

Pelurusan Optik Untuk Optimalisasi Daya Laser Invisible Pada Sistem Spektroskopi Fotoakustik

Ananta Kusuma Yoga Pratama^{1✉}, Mitrayana²

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi, Indonesia

² Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 29-07-2022

Direvisi : 03-08-2022

Diterima : 04-08-2022

Kata Kunci:

Spektroskopi, fotoakustik, laser CO₂, intrakavitas

Keywords :

Spectroscopy, photoacoustic, CO₂ laser, intracavity

ABSTRAK

Dalam penelitian ini, telah ditunjukkan langkah pelurusan optik pada sistem spektroskopi fotoakustik menggunakan sumber laser CO₂ dengan konfigurasi intrakavitas. Pada *set up* konfigurasi intrakavitas di dalam sistem laser (tabung resonator) terdapat satu lagi komponen yaitu sel fotoakustik yang memiliki dua jendela brewster yang menjadi bagian dari sistem optik laser CO₂, mengakibatkan daerah pelurusan menjadi lebih panjang. Pada *set up* konfigurasi intrakavitas di dalam sistem laser (tabung resonator) terdapat satu lagi komponen yaitu sel fotoakustik yang memiliki dua jendela brewster yang menjadi bagian dari sistem optik laser CO₂, mengakibatkan daerah pelurusan menjadi lebih panjang. Pelurusan dilakukan dengan bantuan laser dioda merah. Dari proses optimasi, dihasilkan spektrum daya intrakavitas laser CO₂ maksimum 53,1±0,1 W dengan empat grup garis laser yaitu 9P, 9R, 10P dan 10R.

ABSTRACT

In this study, an optical alignment step has been demonstrated in a photoacoustic spectroscopy system using a CO₂ laser source with an intracavity configuration. In the intracavity configuration setup in the laser system (resonator tube) there is one more component, namely a photoacoustic cell which has two brewster windows which are part of the CO₂ laser optical system, resulting in a longer alignment area. Alignment is carried out with the help of red diode laser. In the intracavity configuration setup in the laser system (resonator tube) there is one more component, namely a photoacoustic cell which has two brewster windows which are part of the CO₂ laser optical system, resulting in a longer alignment area. From the optimization process, the maximum CO₂ laser intracavity power spectrum was 53.1±0.1 W with four laser line groups, namely 9P, 9R, 10P and 10R.

Corresponding Author :

Ananta Kusuma Yoga Pratama

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Tekniks, Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi

Jl. Laksda Adi Sucipto No.26, Banyuwangi, 68416, Indonesia

Email: ananta@untag-banyuwangi.ac.id

PENDAHULUAN

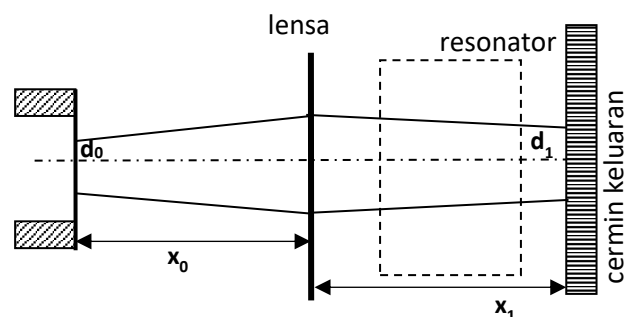
Spektroskopi fotoakustik (SFA) adalah metode kalorimetri, yaitu energi optik yang diserap oleh sampel gas langsung diukur melalui pemanasan yang dihasilkan dalam medium (Zharov dan Letokhov, 2013) . SFA banyak diaplikasikan untuk mendeteksi gas pelacak (*trace*

gas) karena kelebihanannya, seperti sensitivitas deteksi yang tinggi, waktu respons yang cepat, dan rentang dinamis yang luas (Liu, dkk, 2017).

Prinsip utama teknik SFA adalah menggunakan laser termodulasi untuk mengeksitasi molekul gas target (Vafaie, dkk, 2020). Konversi dari energi optik menjadi panas diinduksi oleh penyerapan molekul foton pada panjang gelombang yang tepat sehingga menyebabkan molekul tereksitasi ke aras yang lebih tinggi, dan kemudian dalam waktu yang singkat mengalami relaksasi non-radiatif akibat bertumbukan dengan molekul lainnya (Preukschat, dkk, 2015). Ekspansi dan kontraksi gas dalam volume tertutup memberikan kenaikan variasi tekanan yang merupakan gelombang akustik. Ketika energi optik yang disimpan dimodulasi, pemanasan periodik dihasilkan, sehingga menghasilkan modulasi tekanan pada sampel gas. Ini menghasilkan gelombang akustik, yang dapat dideteksi menggunakan mikrofon mini yang sensitif (Popa, 2015).

