

# Rancang Bangun Sel Fotoakustik untuk Spektroskopi Fotoakustik Laser Dioda

Donni Kis Apriyanto<sup>1</sup>, Gurum Ahmad Pauzi<sup>2</sup>, Rizki Dwi Aptiant Putra<sup>3</sup>,  
Ramadhani Abidin<sup>4</sup>, dan Humairoh Ratu Ayu<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung  
e-mail: donni.kis@fmipa.unila.ac.id

**Abstrak**— Pada penelitian ini telah dibangun sel fotoakustik yang terdiri dari tabung resonansi dan sistem mikrofon. Mikrofon diintegrasikan pada tabung resonansi yang ada di dalam sel fotoakustik. Sistem mikrofon fotoakustik yang dibangun, dilakukan pengujian kelurusan tabung dan keluaran sinyal fotoakustik dari sistem mikrofon. Sel fotoakustik yang dibangun dapat digunakan sebagai wadah sampel spektroskopi fotoakustik dengan gas sebagai sampel. Sumber laser yang digunakan yaitu laser dioda inframerah dengan panjang gelombang 808 nm. Sinar laser yang telah dimodulasi dengan frekuensi audio 100 Hz – 20 kHz masuk ke sel fotoakustik sehingga menimbulkan perubahan tekanan di dalam tabung resonansi. Perubahan tekanan inilah yang ditangkap oleh mikrofon yang dianggap sebagai sinyal akustik. Keluaran sinyal dari mikrofon berkisar 0-0,03 mV. Hasil pengujian didapatkan frekuensi modulasi pada udara biasa sebesar  $1600 \pm 100$  Hz dan faktor kualitas sel fotoakustik 4.

**Kata Kunci:** *frekuensi modulasi, laser, mikrofon, sel fotoakustik*

**Abstract**— *In this research, a photoacoustic cell consists of a resonance tube and a microphone system. The microphone is integrated into the resonant tube, which is inside the photoacoustic cell. The built photoacoustic microphone system was tested for tube alignment and a photoacoustic signal output from the microphone system. The constructed photoacoustic cell can be used as a photoacoustic spectroscopic sample container with gas as the sample. The laser source used is an infrared diode laser with a wavelength of 808 nm. The laser beam that has been modulated with an audio frequency of 100 Hz – 20 kHz enters the photoacoustic cell causing a change in pressure in the resonant tube. This change in pressure is captured by the microphone, which is considered an acoustic signal. The signal output from the microphone ranges from 0-0.03 mV. The test results obtained the modulation frequency in ordinary air is  $1600 \pm 100$  Hz, and the photoacoustic cell quality factor is 4.*

**Keywords:** *frequency modulation, laser, microphone, photoacoustic cell*

## I. PENDAHULUAN

Spektroskopi fotoakustik adalah metode termo-optik dimana penyerapan cahaya diukur secara tidak langsung melalui gelombang panas yang diterjemahkan sebagai gelombang tekanan. Gelombang panas terjadi ketika molekul sampel disinari dengan cahaya yang intensitasnya dimodulasi. Gelombang tekanan yang dimaksud yaitu perambatan suara sesuai dengan frekuensi modulasi sumber cahaya [1].

Pada gas, molekul yang menyerap radiasi elektromagnetik akan tereksitasi ke keadaan kuantum elektronik, vibrasi, atau rotasi yang lebih tinggi. Keadaan tereksitasi ini akan kehilangan energinya melalui proses radiasi, seperti emisi spontan (fluoresensi) atau terstimulasi, dan/atau relaksasi tumbukan, dimana energi diubah menjadi energi translasi. Emisi radiasi dan reaksi kimia tidak memainkan peran penting dalam kasus eksitasi vibrasi, karena masa hidup radiasi pada tingkat vibrasi lebih lama dibandingkan dengan waktu yang dibutuhkan untuk penonaktifan tumbukan pada tekanan yang digunakan dalam fotoakustik ( $\sim 1$  bar). Selain itu, foton memiliki

energi yang terlalu kecil untuk dapat menginduksi reaksi kimia. Jadi, dalam praktiknya, energi yang diserap oleh molekul dilepaskan sepenuhnya melalui fluoresensi (pada tekanan rendah) atau tumbukan.

