

Mitrayana

**Aplikasi Spektroskopi
Fotoakustik Laser Co₂
pada Bidang Penyakit Dalam**



GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS

**APLIKASI SPEKTROSKOPI FOTOAKUSTIK LASER CO₂
PADA BIDANG PENYAKIT DALAM**

Penulis:

Mitrayana

Penyunting bahasa:

Wahyu

Proofreader:

Nanik

Desain sampul:

Hardianto

Tata letak isi:

Zendy

Penerbit:

Gajah Mada University Press

Anggota IKAPI

Ukuran : 15,5 × 23 cm; xviii + 220 hlm

ISBN : 978-602-386-378-5

1908233-B2E

Redaksi:

Jl. Grafika No. 1, Bulaksumur

Yogyakarta, 55281

Telp./Fax.: (0274) 561037

ugmpress.ugm.ac.id | gmupress@ugm.ac.id

Cetakan pertama: Agustus 2019

2876.117.08.19

Hak Penerbitan ©2019 Gajah Mada University Press

Dilarang mengutip dan memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit, sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apa pun, baik cetak, photoprint, microfilm, dan sebagainya.

Kata Pengantar

Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah Swt. Akhirnya, buku berjudul Aplikasi Spektroskopi Fotoakustik Laser CO₂ pada Bidang Penyakit Dalam telah selesai disusun. Buku ini merupakan bahan acuan tambahan untuk dosen, mahasiswa, dan peneliti yang hendak mendalami dan menggunakan peralatan penelitian berupa Spektrometer Fotoakustik Laser CO₂. Spektrometer Fotoakustik Laser CO₂ adalah peralatan yang memanfaatkan metode spektroskopi dengan sumber radiasi laser CO₂.

Buku ini memuat pembahasan teori pembangkitan gelombang akustik secara lengkap dan penjelasan susunan eksperimen dengan sumber laser CO₂. Selain itu, juga disajikan contoh aplikasi dalam pengukuran konsentrasi gas biomarker dari gas embus (napas) relawan berpenyakit dalam.

Tiada gading yang tak retak. Penulis sangat menunggu masukan yang membangun dari para pembaca untuk kesempurnaan buku ini.

Yogyakarta, 1 Mei 2018

Penulis

Daftar Isi

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
BAB II SUMBER LASER CO ₂ TERTUTUP	5
2.1 Struktur Aras Tenaga Getaran Molekul CO ₂	6
2.2 Substruktur Aras Tenaga Rotasi Molekul CO ₂	9
BAB III TEORI EFEK FOTOAKUSTIK PADA GAS	15
3.1 Sinyal Akustik.....	17
3.2 Derau dalam Sistem Fotoakustik Gas	26
3.2.1 Derau Akustik	26
3.2.2 Derau Elektronik.....	27
3.2.3 Derau Gerak Brown.....	27
3.2.4 Derau Mikrofon	28
3.3 Rancang Bangun Konfigurasi Intrakavitas	32
BAB IV GAS-GAS <i>BIOMARKER</i> DALAM PERNAPASAN	35
4.1 Etilen (C ₂ h ₄)	35
4.2 Aseton (C ₃ h ₆ o).....	36
4.3 Amonia (Nh ₃).....	37
4.4 No dan No ₂	38