Untuk keperluan analisis gas, berbagai jenis laser telah digunakan, yang beroperasi dalam berbagai rentang panjang gelombang (Sherstov, dkk, 2020). Daerah panjang gelombang *mid infrared* merupakan pita spektral serapan dasar untuk banyak molekul (Qiao, dkk, 2019). Ini dapat diartikan bahwa intensitas serapan pada daerah *mid infrared* paling kuat di seluruh spektrum serapan. Oleh karena itu, sumber laser dengan panjang gelombang pancaran yang terletak di daerah *mid infrared* mampu meningkatkan sensitivitas deteksi. Laser CO₂ merupakan laser gas yang mampu memancarkan radiasi dalam rentang panjang gelombang inframerah antara 9 μm hingga 11 μm . Salah satu kelebihan menggunakan laser CO₂ sebagai sumber radiasi adalah relaksasi non-radiatif berupa transfer energi kinetik bisa menjadi proses peluruhan yang dominan, sehingga proses peluruhan oleh mekanisme lain dapat diabaikan (Dumitras, dkk, 2020).

Teknologi SFA dengan laser CO₂ terbukti memiliki sensitivitas yang tinggi sehingga mampu mendeteksi molekul gas dengan konsentrasi ppb (*part per billion*) atau bahkan konsentrasi sub-ppb (Popa dan Petrus, 2017). Untuk meningkatkan sensitivitas, sel fotoakustik resonansi dimasukkan ke dalam rongga laser CO₂ yang disebut sebagai konfigurasi intrakavitas. Konfigurasi intrakavitas pada teknik spektroskopi laser CO₂ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, memiliki keunggulan yaitu diperoleh sensitivitas yang tinggi untuk sampel bervolume kecil akibat daya laser intrakavitasnya yang tinggi (Fink, dkk, 1996). Radiasi laser yang bolak-balik dari tabung pandu gelombang (*waveguide*) ke ruang bebas dan kembali lagi ke tabung pandu gelombang akan menyebabkan hilangnya sebagian energi yang akan bernilai minimum apabila perbandingan pinggang berkas laser dengan jari-jari tabung pandu adalah sekitar 0,6. Dari keterkaitan antara pinggang berkas (d) terhadap jari-jari tabung pandu gelombang ini dapat digambarkan bentuk berkas laser Gaussian di dalam rongga laser.



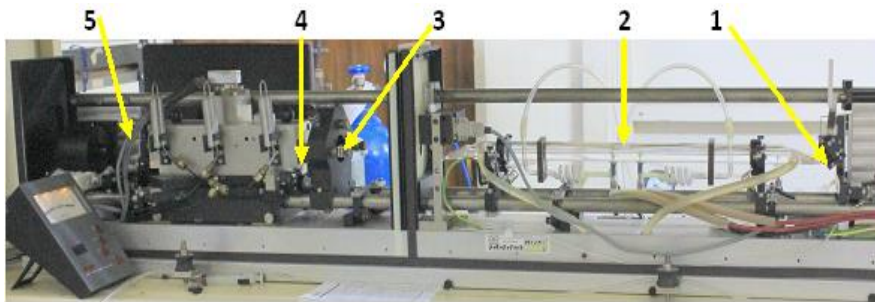
Gambar 1. Konfigurasi intrakavitas menggunakan lensa bikonveks dan out coupling mirror datar ($R = \infty$) (Harren, dkk, 1990).

Ketika sebuah lensa tipis disisipkan dalam berkas Gaussian, transformasi pinggang berkas dari d_0 ke d_1 dan jarak pinggang berkas yang baru adalah $d_1 = d_0 \sqrt{\frac{x_2 - f}{x_1 - f}}$ dan $d_2 = \frac{fx_1(d_1 - f) + A^2}{(x_1 - f)^2 + A^2}$, dengan $A = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$, dimana w_0 adalah pinggang berkas (m), λ panjang gelombang

optik (m), f sebagai panjang fokus lensa (m), d_1 jarak dari pinggang pertama ke lensa (m) dan d_2 jarak dari lensa ke pinggang berikutnya. Pada konfigurasi intrakavitas, ketepatan dalam pelurusan sistem optik dengan pengaturan lensa dan cermin keluaran, berpengaruh pada perolehan *output* daya laser agar bernilai optimum. Pelurusan sistem optik selalu menjadi tantangan tersendiri dan bahkan menjadi lebih sulit ketika sistem menggunakan laser *invisible*. Pada penelitian ini, akan ditunjukkan langkah-langkah pelurusan optik pada sistem spektroskopi fotoakustik yang menggunakan sumber laser CO₂ yang memiliki rentang panjang gelombang *mid-infrared* yang bersifat *invisible* (tak tampak mata).

