



# Prosiding

**SEMINAR NASIONAL *BASIC SCIENCE VI***

*Sains Membangun Karakter dan Berpikir Kritis  
Untuk Kesejahteraan Masyarakat*

*Ambon, 07 Mei 2014*

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS PATTIMURA  
AMBON**

Hak cipta dilindungi Undang-Undang

Cetakan I, Agustus 2014

Diterbitkan oleh: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pattimura

ISBN: 978-602-97552-1-2

Deskripsi halaman sampul : Gambar yang ada pada cover adalah kumpulan benda-benda langit dengan berbagai fenomena

# APLIKASI METODE SPEKTROKOPI FOTOAKUSTIK LASER DALAM MENDETEKSI GAS ASETON SEBAGAI *BIOMARKER* PENYAKIT DIABETES MELITUS

Mirtha Yunitha Sari Risakotta

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pattimura  
*e-mail* : mithayunisari@gmail.com

## ABSTRAK

Spektroskopi fotoakustik laser (SFA) merupakan suatu teknik investigasi yang akurat dalam mengukur konsentrasi berbagai jenis gas lacakan sampai level ppb. Untuk memaksimalkan kinerja alat spektrometer fotoakustik laser CO<sub>2</sub> intrakavitasi dilakukan optimasi daya laser CO<sub>2</sub> yang ditunjukkan dengan kestabilan daya laser maksimum pada 4,5 W dan batas deteksi terendah (BDT) sebesar  $(2,3 \pm 0,2)$  ppb. Kemudian metode SFA diaplikasikan dalam mendeteksi gas aseton sebagai *biomarker* penyakit diabetes melitus. Gas aseton dapat terdeteksi dalam pernafasan manusia sebagai akibat dari peningkatan kadar glukosa dalam darah yang disebabkan adanya defisiensi insulin. Untuk itu, dilakukan pengambilan sampel berupa hembusan nafas dari pasien diabetes melitus yang berusia > 40 tahun dan relawan sehat < 40 tahun sebagai kontrol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi gas aseton rata-rata untuk pasien diabetes melitus sebesar 624 ppb sedangkan untuk relawan sehat memiliki konsentrasi gas aseton rata-rata sebesar 85 ppb. Dengan demikian, metode SFA ini sangat berpotensi untuk memonitor berbagai metabolisme dalam tubuh manusia secara *non-invasive*.

**Kata kunci:** Diabetes melitus, gas aseton, spektroskopi fotoakustik laser.

## PENDAHULUAN

Di dalam pernafasan manusia terdapat lebih dari 1000 jenis senyawa organik yang mudah menguap (*volatile organics compound*) yang berada pada konsentrasi ppb ( $10^{-9}$  atm) sampai ppt ( $10^{-12}$  atm). Dalam bidang spektroskopi laser, telah terdeteksi 14 jenis *biomarker* diantaranya gas aseton sebagai *biomarker* penyakit diabetes melitus, gas amoniak untuk gagal ginjal, *helicobacter pylori* dan liver, gas etilen untuk kerusakan kulit manusia akibat radiasi UV dan peroksidasi lipid serta gas lainnya yang mempengaruhi metabolisme tubuh manusia (Wang, 2009). Kelainan metabolisme dapat terdeteksi melalui pernafasan manusia, dimana adanya bau uap badan yang tidak seperti biasanya, seperti bau manis buah-buahan untuk diabetes melitus, bau amis dan pengap untuk liver dan penyakit kronis lainnya (Deng, 2004).

