). Proses pererasan molekul tersebut berlangsung melalui berbagai macam cara seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Beberapa proses yang terjadi pada molekul menuju tingkat dasarnya setelah menyerap radiasi laser $h\nu$ (Rosencwaig, 1980)

- a. Molekul memancarkan radiasi foton yang sering disebut pererasan radiatif atau proses fluoresensi.
- b. Molekul memulai reaksi secara kimia, atau pengaturan ikatan kimia, yang dinamakan proses foto kimia.
- c. Molekul satu menumbuk molekul lain yang berspesies sama yang berada pada keadaan dasar E_0 kemudian mengeksitasi molekul tersebut ke keadaan eksitasinya E_1 . Proses demikian disebut sebagai pemindahan energi antar sistem.
- d. Molekul gas saling bertumbukan dan sewaktu itu tenaga eksitasi diubah menjadi tenaga translasi atau tenaga kinetik yang mengakibatkan tenaga translasi dua molekul sesudah tumbukan lebih besar dari pada sebelum tumbukan. Hal ini akan menimbulkan pemanasan medium gas.

Proses fotokimia terjadi pada energi radiasi yang cukup tinggi, sedangkan pada energi radiasi rendah proses yang terjadi adalah fluoresensi dan pererasan dengan cara benturan. Pererasan radiasi terjadi melalui fluoresensi dalam waktu karakteristik $\tau_r = 10^{-7}$ detik, pada panjang gelombang $\lambda = 10 \mu\text{m}$

dan $\tau_r \approx 10^{-7}$ detik pada panjang gelombang (0,4 - 0,8) μm (Harren, 1988). Sedang pererasan nonradiatif dengan cara tumbukan antar molekul nilai waktu karakteristiknya bervariasi antara $\tau_{nr} = 10^{-5}$ sampai 10^{-7} detik pada tekanan atmosfer (Harren, 1988). Dengan demikian pada panjang gelombang $\lambda = 10 \mu\text{m}$, pererasan radiatif dapat diabaikan karena laju pererasan nonradiatif ($1/\tau_{nr}$) jauh lebih cepat dari pada laju pererasan radiatif ($1/\tau_r$).

Efek fotoakustik sangat ditentukan oleh banyaknya proses pererasan nonradiatif. Dengan demikian untuk radiasi laser yang mempunyai panjang gelombang di sekitar 10 μm , proses pererasan yang terjadi hampir seluruhnya berupa pererasan nonradiatif. Panjang gelombang pada daerah ini dimiliki oleh radiasi inframerah yang dihasilkan oleh sumber radiasi laser CO_2 .

Radiasi inframerah (laser CO_2) memberikan peluang besar terjadinya pererasan dengan cara non-radiatif yaitu melalui tumbukan antar molekul yang mengakibatkan tenaga rata-rata meningkat

diikuti oleh peningkatan suhu medium cuplikan. Pada ruang tertutup kenaikan suhu mengakibatkan kenaikan tekanan. Bila intensitas radiasi dimodulasi pada frekuensi audio, maka akan terjadi fluktuasi tenaga rata-rata dan suhu cuplikan, sehingga terjadi modulasi tekanan yang dapat dideteksi dengan detektor akustik misalnya mikrofon. Besarnya sinyal FA berbanding langsung dengan intensitas radiasi yang diserap cuplikan dan daya tanggap mikrofon. Berdasarkan hukum Lambert-Beer dalam Meyer 1986 bila serapan yang terjadi sangat lemah maka diperoleh besar sinyal FA (S) berbanding lurus terhadap konstanta sel (F), daya tanggap mikrofon (R), daya laser (I), dan konsentrasi cuplikan (C).

$$S = FRI\alpha C$$

Alpha (α) adalah koefisien serapan molekul gas dalam ($\text{cm}^{-1}\text{atm}^{-1}$). Berdasarkan rumus di atas berlaku kesebandingan antara sinyal FA dengan konsentrasi molekul penyerap, maka detektor dapat dipakai untuk melacak gas kelumit sekaligus menentukan konsentrasinya, bila α telah diketahui nilainya.