METODE PENELITIAN

Sistem spektroskopi fotoakustik seperti terlihat dalam Gambar 2, dibongkar sehingga hanya grating dan diafragma cermin keluaran yang dipasang, kemudian dilakukan langkah-langkah pelurusan sebagai berikut:



Gambar 2. Komponen optik sistem spektroskopi fotoakustik konfigurasi intrakavitas 1. Grating; 2. Tabung laser; 3. Lensa intrakavitas; 4. Sel fotoakustik; 5. Cermin keluaran.

- Laser dioda merah diletakkan disebelah luar diafragma cermin keluaran dan berada dalam satu garis lurus dengan perangkat sistem spektroskopi fotoakustik. sehingga berkas laser terlihat jelas pada bidang grating.
- Posisi berkas laser yang datang diatur agar jatuh tepat di tengah permukaan bidang grating dan pantulannya tepat melewati lubang diafragma.
- Tabung laser dipasang dan berkas laser diatur agar tidak mengenai dinding tabung.
- Lensa intrakavitas dipasang di antara tabung laser dan diafragma cermin keluaran.
- Sel fotoakustik dipasang diantara lensa intrakavitas dan diafragma cermin keluaran, diatur posisinya sehingga tidak ada berkas laser yang mengenai dinding sel.
- Cermin keluaran dipasang dan diatur sehingga pantulan dari cermin keluaran tepat di tengah sumber laser dioda merah.

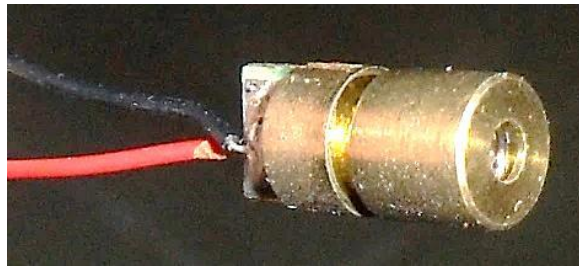
Langkah c sampai dengan f harus tetap memperhatikan posisi berkas laser yang datang jatuh tepat di tengah permukaan bidang grating dan juga seluruh pantulan grating tepat berada di lubang diafragma tempat datangnya berkas laser tersebut. Setelah proses pelurusan optik selesai, laser dioda dicopot, diganti dengan power meter dan kemudian dilanjutkan menghidupkan laser CO₂ dan melakukan optimasi daya laser.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem optik pada spektrometer fotoakustik laser CO₂ antara lain tabung lucutan laser, grating, lensa intrakavitas, cermin keluaran, yang kesemuanya ikut berperan dalam terjadinya aksi laser, harus diatur/berada dalam satu garis lurus sehingga berkas bisa diteruskan sempurna dan beresilasi dalam resonator sehingga terjadi lasing, yang ditandai dengan terbacanya daya keluaran pada power meter.

Pada *set up* awal spektrometer fotoakustik konfigurasi intrakavitas, di dalam sistem lasernya (tabung resonator) terdapat sel fotoakustik dengan kedua jendela Brewsternya yang ikut menjadi bagian dari sistem optik laser CO₂, sehingga daerah pelurusan menjadi lebih panjang. Selain itu pelurusan optik menjadi sedikit lebih kompleks, dikarenakan sistem laser terbuka dan tidak *compact* (terpadu), yaitu semua komponen pada sistem laser dapat ditangani secara terpisah, sehingga proses pelurusan menjadi sulit karena sistem laser dan sel fotoakustik harus diluruskan secara bersamaan.

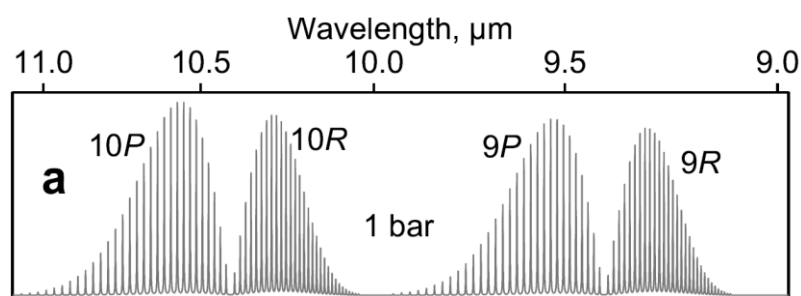
Proses pelurusan dilakukan dengan bantuan laser dioda merah, yang mempunyai panjang gelombang *visible* (Gambar 3). Laser dioda merah yang digunakan mempunyai tegangan masukan sebesar $\approx 3V$ seperti pada gambar, dan banyak tersedia secara komersial dengan harga yang relatif murah.