4.5	Senyawa Organik Volatil dalam Gas Embus Napas Pasien Kanker Paru.....	39
4.6	Diabetes Melitus	41
BAB V	PENGUKURAN KONSENTRASI GAS ASETON PADA GAS EMBUS NAPAS PASIEN KANKER PARU	45
5.1	Metode Penelitian	45
5.1.1	Bahan Penelitian	45
5.1.2	Peralatan Penelitian	46
5.1.2.1	Spektrometer Fotoakustik Laser Co ₂	46
5.1.2.2	Sistem Sampling dan Aliran Gas.....	48
5.1.3	Konfigurasi Alat Pengukuran Konsentrasi Gas pada Sampel Napas Pasien Kanker Paru	49
5.1.4	Langkah Penelitian	50
5.1.4.1	Pengenceran Gas	50
5.1.4.2	Karakterisasi Spektrometer Fotoakustik Laser Co ₂ Konfigurasi Intrakavitas	51
5.1.4.3	Penerapan Metode Spektroskopi Fotoakustik Untuk Mengukur Konsentrasi Gas pada Gas Embus Napas Pasien Kanker Paru.....	55
5.2	Hasil dan Pembahasan	56
5.2.1	Optimasi Daya dan <i>Scanning</i> Garis Laser Co ₂	56
5.2.2	Kurva Resonansi dan Faktor Kualitas	59
5.2.3	Sinyal Latar, Derau, dan Batas Deteksi Terendah	60
5.2.4	Linearitas Spektrometer Fotoakustik Laser Co ₂	63
5.2.5	Aplikasi Spektroskopi Fotoakustik Untuk Deteksi Gas Etilen, Amonia, dan Aseton pada Sampel Gas Relawan Kanker Paru	70
5.2.5.1	Teknik Pengambilan Sampel	70
5.2.5.2	Hasil Pengukuran Konsentrasi Sampel Napas Relawan	71

BAB VI	PENDETEKSIAN KONSENTRASI GAS ASETON SEBAGAI BIOMARKER DIABETES MELITUS TIPE 2.....	77
6.1	Metode Penelitian	77
6.1.1	Subjek Penelitian	77
6.1.2	Bahan Penelitian	78
6.1.3	Rangkaian Alat Penelitian	78
6.1.3.1	Spektrometer Fotoakustik Laser Co ₂	80
6.2.3.2	Sistem Sampling dan Aliran Gas	83
6.1.4	Langkah Penelitian	86
6.1.4.1	Optimasi Daya Laser	86
6.1.4.2	<i>Scanning</i> (Pemayaran) Garis Laser Co ₂ dan Pembuatan Spektrum Serapan Gas Standar (Aseton, Amonia, dan Etilen).....	87
6.1.4.3	Pengenceran Gas Standar	87
6.1.4.4	Pembuatan Kurva Resonansi dan Faktor Kualitas	88
6.1.4.5	Pengukuran Derau dan Sinyal Latar.	89
6.1.4.6	Pengukuran Batas Deteksi Terendah	90
6.1.4.7	Pembuatan Kurva Linearitas Sinyal Serapan Garis Laser terhadap Variasi Konsentrasi Gas Aseton, Etilen, dan Amonia (Metode Multikomponen).....	90
6.1.4.8	Penerapan Spektroskopi Foto- akustik Laser Co ₂ untuk Mengukur Konsentrasi Gas Aseton Pasien DM Tipe 2 dan Relawan Sehat	91
6.2	Hasil dan Pembahasan	93
6.2.1	Hasil Optimasi Daya dan <i>Scanning</i> Garis Laser Co ₂	93
6.2.2	Spektrum Garis Serapan Gas Aseton.....	94
6.2.3	Kurva Resonansi dan Faktor Kualitas (Q).....	96
6.2.4	Pengukuran Derau dan Batas Deteksi Terendah	98

