



Rancang Bangun Spektrometer Fotoakustik Laser CO₂ untuk Pengujian *Scrubber* Gas Etilen Buah Pascapanen

Mochamad Nurul Amin^{1,*}, Mitrayana¹

¹Laboratorium Atom dan Inti Jurusan Fisika FMIPA UGM, Sekip Selatan, Yogyakarta 55281

* Email: aminalhidayah@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan rancang bangun spektrometer fotoakustik (SFA) yang diaplikasikan untuk pendeteksian gas-gas kelumit orde ppm – ppt (*part per million to part per trillion*). Sumber radiasi yang digunakan adalah laser CO₂ tipe *axial flowing* yang mengemisikan radiasi inframerah dengan jangkauan panjang gelombang 9 – 11 μm yang bersesuaian dengan serapan banyak gas-gas penting dalam kajian pertanian, biologi, medis dan lingkungan. SFA dibangun dengan konfigurasi intrakavitas dengan menempatkan sel fotoakustik dalam rongga laser yang menjadikan sampel merasakan radiasi *multipass* sehingga sensitivitas alat semakin baik. SFA yang berhasil dibangun memiliki batas deteksi terendah untuk gas etilen sebesar (6,0 ± 0,6) ppbv (*part per billion volume*). Selanjutnya SFA digunakan untuk menguji adsorptivitas berbagai variasi *scrubber* terhadap gas etilen yang menjadi *biomarker* berbagai proses metabolisme buah pascapanen. Hasil penelitian menunjukkan *scrubber* zeolit-KMnO₄ memiliki kekuatan adsorpsi gas etilen paling tinggi dengan kapasitas adsorpsi maksimum untuk zeolit-KMnO₄ 2,5 % mencapai 70 ppmliter/gram.

Kata kunci: etilen, *scrubber*, spektrometer fotoakustik (SFA).

I Pendahuluan

Kerusakan buah pascapanen akibat umur simpan yang pendek adalah fenomena yang jamak dijumpai di banyak negara-termasuk Indonesia- (Jannah, 2008; Zewter, et al., 2012). Diantara penanganan yang dilakukan ialah penggunaan *scrubber / scavenger* yang berfungsi menjaga konsentrasi gas etilen di bawah ambang aktivasinya sehingga proses pematangan dan pembusukan buah akibat aktivitas gas etilen bisa ditunda. Penggunaan *scrubber* dipilih karena disamping efektif menghilangkan gas etilen juga mudah dan praktis dalam instalasinya

Kajian mendalam karakterisasi *scrubber* gas etilen mensyaratkan instrumen dengan sensitivitas tinggi orde ppb karena ambang aktivasi gas hormon pertumbuhan ini berkisar antara < 0.1 – 1 ppm (Smith et al., 2009). Spektrometer fotoakustik (SFA) memenuhi persyaratan ini. SFA merupakan alat yang sangat *powerful* dalam



pendeteksian gas-gas kelumit konsentrasi ppm – ppb (Dumitras et al., 2012). Disamping itu SFA menyajikan berbagai keunggulan yang lain diantaranya; pengaturan sederhana, kalibrasi yang mudah, tidak perlu akumulasi sampel, jangkauan operasi lebar mendekati orde 10^8 serta *online* dan *realtime detection* (Bernegger dan Sigrist, 1988). Dengan berbagai keunggulan tersebut penerapan SFA dalam pengujian *scrubber* gas etilen diharapkan bisa menyajikan informasi dan pemahaman yang lebih baik. Penelitian ini berperan sebagai *frontier experiment* yang akan menambah literatur aplikasi SFA dalam studi *scrubber* gas etilen yang terbilang masih sangat langka.