Gambar 3. Laser dioda merah dengan tegangan input $\approx 3V$

Berdasarkan eksperimen yang penulis lakukan, parameter pelurusan optik ini hanya ditentukan oleh ketajaman maupun pengamatan posisi berkas laser dioda merah yang jatuh pada bidang grating, sehingga subyektivitas pengamatan sangat berpengaruh terhadap hasil pelurusan. Pantulan laser dioda merah dari bidang *grating* diatur sebisa mungkin tepat berada dalam lubang diafragma sebagai tempat datangnya berkas laser, karena berkas laser dioda banyak mengalami difraksi dan pembiasan oleh lensa maupun cermin. Pelurusan yang kurang cermat (tidak lurus) menyebabkan turunnya daya laser secara drastis dan bahkan tidak terjadi *lasing*.

Proses pelurusan optik ini dilakukan pada posisi (kemiringan) grating sembarang (tidak tertentu), karena pada saat setelah proses pelurusan selesai, akan dilakukan scanning garis laser. Beberapa hal yang menjadi perhatian selama proses pelurusan optik antara lain, massa sel fotoakustik yang cukup berat; lensa maupun cermin optis yang rawan kusam dan tergores sehingga harus berhati-hati; serta saat pelepasan atau pemasangan selang pada tabung lecutan laser yang terbuat dari kaca yang rentan pecah dan retak.

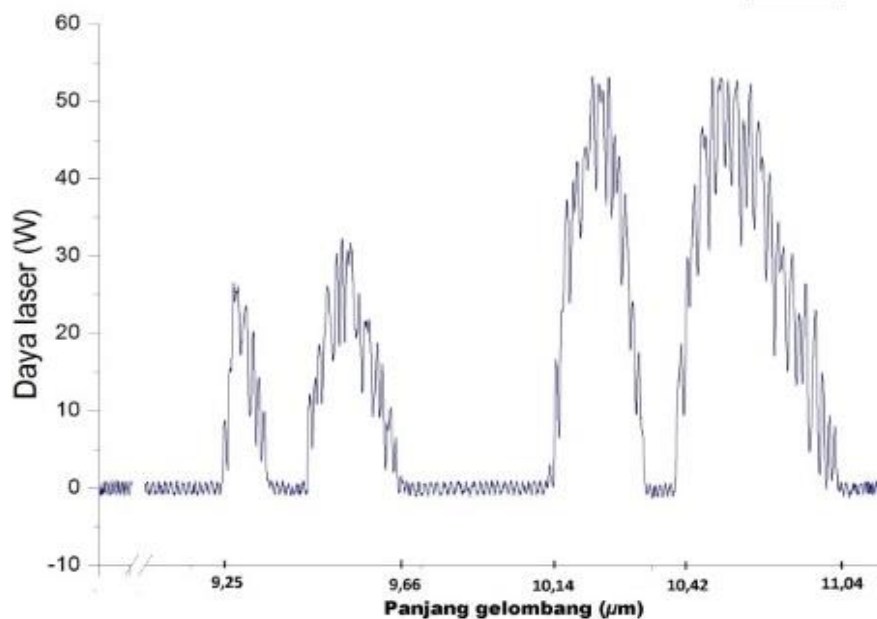


Gambar 4. Garis-garis laser vibrasional CO₂ untuk daerah 9-11 μm (Polyanskiy, dkk, 2021)

Setelah dilakukan proses pelurusan, dilakukan optimasi daya laser yang bertujuan untuk memperoleh daya laser yang optimal. Laser dengan daya keluaran tinggi merupakan sebuah keuntungan, karena sinyal fotoakustik yang terdeteksi sebanding dengan daya keluaran laser. Dari beberapa literatur serta eksperimen dalam penelitian ini, bisa dikatakan bahwa pada laser CO₂, kondisi daya laser optimal tercapai jika spektrum daya laser telah menghasilkan empat grup garis laser yaitu 9P, 9R, 10P dan 10R seperti pada Gambar 4.

Salah satu tahapan optimasi yaitu pengaturan posisi kemiringan *grating*. Pengaturan ini berfungsi untuk mengatur ketepatan berkas laser. Hal ini dilakukan pertama kali karena prosesnya yang mudah dan pengaruhnya signifikan terhadap daya keluaran laser. Pengaturan kemiringan dilakukan dengan cara mengatur (memutar) mikrometer *positioner* pada rumahan *grating*.