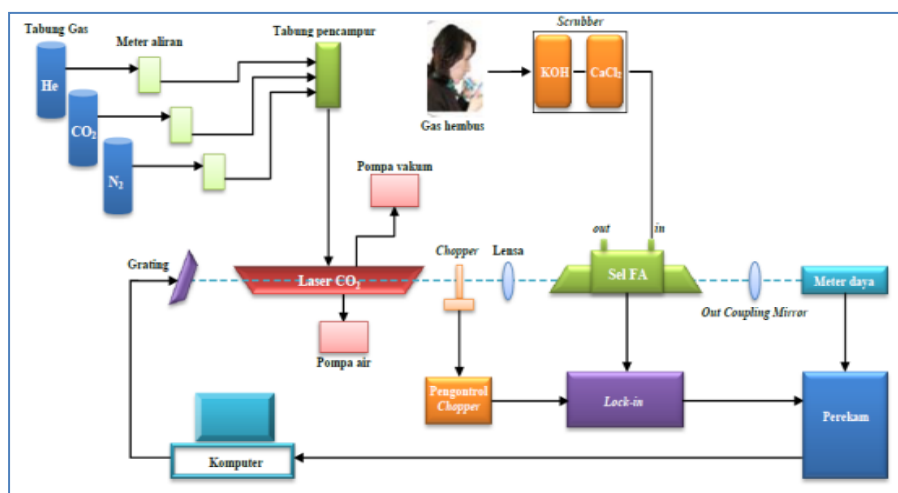
Salah satu jenis penyakit berbahaya dengan tingkat populasi tinggi di Indonesia adalah penyakit diabetes melitus dan diprediksikan akan terjadi peningkatan lebih dari 12 juta penderita pada tahun 2025 (Tjokroprawiro, 2002). Penyakit diabetes melitus adalah penyakit yang timbul akibat dari meningkatnya kadar glukosa dalam darah yang disebabkan adanya defisiensi insulin atau menurunnya kemampuan tubuh untuk menggunakan insulin. Penderita diabetes melitus memiliki kadar glukosa yang tinggi dalam darah dan menyebabkan terjadinya pembentukan aseton. Aseton terdeteksi melalui kadar di hati dan paru-paru sehingga dapat dideteksi melalui pernafasan manusia (Alan, 2000). Metode pemeriksaan yang selama ini dilakukan adalah melalui tes darah (*invasive*). Untuk itu diperlukan suatu teknik

pemeriksaan dengan sensitivitas tinggi yang dapat mengidentifikasi dan menentukan konsentrasi dari berbagai jenis gas lacakan sebagai *biomarker* suatu penyakit tertentu melalui hembusan nafas manusia (*non-invasive*).

Spektroskopi fotoakustik laser (SFA) merupakan suatu teknik investigasi yang akurat dalam mengukur konsentrasi berbagai jenis gas lacakan sampai pada level ppb. Prinsip kerja dari spektrometer fotoakustik laser adalah mengubah fase gelombang radiasi menjadi gelombang yang memiliki frekuensi tertentu sehingga dapat dideteksi secara fotoakustik dan ditransfer menjadi kadar gas. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Mitrayana, dkk (2010), metode SFA digunakan untuk mendeteksi dini penyakit tertentu melalui analisa tiga jenis gas lacakan yaitu gas etilen, amonia dan aseton melalui pernafasan manusia. Pada penelitian ini, metode SFA dikhususkan hanya untuk mendeteksi gas aseton sebagai *biomarker* penyakit diabetes melitus. Gas aseton dapat terdeteksi dalam pernafasan manusia sebagai akibat dari peningkatan kadar glukosa dalam darah yang disebabkan adanya defisiensi insulin. Pengambilan sampel berupa hembusan nafas dari pasien diabetes melitus yang berusia > 40 tahun dan relawan sehat < 40 tahun sebagai kontrol. Hasil penelitian yang diperoleh dianalisis secara numerik maupun grafik. Metode SFA ini sangat berpotensi untuk merevolusi cara diagnosa *invasive* dan dapat memonitor berbagai metabolisme dalam tubuh manusia secara *non-invasive* dan *point of care* dengan waktu tanggap yang cepat (Cernat, 2010).

### METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan spektrometer fotoakustik laser CO<sub>2</sub> intrakavitatis. Untuk memaksimalkan kinerja alat tersebut, maka perlu dilakukan optimasi daya laser CO<sub>2</sub> terlebih dahulu. Setelah itu, mengukur sinyal latar dan derau, kalibrasi gas aseton standar (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O), menentukan frekuensi resonansi gas aseton, menentukan kurva linearitas terhadap sistem SFA dan batas deteksi terendah (BDT).



Gambar 1. Rangkaian alat spektrometer fotoakustik laser CO<sub>2</sub> intrakavitatis

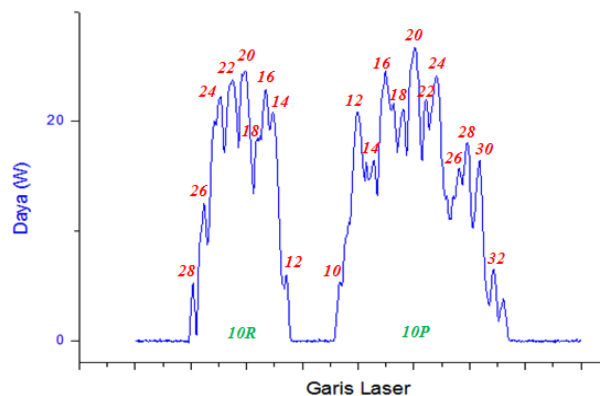
Objek pengambilan sampel dibagi berdasarkan kelompok usia, untuk pasien diabetes melitus > 40 tahun dan relawan sehat 20 - 35 tahun. Sampel yang diambil berupa hembusan nafas manusia. Kemudian sampel tersebut dialirkan ke dalam sel fotoakustik melalui *scrubber* KOH dan  $\text{CaCl}_2$  dan diradiasi oleh laser  $\text{CO}_2$  sehingga menghasilkan keluaran berupa spektrum serapan gas pada garis laser 10R dan 10P. Setelah itu, diambil sinyal fotoakustik gas aseton pada garis laser 10P20 dan dianalisis secara *off-line* untuk menentukan konsentrasi gas aseton tiap sampel. Dari hasil pengukuran konsentrasi tersebut, dihitung konsentrasi rata-rata untuk pasien diabetes melitus maupun relawan sehat. Untuk pasien diabetes melitus, diperoleh catatan medik glukosa darah puasa (GDP) pada saat pengambilan sampel sedangkan untuk relawan sehat dinilai secara jasmani dan belum pernah menderita penyakit kronis lainnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Spektrometer Fotoakustik Laser $\text{CO}_2$ Intrakavitas

#### 1. Hasil optimasi daya laser $\text{CO}_2$

Spektrometer fotoakustik laser  $\text{CO}_2$  intrakavitas dioperasikan pada arus listrik 11,5 mA, tegangan 7,6 kV, sensitivitas *lock-in* 100 mV, daya intrakavitas maksimum 4,5 W dengan tekanan gas maksimum  $\pm 50$  mbar yang merupakan gabungan tekanan gas dari ketiga bahan gas utama yakni gas helium (He), nitrogen ( $\text{N}_2$ ) dan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ). Hasil optimasi berupa spektrum keluaran daya laser  $\text{CO}_2$  pada dua grup garis laser yaitu 10P dan 10R yang ditunjukkan pada Gambar 2.

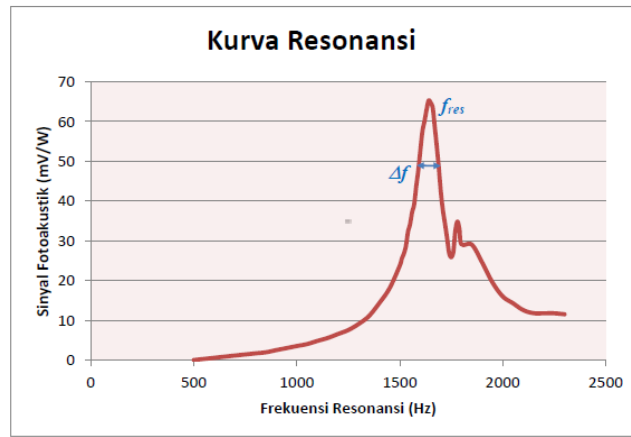


Gambar 2. Spektrum keluaran daya laser  $\text{CO}_2$

Untuk gas aseton ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ) terdeteksi pada garis laser 10P20 dengan koefisien serapan gas  $10,8 \text{ atm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  (Mitraryana, 2008).