II Dasar Teori

SFA merupakan instrumen spektroskopi yang prinsip kerjanya didasarkan pada pembangkitan efek fotoakustik (konversi energi foton gelombang elektromagnet menjadi bunyi) dalam sel fotoakustik. Foton dengan energi $h\nu$ akan diserap oleh molekul sampel dan mengeksitasinya dari aras dasar E_0 ke aras yang lebih tinggi E_1 jika selisih energy kedua aras tersebut ΔE memenuhi hubungan $\Delta E = E_1 - E_0 = h\nu$. Ketika dipilih radiasi foton pada daerah inframerah dan dijaga tekanan di dalam sel sekitar 1 atm maka molekul yang tereksitasi tadi akan segera meluruh ke aras dasar melalui transfer energi kinetik sehingga terjadi pemanasan medium atau peningkatan suhu. Radiasi foton dimodulasi pada frekuensi audio sehingga dihasilkan modulasi suhu dengan frekuensi tersebut. Dalam ruang tertutup (dalam sel) perubahan suhu mengimbas pada perubahan tekanan. Modulasi tekanan pada frekuensi audio inilah yang disebut gelombang akustik yang bisa dideteksi menggunakan mikrofon.

Gelombang akustik dalam sel dideteksi oleh mikofon yang-biasanya-diletakkan di tengah sel yang mana amplitudo sinyalnya optimum. Selanjutnya dihasilkan sinyal akustik elektrik S yang sebanding dengan intensitas sumber radiasi I_0 , sifat sel (tetapan sel F dan tanggap mikrofon R), koefisien serapan molekul α dan konsentrasi sampel C yang mengikuti persamaan (1) (Quist, 1991; Wasono, 1998). Sinyal akustik ini diperkuat dan ditampilkan oleh penguat lock-in.

$$S = FRI_0\alpha C$$

S dan F diperoleh dari eksperimen sedangkan nilai $FR\alpha$ bisa ditentukan melalui kalibrasi. Selanjutnya, konsentrasi sampel bisa dihitung menggunakan persamaan (1).

III Metode Penelitian

3.1 Konfigurasi Intrakavitas



Prinsip dasar dari konfigurasi intrakavitas adalah ditematkannya sel fotoakustik dalam rongga resonator laser. Konfigurasi ini menguntungkan karena diperoleh perbaikan sensitivitas SFA akibat daya laser intrakavitasnya yang tinggi (Shtrikman and Slatkine, 1977; Harren, 1988).

Persamaan berikut ini mengatur jejari kelengkungan dari muka gelombang R dan jari-jari berkas laser w sebagai fungsi jarak z dari pinggang berkas w_0 (w didefinisikan sebagai jarak dari aksis laser dimana besar medan listriknya sebesar $1/e$ dari nilainya ketika di aksis)

$$R(z) = z \left(1 + \left(\frac{A}{z} \right)^2 \right) \quad (2)$$

$$w(z) = w_0 \left(1 + \left(\frac{z}{A} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{dimana } A = \frac{\pi w_0^2}{\lambda} \quad (3)$$

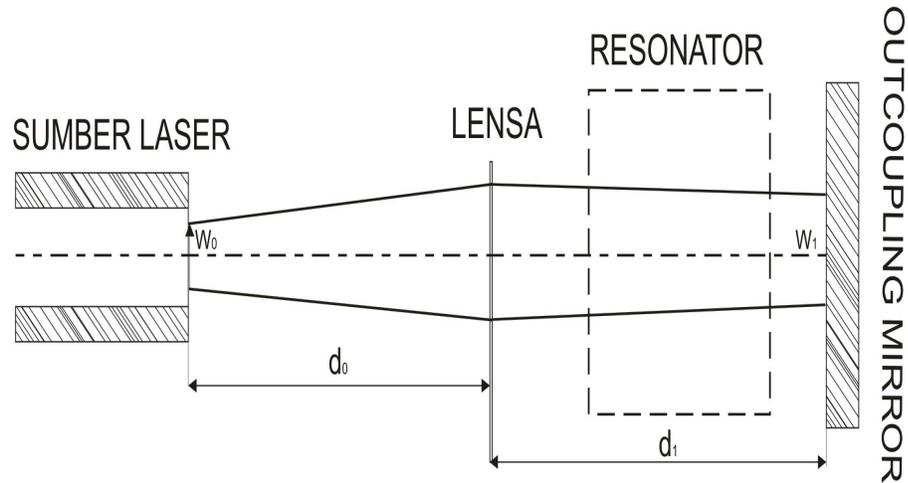
w_0 adalah pinggang berkas (m) dan λ panjang gelombang optik (m). Ketika sebuah lensa tipis disisipkan dalam berkas Gaussian, transformasi pinggang berkas dari w_0 ke w_1 dan jarak pinggang berkas yang baru adalah

$$w_1 = w_0 \sqrt{\frac{d_2 - f}{d_1 - f}} \quad (4)$$

$$d_2 = \frac{fd_1(d_1 - f) + A^2}{(d_1 - f)^2 + A^2} \quad \text{dengan } A = \frac{\pi w_0^2}{\lambda} \quad (5)$$

f sebagai panjang fokus lensa (m), d_1 jarak dari pinggang pertama ke lensa (m) dan d_2 jarak dari lensa ke pinggang berikutnya .