Dari proses optimasi yang dilakukan, dihasilkan spektrum daya intrakavitas laser CO₂ ditunjukkan pada Gambar 5 yaitu terdapat empat grup garis laser yaitu 9P,9R,10P dan 10R, daya intrakavitas maksimum $53,1 \pm 0,1$ Watt.



Gambar 5. Spektrum daya intrakavitas laser CO₂

Spektrum daya intrakavitas laser yang tampak menunjukkan spektrum daya intrakavitas laser yang muncul sebagai fungsi posisi panjang gelombang (μm). Daya yang terbaca merupakan daya laser yang terhitung dalam resonator laser, sehingga nilainya jauh lebih tinggi dari daya yang terbaca pada *power meter*. Daya intrakavitas yang terhitung merupakan hasil konversi dari daya keluaran laser yang diolah dengan program Lab VIEW.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pada *set up* konfigurasi intrakavitas di dalam sistem laser (tabung resonator) terdapat satu lagi komponen yaitu sel fotoakustik yang memiliki dua jendela Brewster yang menjadi bagian dari sistem optik laser CO₂, mengakibatkan daerah pelurusan menjadi lebih panjang. Pelurusan dilakukan dengan bantuan laser dioda merah. Dari proses optimasi, dihasilkan spektrum daya intrakavitas laser CO₂ maksimum $53,1 \pm 0,1$ Watt dengan empat grup garis laser yaitu 9P,9R,10P dan 10R.

Saran

Untuk mendapatkan daya laser yang lebih optimal, perlu diperhitungkan kondisi komponen optik seperti lensa dan cermin keluaran, karena juga akan mempengaruhi proses optimasi daya laser.

REFERENSI

- Dumitras, D. C., Petrus, M., Bratu, A. M., & Popa, C. (2020). Applications of near infrared photoacoustic spectroscopy for analysis of human respiration: A review. *Molecules*, 25(7), 1728.
- Fink, T., Büscher, S., Gäbler, R., Yu, Q., Dax, A., & Urban, W. (1996). An improved CO₂ laser intracavity photoacoustic spectrometer for trace gas analysis. *Review of Scientific Instruments*, 67(11), 4000-4004.
- Harren, F. J. M., Bijnen, F. G. C., Reuss, J., Voeselek, L. A. C. J., & Blom, C. W. P. M. (1990). Sensitive intracavity photoacoustic measurements with a CO₂ waveguide laser. *Applied Physics B*, 50(2), 137-144.
- Liu, K., Mei, J., Zhang, W., Chen, W., & Gao, X. (2017). Multi-resonator photoacoustic spectroscopy. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 251, 632-636.
- Polyanskiy, M. N., Pogorelsky, I. V., Babzien, M., Kupfer, R., Vafaei-Najafabadi, N., & Palmer, M. A. (2021). High-peak-power long-wave infrared lasers with CO₂ amplifiers. In *Photonics* (Vol. 8, No. 4, p. 101). MDPI.
- Popa, C. (2015). Detection of ethylene traces by infrared spectroscopy in mental disorders. *Rom. Rep. Phys*, 67, 1565-1569.
- Popa, C., & Petrus, M. (2017). Heavy metals impact at plants using photoacoustic spectroscopy technology with tunable CO₂ laser in the quantification of gaseous molecules. *Microchemical Journal*, 134, 390-399.
- Preukschat, T., Angster, J., & Miklós, A. (2015). Comparison of the Photoacoustic Effect in the IR and the UV Regions. *International Journal of Thermophysics*, 36(9), 2318-2327.
- Qiao, S., Qu, Y., Ma, Y., He, Y., Wang, Y., Hu, Y., Yu, X., Zhang, Z. and Tittel, F.K. (2019). A sensitive carbon dioxide sensor based on photoacoustic spectroscopy with a fixed wavelength quantum cascade laser. *Sensors*, 19(19), p.4187.
- Sherstov, I. V., Vasiliev, V. A., Karapuzikov, A. I., & Zenov, K. G. (2020). Comparative studies of photo-acoustic gas analyzers based on tunable CO₂ lasers with external and intracavity detector arrangement. *Infrared Physics & Technology*, 105, 103170.
- Vafaie, R. H., Nojavan, S., & Jermstiparsert, K. (2020). Designing a miniaturized photoacoustic sensor for detecting hydrogen gas. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(41), 21148-21156.
- Zharov, V. P., & Letokhov, V. S. (2013). *Laser optoacoustic spectroscopy* (Vol. 37). Springer.