Pelepasan energi melalui tumbukan antar molekul menimbulkan kenaikan suhu gas. Hal ini disebabkan transfer energi ke translasi muncul sebagai energi translasi (kinetik) dari molekul gas. Densitas daya panas yang diendapkan sebanding dengan koefisien penyerapan dan intensitas cahaya yang datang [2].

Spektroskopi fotoakustik merupakan teknik yang baik dalam mendeteksi gas lacak [3]. Perancangan spektroskopi fotoakustik untuk melacak gas pernah dilakukan oleh Amin dan Mitrayana [4] yang merancang sistem fotoakustik dengan laser CO<sub>2</sub> tipe *axial* flowing sebagai sumber radiasi. Alat tersebut digunakan untuk berbagai penelitian seperti mengukur kandungan gas etilen pada orang yang mengonsumsi gorengan [5] dan pengukuran kandungan gas etilen, aseton dan amonia pada perokok [6]. Namun, alat tersebut memiliki fisik yang cukup besar dan penggunaan bahan-bahan yang tidak murah. Hal

inilah yang mendasari peneliti untuk merancang spektroskopi fotoakustik dengan bentuk yang lebih sederhana. Salah satunya dengan mengganti laser yang digunakan dengan laser dioda. Penelitian ini merupakan kelanjutan dalam perancangan sistem modulasi laser dioda [7] yang hasil akhirnya berupa spektroskopi fotoakustik dengan sumber radiasi berasal dari dioda inframerah.

## II. STUDI PUSTAKA

Spektroskopi fotoakustik yang akan dirancang, menggunakan sumber radiasi inframerah daerah jauh, tengah maupun dekat. Spektrum inframerah daerah tengah dapat direkam dari hampir semua bahan. Spektroskopi inframerah daerah tengah dapat digunakan secara luas dalam aplikasi yang melibatkan analisis kualitatif, yang menyediakan baik kelompok fungsional atau informasi struktural tentang sampel dan komposisinya atau spektrum sidik jari (identifikasi) bahan. Teknik ini juga digunakan secara luas untuk tujuan kuantitatif, karena untuk beberapa metode pengambilan sampel, absorbansi suatu pita molekul sebanding dengan konsentrasi molekul yang menimbulkan pita serapan tersebut [8].

Spektroskopi fotoakustik merupakan instrumen spektroskopi yang didasarkan pada pembangkitan efek fotoakustik. Energi foton  $h\nu$  dari sumber radiasi akan diserap oleh molekul sampel dan mengeksitasinya dari aras dasar  $E_0$  ke aras yang lebih tinggi  $E_1$ . Eksitasi ini akan terjadi jika perbedaan energi pada kedua aras  $\Delta E$  memenuhi hubungan seperti Pers (1).

$$\Delta E = E_1 - E_0 = h\nu \quad (1)$$

Jika tekanan dalam sel fotoakustik dijaga, maka molekul yang telah tereksitasi ke aras yang lebih tinggi akan meluruh ke aras dasar. Peluruhan ini dilakukan melalui transfer energi kinetik antar molekul sehingga di dalam sel fotoakustik akan terjadi peningkatan suhu medium. Perubahan suhu dalam ruang tertutup akan menyebabkan perubahan tekanan. Perubahan tekanan ini yang disebut

gelombang akustik yang dideteksi menggunakan mikrofon [4].

Gelombang akustik yang ditangkap oleh mikrofon berupa sinyal akustik yang nilainya sebanding pada Pers (2)

$$S = FRI_0\alpha C \quad (2)$$

dimana  $S$  merupakan sinyal akustik,  $F$  merupakan tetapan sel,  $R$  tetapan mikrofon,  $I_0$  intensitas sumber radiasi,  $\alpha$  koefisien serapan molekul dan  $C$  konsentrasi sampel [4]. Tetapan sel  $F$  mencakup besaran-besaran geometri sel. Tetapan sel tidak bergantung langsung pada intensitas sumber radiasi dan koefisien serapan, tetapi merupakan perbandingan tetap antara tekanan dengan koefisien serapan dan daya laser [5].