Dari persamaan di atas dapat dibangun konfigurasi intrakavitas (gambar 1) jika kondisi yang disyaratkan diujung rongga laser dipenuhi. Jari-jari berkas $w(z)$ dan jari-jari kelengkungan dari muka gelombang $R(z)$ harus sama untuk perambatan ke depan maupun ke belakang di setiap titik dalam berkas laser. Karenanya cermin keluaran (*outcoupling mirror*) harus ditempatkan pada jarak z yang kelengkungannya sama dengan muka gelombang. Jika kondisi ini dipenuhi maka konfigurasi laser intrakavitas tersebut bisa dijalankan (Harren, 1988).

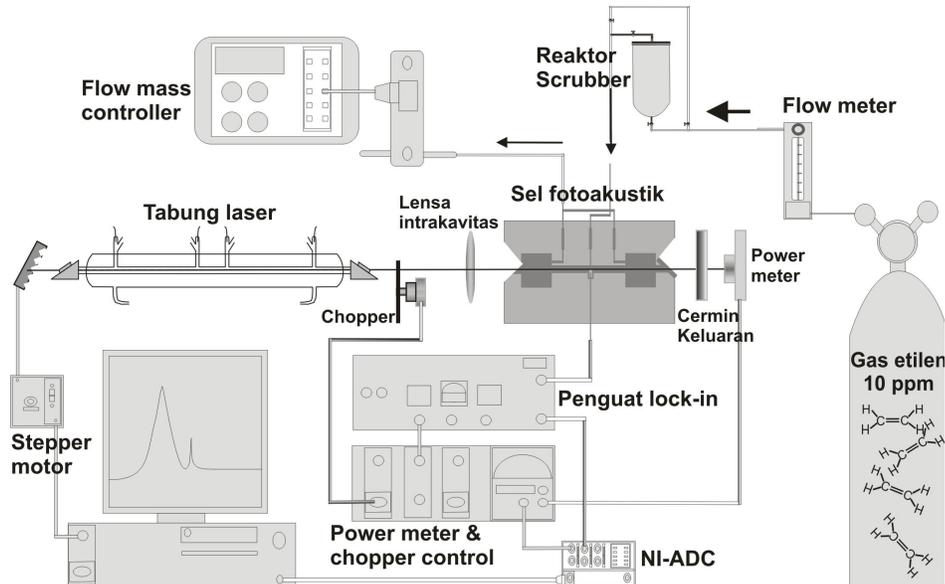


Gambar 1 Konfigurasi intrakavitas menggunakan lensa bikonveks dan *out coupling mirror* datar ($R = \infty$) (Harren, 1988).

Setelah konfigurasi intrakavitas terbangun selanjutnya dilakukan optimasi sumber laser CO₂ dengan mengatur komposisi campuran medium aktif dan *power supply hv*. Perlu diperhatikan bahwa pada konfigurasi intrakavitas optimasi laser juga dipengaruhi konsentrasi sampel dalam resonator sel. Sampel dengan konsentrasi tinggi akan mengganggu aksi laser (Mitraryana, 2002). Pada penelitian ini laser dioperasikan pada garis 10P14 yang memiliki serapan gas etilen paling tinggi.