#### 2. Kurva resonansi dan faktor kualitas

Gambar 3 menunjukkan kurva resonansi sel fotoakustik untuk gas aseton dengan nilai frekuensi resonansi  $f_{res}$  adalah  $(1640 \pm 5) \text{ Hz}$  dan faktor kualitas  $Q$  sebesar  $(15,3 \pm 0,7)$ .

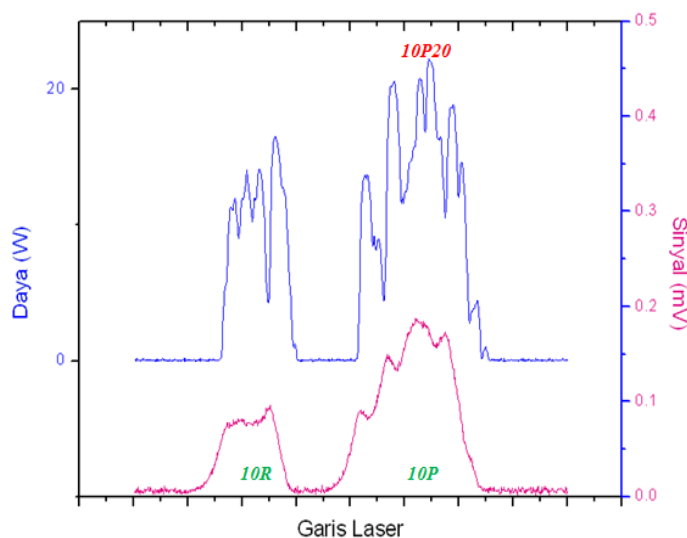


Gambar 3. Kurva resonansi gas aseton

Hasil perhitungan ini diperoleh dari variasi frekuensi *chopper* pada garis laser aseton 10P20. Kurva frekuensi resonansi ( $f_{res}$ ) maksimum berada pada 1640 Hz dengan sinyal fotoakustik ternormalisasi sebesar 65,25 mV/W. Sedangkan untuk menghitung faktor kualitas  $Q$  perlu ditentukan lebar pita resonansi dengan cara mengurangi frekuensi-frekuensi pada saat  $1/\sqrt{2}$  amplitudo sinyal maksimum ( $0,707 \times$  sinyal maksimum). Lebar pita resonansi ( $\Delta f$ ) diperoleh sebesar 107 Hz sehingga faktor kualitas dapat ditentukan dengan cara ( $Q = f_{res}/\Delta f$ ).

### 3. Spektrum serapan gas aseton

Penentuan spektrum serapan gas aseton terkuat diawali dengan memasukkan gas aseton standar dengan konsentrasi sebesar 0,1 ppm dan diradiasi oleh laser CO<sub>2</sub>. Hasil pemayaran laser CO<sub>2</sub> yang ditunjukkan pada Gambar 4 menghasilkan spektrum keluaran garis laser dengan sinyal terkuat gas aseton berada pada garis 10P20. Sinyal fotoakustik ternormalisasi yang diperoleh sebesar  $(7,1 \pm 0,1) \mu\text{V/W}$ .