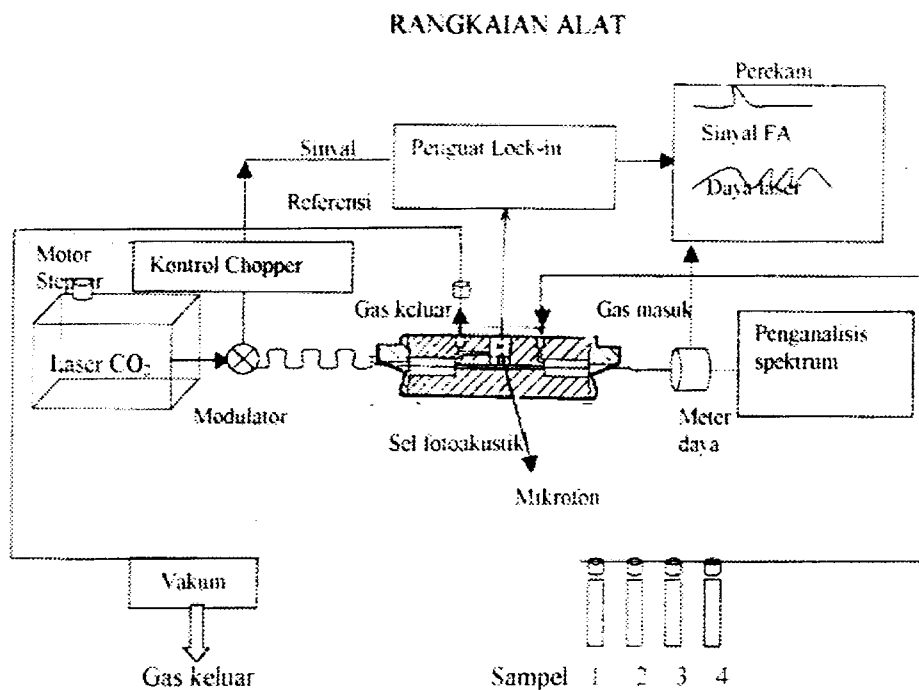
METODOLOGI

Alat dan Bahan

- Laser CO₂ sebagai sumber radiasi
- Sel Fotoakustik
- Penguat Lock-in
- Modulator
- Penganalisis Spektrum
- Gas lingkungan pabrik gula
- Perekam
- Detektor daya (powermeter)
- *Thermal Image Plate* (TIP)
- *Lens Cleaning Tissue Paper*
- Gas etilen murni C₂H₄

Proses pendeteksian sinyal fotoakustik dapat dijelaskan sebagai berikut:

Radiasi laser gas CO₂ yang dapat ditala panjang gelombangnya dengan motor *stepper* antara 9 – 11 μm dimodulasi oleh chopper (modulator) dengan frekuensi yang sesuai frekuensi modulator (f_m) dengan frekuensi resonansi akustik yang terjadi di dalam sel FA. Radiasi laser tersebut dilewatkan ke dalam sel fotoakustik yang berisi gas cuplikan sehingga terjadi efek fotoakustik. Sinyal yang terbentuk dideteksi dengan mikrofon yang dipasang di tengah-tengah antara ujung-ujung resonator. Sinyal akustik



Gambar 2. Rangkaian alat spektrometer fotoakustik untuk pelacakan gas etilen

yang ditangkap oleh mikrofon masih sangat kecil, sehingga sinyal tersebut perlu diperkuat dengan penguat "lock-in". Disamping menerima sinyal dari mikrofon, lock-in juga menerima sinyal dari Chopper yang sering disebut sinyal referensi. Hanya sinyal akustik yang mempunyai frekuensi yang sesuai dengan sinyal referensi f_m saja yang diperkuat

oleh lock-in. Sinyal keluaran lock-in direkam oleh perekam (recorder) bersamaan dengan daya keluaran yang dideteksi oleh power meter untuk menormalisasi sinyal akustik diatas.

Pada pembuatan gula pada mulanya berasal dari air tebu yang mengandung banyak unsur C, sebelum menjadi gula masih

bercampur dengan H_2O . Kemudian dipanaskan untuk memisahkan antara gula dengan air. Pada saat terjadi pemanasan maka akan ada gas C_2H_4 (etilen) yang terbentuk.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kepekaan Spektrometer Fotoakustik Laser CO_2 untuk pelacakan etilen

Setelah sinyal akustik hasil serapan gas etilen telah diperoleh, kemudian dihitung sinyal ternormalisasi untuk etilen sebesar 16 mV/W, derau sistem sebesar $(2,0 \pm 0,5) \mu m$. Jadi nisbah sinyal ternormalisasi (S) etilen terhadap derau (N) besarnya adalah $(S/N) = 8000$. Konsentrasi (C) etilen 10 ppm memberikan batas deteksi terkecil (BDT) =

$\frac{C}{S/N}$ yang masih bisa dideteksi sistem FA

besarnya $\frac{10}{8000} = 1,25 \times 10^{-3}$ ppm atau $(1,25$

$\pm 0,13)$ ppb .