3.2 Pengujian *Scrubber*

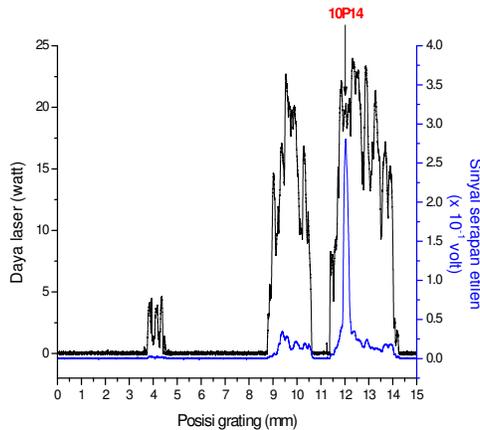
Adsorptivitas *scrubber* terhadap gas etilen ditentukan dengan mengukur konsentrasi gas etilen *outlet* (setelah dilewatkan melalui *scrubber*, laju alir 1 l/jam) kemudian dibandingkan dengan konsentrasi gas etilen *inlet* 10 ppm. *Scrubber* dibuat dengan metode impregnasi basah dengan merendam bahan pengemban (*support material*) dalam larutan bahan aktif (*active agent*) selama 10 menit kemudian dikering-anginkan. Kapasitas adsorpsi ditentukan dengan mengalirkan gas etilen 10 ppm secara kontinyu melalui *scrubber* sampai terjadi *breakthrough*, yakni *scrubber* jenuh dengan gas etilen. Kapasitas adsorpsi diperkirakan dari luasan di bawah kurva sesaat sebelum terjadi *breakthrough* (Terry et al., 2007). Konfigurasi eksperimen penentuan adsorptivitas *scrubber* ditunjukkan pada gambar 2.



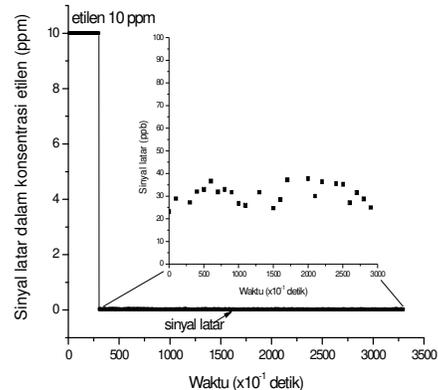
Gambar 2 Skema konfigurasi eksperimen pengujian scrubber gas C_2H_4 .

IV Hasil dan Pembahasan

4.1 Kinerja SFA



Gambar 3 Garis-garis laser CO_2 dan serapannya terhadap gas C_2H_4



Gambar 4 Sinyal latar (60 ± 12) μ volt/watt disajikan dalam konsentrasi gas C_2H_4

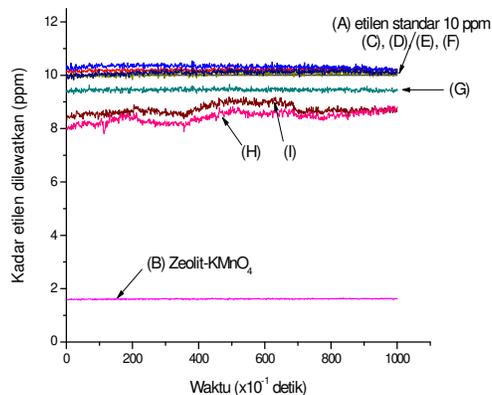
Gambar (3) menunjukkan spektrum garis-garis laser CO_2 sebagai fungsi posisi grating yang dipadukan dengan spektrum serapan gas etilennya. Terlihat gas etilen menyerap terkuat di garis 10P14 pada grup 10P dengan panjang gelombang $10.53 \mu m$. Pada penelitian ini diperoleh 3 grup garis laser yakni 9P, 10R dan 10P dengan total garis lebih dari 20 dan daya intrakavititas maksimum 24 watt pada garis 10P18. Untuk keperluan pendeteksian gas etilen hasil ini sudah memadai karena garis 10P14 tersedia dengan daya yang cukup baik dan stabil sekitar 18 watt.