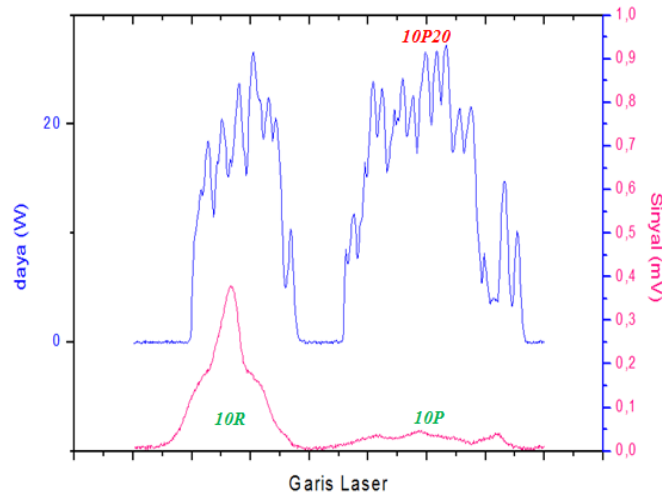


Gambar 4. Spektrum serapan gas aseton untuk konsentrasi 0,1 ppm



#### 4. Sinyal latar

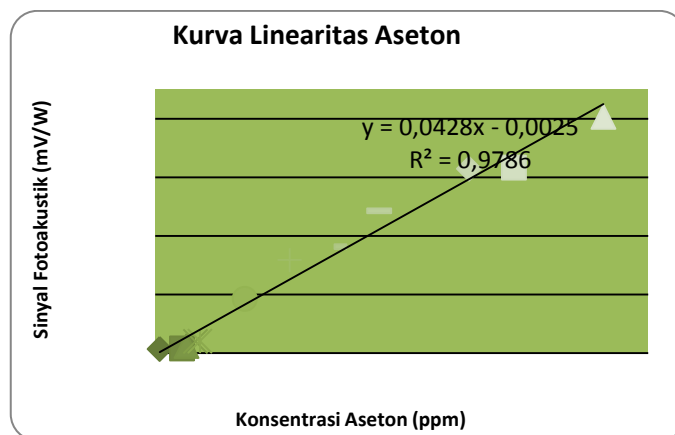
Sinyal latar diukur dengan cara melewatkan radiasi laser CO<sub>2</sub> pada sel fotoakustik setelah dialiri dengan nitrogen (N<sub>2</sub>). Sinyal yang diperoleh bukan berasal dari serapan gas aseton tetapi berasal dari pemanasan udara pada jendela dan dinding sel. Sinyal latar yang diperoleh sebesar  $(1,4 \pm 0,1) \mu\text{V/W}$ .



Gambar 5. Spektrum sinyal latar

#### 5. Linearitas SFA terhadap gas aseton standar

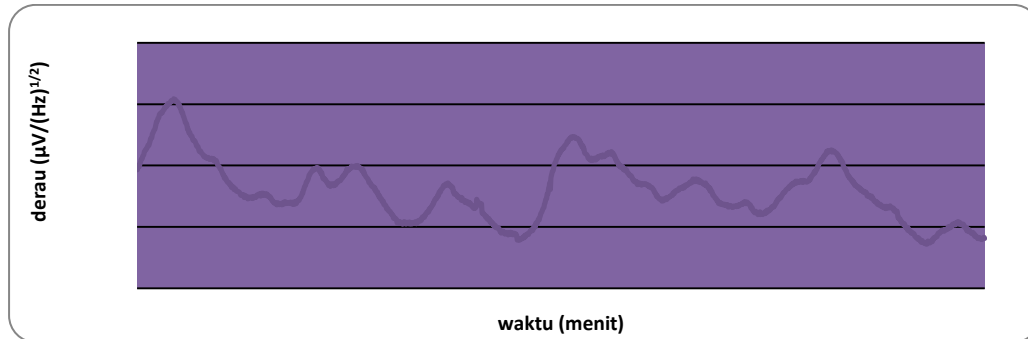
Linearitas SFA ditentukan berdasarkan hubungan dari variasi konsentrasi gas aseton standar dan sinyal fotoakustik ternormalisasi. Variasi konsentrasi gas aseton diukur dari 0,1 ppm sampai 10 ppm. Hasil yang diperoleh disajikan dalam bentuk kurva linear pada Gambar 6 dengan gradien ( $m$ ) sebesar 0,0428 dan  $r^2 = 0,9786$ . Perhitungan linearitas SFA terhadap gas aseton akan digunakan untuk menentukan besar konsentrasi tiap sampel.