Untuk gas, hukum Beer dapat direpresentasikan Pers ((3).

$$A(\tilde{\nu}) = k(\tilde{\nu})l\rho \quad (3)$$

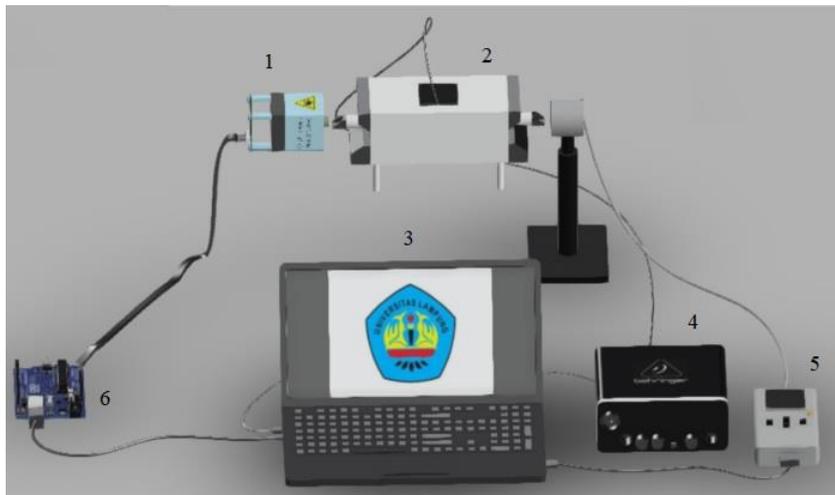
dimana  $A(\tilde{\nu})$  adalah absorbansi pada bilangan gelombang  $\tilde{\nu}$ ,  $k(\tilde{\nu})$  adalah absorptivitas pada bilangan gelombang  $\tilde{\nu}$ ,  $l$  panjang lintasan sinar, dan  $\rho$  tekanan parsial gas dalam campuran gas.

Absorbansi suatu komponen dalam campuran gas tidak hanya bergantung pada tekanan parsialnya, tetapi juga merupakan fungsi dari tekanan total. Tabrakan molekul akan memperluas struktur halus rotasi pita fase gas, fenomena yang dikenal sebagai perluasan tekanan. Sehingga untuk menjaga tekanan total tetap konstan, dapat dilakukan dengan menambahkan gas yang tidak menyerap seperti nitrogen [8].

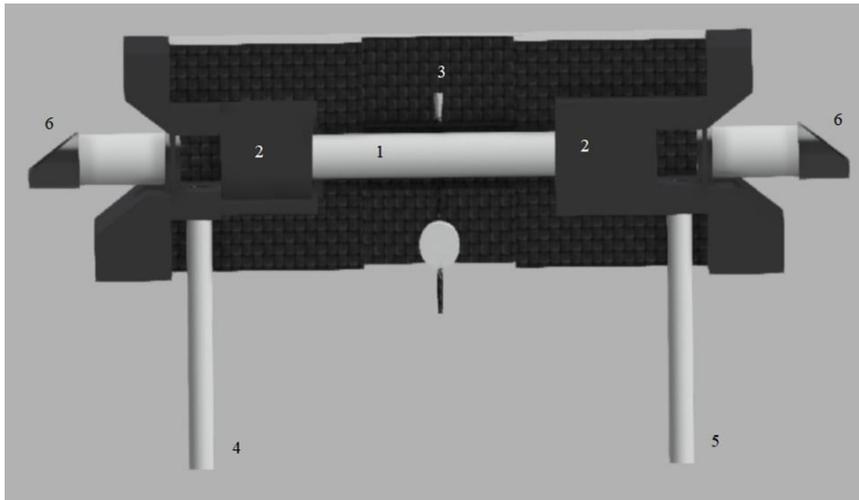
## III. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Perancangan sel fotoakustik

Rancangan disain spektroskopi fotoakustik dengan laser dioda ditunjukkan pada Gambar 1 dan rancangan sel fotoakustik ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Rancangan spektroskopi fotoakustik. (1) laser dioda; (2) sel fotoakustik; (3) Laptop; (4) Soundcard; (5) Powermeter; (6) Arduino.