6.2.5	Pengukuran Sinyal Latar	99
6.2.6	Linearitas Gas Standar (Etilen, Aseton, dan Amonia).....	100
6.2.7	Penerapan Spektrometer Fotoakustik Laser Co ₂ untuk Mengukur Konsentrasi Gas Aseton Pasien DM Tipe 2 dan Relawan Sehat	104
BAB VII DETEKSI GAS AMONIA (NH₃) PADA GAS EMBUS NAPAS PENDERITA GAGAL GINJAL		
7.1	Metode Penelitian	111
7.1.1	Subjek Penelitian	111
7.1.2	Peralatan Penelitian	112
7.1.2.1	Spektrometer Fotoakustik Laser Co ₂	112
7.1.2.2	Sistem Sampling dan Gas Mengalir .	116
7.1.3	Konfigurasi Alat Pengukuran Konsentrasi Gas pada Relawan	119
7.1.4	Langkah Penelitian	119
7.1.4.1	Pengenceran Gas Standar	120
7.1.4.2	Karakterisasi Spektrometer Fotoakustik Laser Co ₂ Konfigurasi Intrakavitas	120
7.1.4.3	Pengukuran Konsentrasi Gas Amonia pada Pasien Gagal Ginjal....	124
7.2	Hasil dan Pembahasan	127
7.2.1	Optimasi Daya dan <i>Scanning</i> Garis Laser Co ₂	127
7.2.2	Kurva Resonansi dan Faktor Kualitas	129
7.2.3	Sinyal Latar, Derau, dan Batas Deteksi Terendah	130
7.2.4	Linearitas Spektrometer Fotoakustik Laser Co ₂	132
7.2.5	Penerapan Spektrometer Fotoakustik Laser Co ₂ untuk Mengukur Konsentrasi Gas Amonia pada Sampel Napas Pasien Gagal Ginjal dan Relawan Sehat.....	139

7.2.5.1 Hasil Pengukuran Konsentrasi Sampel Napas Pasien Gagal Ginjal dan Relawan Sehat	139
BAB VIII KARAKTERISASI SPEKTROMETER FOTO-AKUSTIK LASER CO₂ KONFIGURASI INTRAKAVITAS DAN APLIKASINYA DALAM PENGUKURAN KONSENTRASI GAS ASETON (C₃H₆O) PADA GAS EMBUS NAPAS ORANG YANG BERJALAN DI ATAS TREADMILL.....	143
8.1 Metode Penelitian	143
8.1.1 Alat Penelitian	143
8.1.1.1 Spektrometer Fotoakustik Laser Co ₂ Konfigurasi Intrakavitas	144
8.1.1.2 Sistem Sampling dan Aliran Gas	146
8.1.1.3 <i>Treadmill</i>	147
8.1.2 Bahan Penelitian	147
8.1.3 Langkah Penelitian	147
8.1.3.1 Karakterisasi Spektrometer Fotoakustik Laser Co ₂ Konfigurasi Intrakavitas	148
8.1.3.2 Pengukuran Konsentrasi Gas Aseton pada Gas Embus Orang yang Berjalan di atas <i>Treadmill</i>	152
8.2 Hasil dan Pembahasan	153
8.2.1 Karakterisasi Spektrometer Fotoakustik Laser Co ₂ Konfigurasi Intrakavitas.....	154
8.2.2 Pengukuran Konsentrasi Gas Aseton pada Gas Embus Orang yang Berjalan di atas <i>Treadmill</i>	160
BAB IX PENGUKURAN KONSENTRASI GAS ETILEN PADA GAS EMBUS RELAWAN PEMAKAN GORENGAN	167
9.1 Metode Penelitian	167
9.1.1 Bahan Penelitian	167

9.1.2	Alat Penelitian	168
9.1.2.1	Spektrometer Fotoakustik Laser Co ₂	168
9.1.2.2	Sistem Sampling Dan Aliran Gas	171
9.1.3	Konfigurasi Alat Pengukuran Konsentrasi Gas Etilen pada Sampel Napas Relawan Pemakan Gorengan.....	171
9.1.4	Tahap Pelaksanaan Penelitian.....	173
9.1.4.1	Karakterisasi Kinerja Spektrometer Fotoakustik	174
9.1.4.2	Pengukuran Konsentrasi Cuplikan Gas pada Gas Embus Relawan Pemakan Gorengan dan Relawan <i>Control</i> dengan Sistem Multikomponen Gas	183
9.2	Hasil dan Pembahasan	184
9.2.1	Optimasi Daya Laser Co ₂	184
9.2.2	<i>Scanning</i> Garis Laser Co ₂	186
9.2.3	Spektrum Serapan Garis Laser Co ₂ untuk Gas Etilen	187
9.2.4	Kurva Resonansi dan Faktor Kualitas Q	189
9.2.5	Kalibrasi dan Linearitas.....	190
9.2.6	Pengukuran <i>Noise</i> dan Batas Deteksi Terendah	196
9.2.7	Penerapan Spektrometer Fotoakustik untuk Mengukur Konsentrasi Gas Etilen pada Sampel Napas Relawan Pemakan Gorengan	197
9.2.7.1	Teknik Pengambilan Sampel	197
9.2.7.2	Teknik Pengukuran Sampel.....	200
9.2.7.3	Hasil Pengukuran Konsentrasi Gas Etilen.....	201
	DAFTAR PUSTAKA.....	207
	GLOSARIUM.....	215
	INDEKS	217
	TENTANG PENULIS.....	219