Tetapan sel (F) merupakan perbandingan tetap antara tekanan (P) dengan koefisien serapan (α) dan daya laser

(I). Walaupun F tidak tergantung pada α dan I tetapi F dapat dicari dari hasil terukur α dan I serta sinyal pada penguat lock-in dengan cara sebagai berikut : Diinjeksikan etilen dengan konsentrasi 10 ppm ke dalam sel fotoakustik kemudian diamati bentuk spektrumnya seperti pada gambar 3. Setelah itu dihitung koefisien serapannya dengan cara

$$\alpha_{10 \text{ ppm } C_2H_4} = (\alpha_{C_2H_4} \text{ atm}^{-1} \text{ cm}^{-1}) \cdot (10 \cdot 10^{-6} \text{ atm})$$

$$= 10 \cdot 30,4 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^{-1}$$

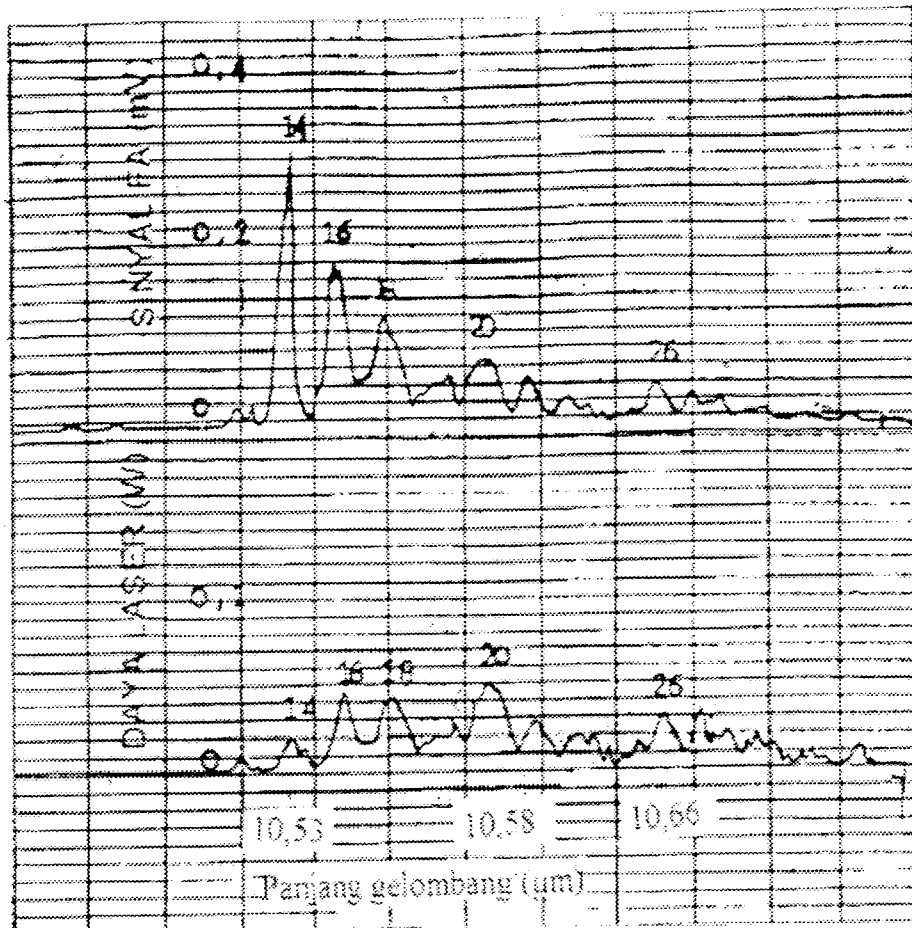
Besar sinyal akustik yang terbaca pada lock-in disajikan pada gambar 3 sebesar 0,32 mV maka untuk menghitung tetapan sel fotoakustik (F_{exp}) yaitu

$$S_{\text{lock-in}} = I \cdot \alpha_{10 \text{ ppm}} \cdot S_{\text{mic}} \cdot F_{\text{exp}}$$

$$0,32 \text{ mV} = (2 \times 10^{-2} \text{ W}) \cdot (10 \cdot 30,4 \text{ cm}^{-1}) \cdot 10^{-6} (10 \text{ mV/Pa}) F_{\text{exp}}$$

sehingga tetapan sel secara eksperimen besarnya $F_{exp} = 5263 \text{ Pa cm / W}$