Gambar 2. Rancangan sel fotoakustik. (1) Tabung resonansi; (2) Buffer; (3) Mikrofon; (4) Lubang gas masuk; (5) Lubang gas keluar; (6) Jendela transparan.

Pada pembuatan sel dengan gas sebagai sampel, wadah dibuat kedap gas yang dilengkapi dengan jendela transparan untuk memungkinkan radiasi dapat masuk dan keluar wadah Gambar 2 (6), dan tempat untuk memasukkan dan mengeluarkan gas Gambar 2 (4) [8]. Tabung resonansi berbentuk silinder dengan panjang 50 cm dan diameter dalam 4 mm. Sedangkan *buffer* berbentuk silinder dengan panjang 10 cm dan diameter dalam 16 mm. Tabung resonansi dibuat dari pipa akrilik. Pemilihan bahan tersebut karena mengurangi pengaruh panas dari luar tabung, sehingga mengurangi noise yang dapat ditimbulkan oleh bahan tabung. Mikrofon yang digunakan diambil dari mikrofon *clip-on* yang mudah didapatkan. Mikrofon ini memiliki dimensi 35 x 15 mm dengan sensitifitas  $-32 \pm 1$  dB dan impedansi 2,2 k $\Omega$ .

#### B. Pelurusan tabung resonansi

Tabung resonansi yang telah dibuat, diuji untuk melihat kelurusan terhadap sumber radiasi, sehingga sinar laser bisa masuk dan keluar. Pelurusan dilakukan dengan memasang tabung resonansi, buffer dan laser dioda merah dalam satu garis lurus. Sinar laser dioda diarahkan untuk masuk ke salah satu masukkan (Gambar 2 (6)). Tabung resonansi dan buffer diatur posisinya sehingga sinar laser dapat keluar pada keluaran di sisi lain sel fotoakustik.

#### C. Pengambilan data

Pengambilan data penelitian ini berupa pengukuran sinyal yang keluar dari mikrofon. Secara umum, pengukuran dilakukan dengan cara:

- Modulasi laser diatur pada frekuensi audio 100 Hz;
- Mengukur tegangan yang keluar pada mikrofon;
- Mengulangi prosedur pengaturan frekuensi modulasi hingga 20 kHz.

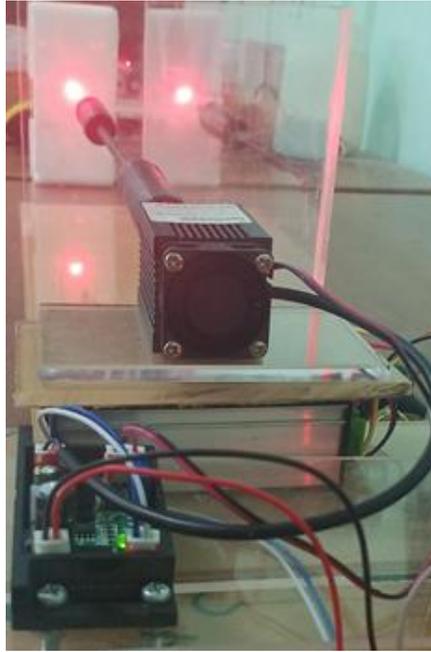
## VI. PEMBAHASAN

Perancangan sel fotoakustik dilakukan dengan meletakkan atau menanamkan mikrofon di tengah tabung resonansi. Peletakkan mikrofon di tengah tabung resonansi karena amplitudo gelombang akustik biasanya lebih optimum berada di tengah tabung. Mikrofon yang digunakan memiliki frekuensi respon 100 Hz – 16 kHz. Hal ini masih cukup untuk mendukung, karena pada penelitian yang dilakukan Mitraryana dkk. [9] frekuensi resonansi untuk gas aseton sebagai gas standar yaitu  $1650 \pm 5$  Hz.