Daftar Tabel

Tabel 4.1	Kriteria diagnosis DM.....	42
Tabel 4.3	Sifat kimia aseton.....	43
Tabel 7.1	Sinyal ternormalisasi dan konsentrasi etilen pada relawan sehat dan pasien penderita gagal ginjal	139
Tabel 7.2	Sinyal ternormalisasi dan konsentrasi aseton pada relawan sehat dan pasien penderita gagal ginjal	140
Tabel 7.3	Sinyal ternormalisasi dan konsentrasi amonia pada relawan sehat dan pasien penderita gagal ginjal	140
Tabel 9.1	Rata-rata selisih konsentrasi terendah dan tertinggi.....	204

Daftar Gambar

Gambar 2.1	Daya keluaran maksimum dan arus yang bersesuaian I_{\max} sebagai fungsi waktu operasional dengan campuran gas 1 torr CO ₂ , 2,5 torr N ₂ , dan 11 torr He, dan dengan suatu campuran gas yang memuat 0,2 torr H ₂ dan 0,1 torr O ₂ (Witteman, 1987: 106)	6
Gambar 2.2	Tiga ragam normal getaran molekul CO ₂ simetri linear.....	8
Gambar 2.3	Beberapa aras getaran rendah CO ₂ dan N ₂	9
Gambar 2.4	Diagram tenaga vibrasi-rotasi untuk transisi (00 ⁰ 1) $\frac{3}{4}$ [10 ⁰ 0, 02 ⁰ 0] _{I, II}	12
Gambar 2.5	Aras-aras tenaga vibrasi molekul sebagian besar terkait terhadap transisi laser CO ₂ pita biasa	13
Gambar 3.1	Berbagai jenis proses yang terjadi pada molekul menuju tingkat dasarnya setelah menyerap radiasi laser $h\nu$	16
Gambar 3.2	Parameter-parameter berkas laser di antara tabung pandu gelombang (<i>waveguide</i>) dan cermin keluaran (<i>out-coupling mirror</i>) dalam tiga konfigurasi yang berbeda	33
Gambar 5.1	Skema rangkaian pengukuran konsentrasi aseton sampel napas menggunakan alat spektrometer fotoakustik laser CO ₂ intrakavitas.....	49
Gambar 5.2	Diagram alir optimasi daya laser.....	51