Pengamatan Spektrum etilen



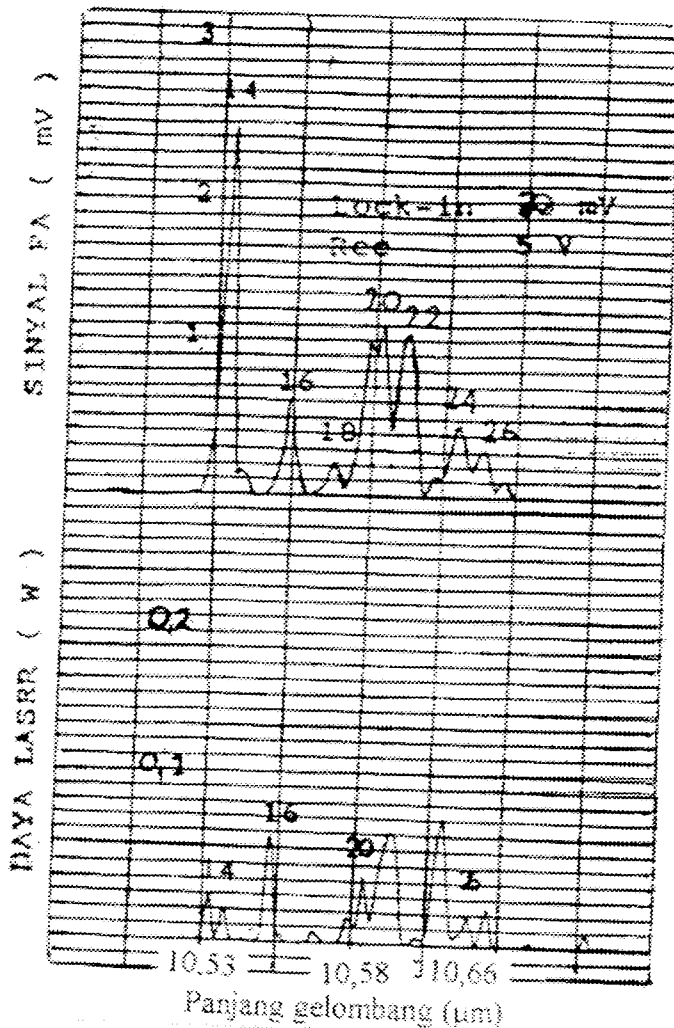
Gambar 3. Spektrum serapan 10 ppm etilen dalam nitrogen pada kepekaan lock-in 20 mV

Pengamatan sinyal akustik pertama dilakukan sebagai penyidik jari. Untuk mengetahui secara pasti pada panjang gelombang berapa gas etilen menyerap garis laser CO₂, maka diambil 10 ppm gas etilen diinjeksikan ke dalam sel fotoakustik, hasil

rekaman spektrum gasnya dapat dilihat pada gambar 3 di atas. Angka 14,16, 18 dan seterusnya menunjukkan jenis garis laser CO₂ pada kelompok 10 P dan angka 10,53 yang tepat berada di bawah angka 14 menunjukkan panjang gelombang lasernya. Pada gambar

terlihat dua bentuk sinyal, bagian atas menunjukkan besar sinyal akustik sedangkan bagian bawah menunjukkan besar daya laser.

Pengamatan Spektrum Udara di Pabrik Gula Madukismo Yogyakarta



Gambar 4. Spektrum serapan udara pabrik gula Madukismo Yogyakarta pada frekuensi resonansi 1650 Hz.

Hasil pengamatan spektrum di atas dapat digunakan untuk menghitung konsentrasi etilen yang terdapat di lingkungan pabrik gula dengan menggunakan

$$\text{persamaan } C = \frac{S}{FRI\alpha} = \frac{24 \text{ mV}}{5263 \text{ PaCm} \cdot 10 \text{ mV} \cdot 0,03 \text{ W} \cdot 304 \text{ Cm}^{-1}} \times 10^6$$

dengan hasilnya 52 ppm (Murniati,2001)

KESIMPULAN

Metode spektroskopi FA merupakan salah satu metode pengukuran konsentrasi gas kelumit, karena dapat dilakukan analisa kuantitatif tanpa merusak cuplikan dan juga tidak memerlukan jumlah cuplikan yang banyak serta mudah dilaksanakan. Pada penelitian ini telah dilakukan pengamatan sinyal FA gas etilen (C₂H₄), dengan sumber radiasi laser CO₂ pada frekuensi resonansi 1650 Hz. Dari hasil rekaman spektrum gasnya untuk mendeteksi gas etilen, efektif dilakukan pada posisi 10P₁₄.

DAFTAR PUSTAKA

Harren, F.J. M., 1988, *The Photoacoustic effect, refined and applied to*

biological problems, Ph.D. Thesis KUN, Nijmegen, The Netherlands. (25-49).

Meyer A., J. Comere, H. Charpentier, and C. Jaussaud, 1986, Absorption coefficients of various pollutant gases at CO₂ laser wavelengths; application to the remote sensing of those pollutants, *Applied optics*, Vol 17, No 3 (98-100)

Murniati, 2001, *Metode deteksi beberapa jenis gas polusi udara dengan spektrometer fotoakustik laser CO₂*, Tesis S-2. Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta

Rosencwaig, A, 1980, *Photoacoustics and photoacoustics spectroscopy*, John Wiley & Sons, New York. (28-30).