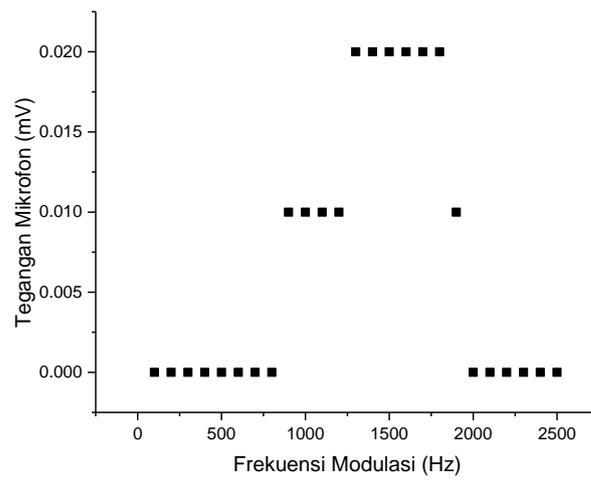
Jendela pada sel fotoakustik dibuat transparan supaya sinar laser dapat masuk dan keluar dari sel. Jendela harus ditutup rapat, supaya sampel gas tidak dapat masuk atau keluar dengan bebas sehingga sampel tidak bercampur dengan gas di luar sel. Penutupan rapat jendela, juga berfungsi untuk mengatur tekanan di dalam sel supaya tetap konstan dan perubahan suhu medium di dalam sel dapat terjadi.

Setelah pengaturan tabung resonansi, *buffer*, mikrofon dan lensa dipasang, sel fotoakustik dilakukan pengujian pelurusan. Hal ini dilakukan untuk memastikan sinar radiasi dapat masuk dan keluar dari sel. Pengujian dilakukan dengan menggunakan laser merah, karena pengujian menggunakan penglihatan mata langsung. Jika sinar laser merah tidak keluar dari sel, menandakan sel tidak lurus. Hal ini akan menyebabkan kurang optimalnya efek fotoakustik yang timbul di dalam sel. Pelurusan tabung resonansi ditunjukkan pada Gambar 3.

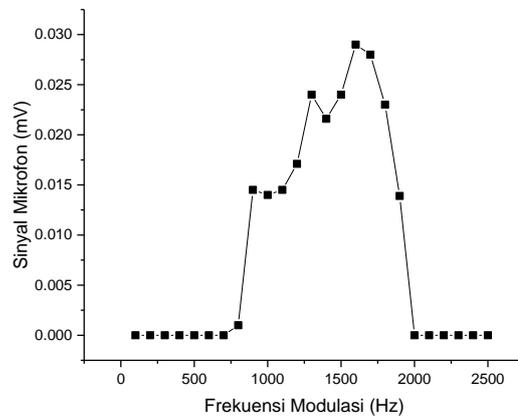
Pada pengujian sinyal yang dihasilkan mikrofon dengan menggunakan multimeter, nilai tegangan berkisar antara 0 – 0,03 mV untuk setiap variasi perubahan frekuensi modulasi laser (Gambar 4). Sehingga mikrofon sudah berfungsi untuk mendeteksi perubahan gelombang akustik di dalam sel.



Gambar 3. Pelurusan tabung resonansi



Gambar 4. Pengukuran tegangan mikrofon dengan variasi frekuensi modulasi laser.



Gambar 5. Pengukuran sinyal mikrofon dengan variasi frekuensi modulasi laser.