Gambar 5.3	Hasil <i>scanning</i> garis laser CO ₂	57
Gambar 5.4	Hasil <i>scanning</i> garis laser dan serapan gas aseton.....	58
Gambar 5.5	Kestabilan daya laser CO ₂ pada garis 10P20	59
Gambar 5.6	Kurva frekuensi resonansi gas aseton pada garis 10P20	60
Gambar 5.8	Sinyal derau sistem fotoakustik pada garis 10P20.....	62
Gambar 5.9	Linearitas etilen pada garis 10P14	63
Gambar 5.10	Linearitas etilen pada garis 10P20	64
Gambar 5.11	Linearitas etilen pada garis 10R14.....	64
Gambar 5.12	Linearitas aseton pada garis 10P14.....	65
Gambar 5.13	Linearitas aseton pada garis 10P20.....	65
Gambar 5.14	Linearitas aseton pada garis 10R14.....	66
Gambar 5.15	Linearitas amonia pada garis 10P14	66
Gambar 5.16	Linearitas amonia pada garis 10P20	67
Gambar 5.17	Linearitas amonia pada garis 10R14.....	67
Gambar 5.18	Grafik konsentrasi gas etilen pada relawan kanker paru (segitiga biru), penyakit paru selain kanker paru (bulat merah), dan relawan sehat (kotak hitam).....	72
Gambar 5.19	Grafik konsentrasi gas aseton pada relawan kanker paru (segitiga biru), penyakit paru selain kanker paru (bulat merah) dan relawan sehat (kotak hitam).....	73
Gambar 5.20	Grafik konsentrasi gas amonia pada relawan kanker paru (segitiga biru), penyakit paru selain kanker paru (bulat merah), dan relawan sehat (kotak hitam).....	74
Gambar 6.1	Laser CO ₂ jenis gas mengalir (<i>flowing system</i>) aksial lambat.....	78
Gambar 6.2	Skema rangkaian alat spektrometer fotoakustik laser CO ₂ konfigurasi intrakavitas	79
Gambar 6.3	Sel fotoakustik.....	82
Gambar 6.4	<i>Sample Bag</i>	84
Gambar 6.5	Skema alat pengambilan napas	85
Gambar 6.6	Diagram alir optimasi daya laser.....	86
Gambar 6.7	Spektrum garis-garis laser CO ₂	94
Gambar 6.8	Spektrum garis serapan aseton.....	95
Gambar 6.9	Kestabilan daya laser CO ₂ pada garis 10P20	96
Gambar 6.10	Kurva resonansi garis laser 10P20 untuk gas aseton	97

Gambar 6.11	Sinyal derau sel fotoakustik	99
Gambar 6.12	Sinyal latar sel fotoakustik pada garis 10P20	100
Gambar 6.13	Kurva linear gas aseton di tiga garis serapan (10P14, 10P20, dan 10R14).....	102
Gambar 6.14	Konsentrasi gas aseton pasien DM tipe 2 dan relawan sehat	105
Gambar 6.15	Konsentrasi gas amonia pasien DM tipe 2 dan relawan sehat	106
Gambar 6.16	Konsentrasi gas etilen pasien DM tipe 2 dan relawan sehat	107
Gambar 6.17	Konsentrasi gas aseton pasien DM tipe 2 terhadap besarnya GDS.....	108
Gambar 7.1	Skema sel fotoakustik	115
Gambar 7.2	Alat pengambilan napas	117
Gambar 7.3	<i>Sample bag</i>	118
Gambar 7.4	Skema rangkaian alat spektrometer fotoakustik laser CO ₂ konfigurasi intrakavitas	119
Gambar 7.5	Diagram Alir Optimasi Daya Laser.....	121
Gambar 7.6	Hasil <i>scanning</i> garis laser CO ₂	127
Gambar 7.7	Hasil <i>scanning</i> garis laser dan serapan terhadap gas amonia	128
Gambar 7.8	Kestabilan daya laser CO ₂ pada garis 10R14.....	129
Gambar 7.9	Kurva resonansi gas amonia pada garis 10R14.....	130
Gambar 7.10	Sinyal latar pada garis 10R14	131
Gambar 7.11	Sinyal derau sistem fotoakustik pada garis 10R14	131
Gambar 7.12	Kurva linearitas etilen pada garis (a) 10P14, (b) 10P20, dan (c) 10R14.....	133
Gambar 7.13	Kurva linearitas aseton pada garis (a) 10P14, (b) 10P20, dan (c) 10R14.....	135
Gambar 7.14	Kurva linearitas amonia pada garis (a) 10P14, (b) 10P20, dan (c) 10R14.....	136
Gambar 7.15	Grafik konsentrasi gas etilen pada relawan sehat dan pasien gagal ginjal.....	141
Gambar 7.16	Grafik konsentrasi gas aseton pada relawan sehat dan pasien gagal ginjal.....	141