Gambar 6. Kurva linearitas SFA terhadap gas aseton standar

#### 6. Derau dan Batas Deteksi Terendah (BDT)

Gambar 7 menunjukkan grafik derau ketika tidak ada radiasi laser CO<sub>2</sub> yang masuk ke dalam sel fotoakustik. Derau yang muncul pada *lock-in* hanya berasal dari sistem aliran gas dan sinyal komponen listrik. Pada sensitivitas *lock-in* 100 μV, derau yang diperoleh sebesar  $(0,160 \pm 0,001) \mu\text{V}/(\text{Hz})^{1/2}$ .



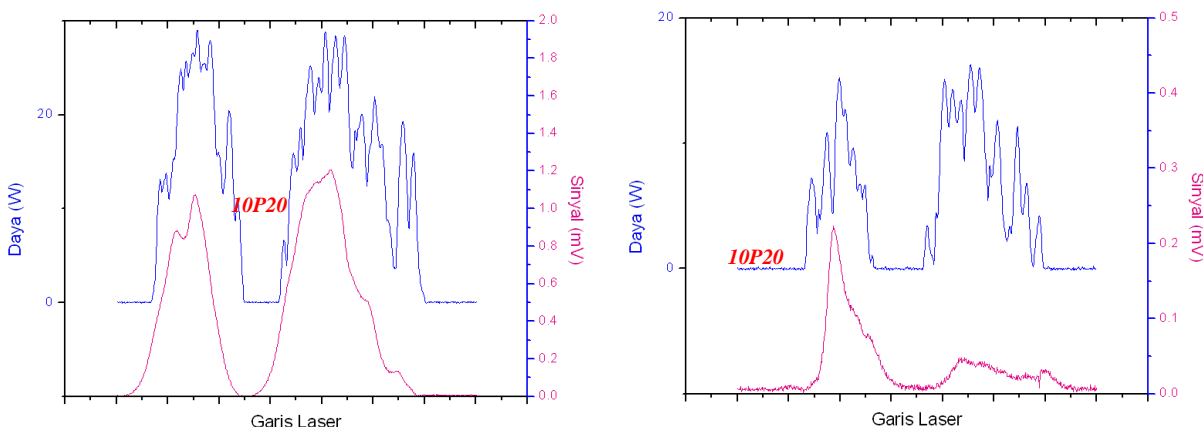
Gambar 7. Grafik derau sistem SFA terhadap waktu

Derau yang diperoleh berkaitan erat dalam penentuan batas deteksi terendah (BDT) spektrometer fotoakustik laser CO<sub>2</sub> terhadap gas aseton. Batas deteksi terendah menunjukkan sensitivitas dari spektrometer fotoakustik laser CO<sub>2</sub> intrakavitas dalam mendeteksi suatu gas dengan konsentrasi yang sangat kecil.

Untuk menentukan BDT, diketahui sinyal fotoakustik  $(S) = (7,1 \pm 0,1) \mu\text{V}/\text{W}$  pada konsentrasi  $(C) = 0,1 \text{ ppm}$  dan derau  $(N) = (0,160 \pm 0,001) \mu\text{V}/(\text{Hz})^{1/2}$ , maka diperoleh  $BDT = (2,3 \pm 0,2)\text{ppb}$ .

### Deteksi Gas Aseton (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O) Melalui Hembusan Nafas Manusia

Hasil spektrum keluaran SFA untuk gas aseton melalui hembusan nafas relawan pasien diabetes mellitus dan relawan sehat ditunjukkan pada Gambar 8. Serapan gas aseton yang terdeteksi menunjukkan besar konsentrasi gas aseton pada tubuh relawan tersebut. Konsentrasi gas aseton untuk salah satu relawan pasien diabetes melitus yang ditunjukkan pada Gambar 8(a) sebesar 612 ppb, sedangkan untuk salah satu relawan sehat yang ditunjukkan pada Gambar 8(b) sebesar 32 ppb.