*Gambar 5* menunjukkan sinyal mikrofon yang dibaca dan disimpan pada PC. Dari *Gambar 5* dapat kita lihat mikrofon menghasilkan sinyal tertinggi pada frekuensi  $1600 \pm 100$  Hz dengan sinyal 0,029 mV. Sinyal efektif kurva 0,0205 mV sehingga lebar pita frekuensi yang didapat yaitu 397 Hz. Pita frekuensi yang masih lebar ini menyebabkan faktor kualitas  $Q$  yang kecil yaitu 4 dengan error yang cukup besar. Faktor kualitas digunakan sebagai ukuran kerugian yang dipakai untuk membentuk gelombang berdiri dari gelombang akustik setiap siklus gelombang. Kerugian ini biasanya muncul akibat hantaran bahang dan kekentalan. Dalam eksperimen, faktor kerugian dapat juga disebabkan karena kebocoran kecil pada sambungan pemasangan mikrofon dan lain-lain sehingga dapat memperkecil nilai faktor kualitas [10].

Secara umum, sel fotoakustik dan sistem mikrofon yang dirancang telah bekerja walaupun memiliki faktor kualitas yang masih kecil. Hal ini dapat diperbaiki dengan melakukan pengecekan kembali sel yang telah dibuat apakah terdapat kebocoran pada sel maupun mikrofon yang telah terpasang.

## V. KESIMPULAN

Sel fotoakustik dan sistem mikrofon yang dirancang telah berjalan. Ketika alat digunakan pengujian pada udara biasa, didapatkan sinyal tertinggi pada frekuensi  $1600 \pm 100$  Hz dan faktor kualitas 4.

## REFERENSI

- [1] D. A. Bui and P. C. Hauser, "Analytical devices based on light-emitting diodes - A review of the state-of-the-art," *Analytica Chimica Acta*. 2015, doi: 10.1016/j.aca.2014.09.044.
- [2] D. C. Dumitras, A. M. Bratu, and C. Popa, "CO<sub>2</sub> Laser Photoacoustic Spectroscopy: 1. Principle," in *CO<sub>2</sub> Laser - Optimisation and Application*, InTech, 2012.
- [3] F. J. M. Harren, G. Cotti, J. Oomens, and S. te L. Hekkert, "Photoacoustic Spectroscopy in Trace Gas Monitoring," *Encycl. Anal. Chem.*, pp. 2203–2226, 2000, doi: 10.1002/9780470027318.a0718.
- [4] M. N. Amin and Mitrayana, "Rancang Bangun Spektrometer Fotoakustik Laser CO<sub>2</sub> untuk Pengujian Scrubber Gas Etilen Buah Pascapanen," *Semin. Nas. Fis. dan Pendidik. Fis.*, vol. 2, no. 1, pp. 246–256, 2013, [Online]. Available: <http://jurnal.fkip.uns.ac.id/index.php/prosifis1/article/view/3316>.
- [5] M. Z. Tuqo and Mitrayana, "Aplikasi Spektroskopi Fotoakustik Laser CO<sub>2</sub> Untuk Deteksi Gas Etilen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) Pada Gas Hembus Relawan Pengonsumsi Gorengan," in *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya*, 2015, no. November, pp. 37–43.
- [6] M. Darmawan Yoga, Mitrayana, and M. Ali Joko Wasono, "Kinerja Spektroskopi Fotoakustik Laser CO<sub>2</sub> untuk Deteksi Gas Etilen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), Aseton (C<sub>3</sub>HO), Amonia (NH<sub>3</sub>) pada Gas Hembus Perokok," *J. Fis. Indones.*, vol. 19, no. 57, pp. 35–42, 2015.
- [7] D. K. Apriyanto, G. A. Pauzi, and H. R. Ayu, "Design of modulated infrared laser as a radiation source of portable photoacoustic spectroscopy," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1751, p. 012077, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1751/1/012077.
- [8] J. M. Chalmers, *Infrared Spectroscopy: Sample Presentation*, no. July. Elsevier Inc., 2013.
- [9] Mitrayana, D. K. Apriyanto, and M. Satriawan, "CO<sub>2</sub> Laser Photoacoustic Spectrometer for Measuring Acetone in the Breath of Lung Cancer Patients," *Biosensors*, vol. 2020, no. 10, p. 55, 2020, doi: 10.3390/bios10060055.
- [10] Mitrayana, M. A. J. Wasono, and M. R. Ikhsan, *Spektroskopi Fotoakustik Laser dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2017.