Gambar 7.17	Grafik konsentrasi gas amonia pada relawan sehat dan pasien gagal ginjal.....	142
Gambar 8.1	Skema rangkaian alat spektrometer fotoakustik laser CO ₂ konfigurasi intrakavitas dan sistem aliran gas.....	144
Gambar 8.2	Bagan langkah penelitian	148
Gambar 8.3	Diagram alir optimasi daya laser.....	149
Gambar 8.4	Spektrum laser CO ₂ yang menampilkan empat grup laser (9R, 9P, 10R, dan 10P)	154
Gambar 8.5	Kurva resonansi sel fotoakustik untuk gas aseton.....	155
Gambar 8.6	Spektrum serapan gas aseton	156
Gambar 8.7	Derau sistem spektrometer fotoakustik.....	157
Gambar 8.8	Sinyal latar	158
Gambar 8.9	Kurva linearitas gas aseton pada garis 10P20.....	158
Gambar 8.10	Grafik konsentrasi gas aseton pada gas embus orang yang berjalan di atas <i>treadmill</i> (I)	162
Gambar 8.11	Grafik konsentrasi gas aseton pada gas embus orang yang berjalan di atas <i>treadmill</i> (II).....	163
Gambar 8.12	Grafik konsentrasi gas aseton pada gas embus orang diam.....	164
Gambar 9.1	Sel fotoakustik.....	169
Gambar 9.2	Skema rangkaian pengukuran konsentrasi etilen sampel napas menggunakan alat spektrometer fotoakustik laser CO ₂ intrakavitas.....	172
Gambar 9.3	Diagram penelitian deteksi sampel dengan alat spektrometer fotoakustik.....	174
Gambar 9.4	Pengaturan LabVIEW	178
Gambar 9.5	Laser diode dengan tegangan input $\approx 3V$	184
Gambar 9.6	Garis-garis laser vibrasional CO ₂ untuk daerah panjang gelombang 9–11 μm (Hitz, 1994)	185
Gambar 9.7	Spektrum daya intrakavitas laser CO ₂	186
Gambar 9.8	Hasil <i>scanning</i> garis laser CO ₂ beserta garis serapan etilen.....	188
Gambar 9.9	Kestabilan daya laser CO ₂ dengan modulator pada garis 10P14.....	188
Gambar 9.10	Kurva resonansi gas etilen pada garis 10P14.....	189
Gambar 9.11	Linearitas gas etilen pada garis 10P14.....	191

Gambar 9.12	Linearitas gas aseton pada garis 10P14.....	191
	192	
Gambar 9.13	Linearitas gas amonia pada garis 10P14.....	192
Gambar 9.14	Linearitas gas etilen pada garis 10P20.....	192
Gambar 9.15	Linearitas gas aseton pada garis 10P20.....	193
Gambar 9.16	Linearitas gas amonia pada garis 10P20.....	193
Gambar 9.17	Linearitas gas etilen pada garis 10R14.....	194
Gambar 9.18	Linearitas gas aseton pada garis 10R14.....	194
Gambar 9.19	Linearitas gas amonia pada garis 10R14.....	195
Gambar 9.20	Kurva sinyal derau sel fotoakustik.....	196
Gambar 9.21	<i>Sample bag</i> sebagai tempat wadah gas embus.....	198
Gambar 9.22	Rangkaian alat pengambilan sampel gas embus.....	199
Gambar 9.23	Grafik konsentrasi gas etilen terhadap waktu pada relawan usia <15 tahun	202
Gambar 9.24	Grafik konsentrasi gas etilen terhadap waktu pada relawan usia 15–30 tahun.....	202
Gambar 9.25	Grafik konsentrasi gas etilen terhadap waktu pada relawan usia >30 tahun	203
Gambar 9.26	Grafik rata-rata selisih konsentrasi terendah dan tertinggi	205