Gambar 8. Spektrum keluaran SFA untuk gas aseton melalui hembusan nafas: (a). pasien diabetes melitus, (b). relawan sehat

Pola spektrum keluaran SFA untuk gas aseton pada relawan pasien diabetes melitus lebih tinggi dibandingkan dengan pola spektrum pada relawan sehat. Konsentrasi rata-rata gas aseton untuk 30 orang pasien diabetes mellitus sebesar 624 ppb. Konsentrasi rata-rata gas aseton untuk 30 orang relawan sehat sebesar 85 ppb. Dengan demikian, konsentrasi gas aseton yang diperoleh dari hembusan nafas manusia sangat berpengaruh terhadap kadar glukosa darah (GDP). Pada penelitian sebelumnya, telah dibuktikan bahwa adanya korelasi positif antara konsentrasi gas aseton dan kadar glukosa darah (Mitrayana, 2008). Korelasi antara konsentrasi gas aseton dan kadar glukosa darah dalam penelitian ini tidak dihubungkan dengan fungsi linear. Hal ini disebabkan karena hasil yang diperoleh sangat random. Penyebabnya diduga karena kriteria relawan pasien diabetes mellitus bervariasi, riwayat penyakit tidak seragam dan kemungkinan pengaruh dari *treatment* khusus (terapi insulin) yang sedang dijalani pada saat pengambilan sampel.

Secara kualitatif, hasil yang diperoleh membuktikan bahwa kinerja alat spektrometer fotoakustik laser CO<sub>2</sub> intrakavitas berjalan secara optimal dalam mendeteksi dan mengukur konsentrasi gas aseton melalui hembusan nafas manusia sampai level ppb.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Optimasi daya laser CO<sub>2</sub> intrakavitas ditunjukkan dengan kestabilan daya laser maksimum pada 4,5 W dan batas deteksi terendah (BDT) sebesar  $(2,3 \pm 0,2)$  ppb.
2. Aplikasi spektrometer fotoakustik laser CO<sub>2</sub> intrakavitas dalam mendeteksi gas aseton (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O) sebagai *biomarker* penyakit diabetes melitus melalui hembusan nafas manusia berjalan dengan baik. Konsentrasi rerata konsentrasi gas aseton sebesar 624 ppb, dan konsentrasi gas aseton untuk 30 orang relawan sehat sebesar 85 ppb.

### DAFTAR PUSTAKA

- Alan, G.G., and HeiSookSul., 2000, Lipid metabolism-Synthesis and Oxidation, *Biochemical and Physiological Aspect of Human Nutrition*, Saunders, P. 330-5.
- Deng, C., Zhang, J., Yu, X., Zhang W., and Zhang, X., 2004, Determination of Acetone in Human Breath by Gas Chromatography-mass spectrometry and Solid-phase Microextraction With on-fiber derivatization, *Journal of Chromatography B*, Vol. 810, P. 269-275.
- Mitrayana., 2008, Rancang Bangun Spektrometer Fotoakustik dan Spektrometer Modulasi Panjang Gelombang Laser. Kajian Deteksi Gas *Biomarker* C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O, NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> dan NO dalam bidang Kedokteran, *Disertasi*, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Mitrayana., 2010, Deteksi dini penyakit dalam dengan metode *non invasive* spektroskopi fotoakustik laser, *Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir*, Yogyakarta.
- Tjokroprawiro, A., 2002, Metformin: Molecular Basic For Clinical Appraisal Obesity and Insulin Resistance, *National Obesity Symposium I 2002*, Surabaya.
- Wang C., and Sahay P., 2009, Breath Analysis Using Laser Spectroscopic Techniques: Breath Biomarkers, Spectral Fingerprints, and Detection Limits, *Sensors*, P. 8230-8262.