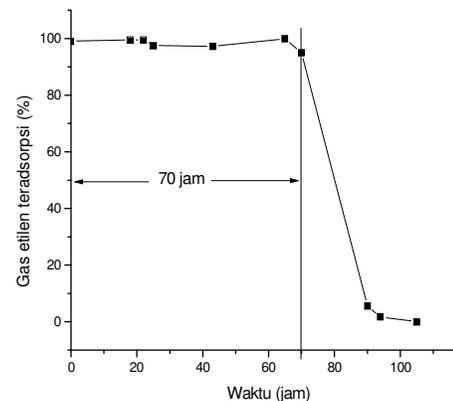
Batas deteksi (BDT) SFA secara eksperimen bisa diperkirakan dari rerata penyimpangan sinyal latar (Mitrayana, 2002). Diperoleh rerata penyimpangannya (gambar (4)) setara dengan konsentrasi gas etilen (6.0 ± 0.6) ppbv. Artinya SFA (untuk *set-up* pada penelitian ini) bisa digunakan untuk mendeteksi gas etilen sampai konsentrasi mendekati 6.0 ppbv, gas dengan konsentrasi di bawahnya tidak akan terdeteksi. Gas etilen yang dideteksi berada pada orde ppm, sehingga BDT SFA yang berorde seperseribunya sangat memadai untuk penelitian ini.

4.2 Pengujian *Scrubber* Gas Etilen

Selanjutnya SFA digunakan untuk menyeleksi beberapa variasi kombinasi bahan aktif (*active agent*) dan bahan pengemban (*support material*) *scrubber* dan diperoleh zeolit-KMnO₄ sebagai *scrubber* yang paling efektif menangkap gas etilen sebagaimana ditunjukkan pada gambar (5).



Gambar 5 Variasi *scrubber* dan adsorpsinya terhadap gas etilen. (A) gas etilen standar 10 ppm, (B) zeolit-KMnO₄, (C), (D), (E) & (F) zeolit, silika biru, silika biru-CuSO₄ & silika biru-FeSO₄.7H₂O, (G) silika biru-KMnO₄, (H) zeolit-CuSO₄, (I) zeolit-FeSO₄.7H₂O



Gambar 6 Kapasitas adsorpsi *scrubber* (zeolit serbuk, KMnO₄ 2.5%)

Gambar (6) menunjukkan kapasitas adsorpsi zeolit-KMnO₄ terhadap gas etilen. Gas etilen dialirkan secara kontinyu melalui *scrubber* zeolit-KMnO₄ serbuk berat 10 gram dengan konsentrasi KMnO₄ 2.5 % selama lebih dari 3 hari. Diketahui konsentrasi gas etilen 10 ppm dan laju alir 1 liter/jam sehingga dengan menghitung luas di bawah kurva sebelum terjadi *breakthrough* bisa ditentukan kapasitas adsorpsi maksimumnya lebih dari 70 jam x 1 liter/jam x 10 ppm /10 gram = 70 ppmliter /gram.

Scrubber zeolit-KMnO₄ juga telah diaplikasikan dalam penyimpanan buah pisang dan diperoleh hasil pemakaian *scrubber* bisa memperpanjang umur simpan



pisang hingga beberapa hari dibanding pelakuan kontrol dengan menggunakan indikator warna kulitnya.

V Kesimpulan

Aplikasi SFA berpotensi unggul dalam penelitian dan pengembangan *scrubber* gas etilen dengan BDT untuk *set-up* pada penelitian ini (6.0 ± 0.6) ppbv. Selanjutnya diketahui zeolit dengan bahan aktif KMnO_4 sebagai *scrubber* gas etilen yang paling efektif. Kapasitas adsorpsi *scrubber* dengan konsentrasi KMnO_4 2.5 % lebih dari 70 ppm/gram dan sudah dapat diaplikasikan dalam penanganan buah pascapanen.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Mitraryana dan Dr. Moh. Ali Joko Wasono yang telah mengizinkan penggunaan lab. Fotoakustik Jurusan Fisika FMIPA UGM dan fasilitasnya untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bernegger, S. dan Sigrist, M.W.**, 1988, CO-Laser Photoacoustic Spectroscopy of Gases and Vapors for Trace Gas Analysis, *Ph.D. thesis*, Swiss Federal Institute of Technology, Switzerland.
- Dumitras, D.C., Bratu, A.M. dan Popa, C.**, 2012, CO₂ Laser Photoacoustic Spectroscopy: I. Principles, <http://www.intechopen.com/books/co2-laser-optimisation-and-application/co2-laser-photoacoustic-spectroscopy-i-principles>, diakses 14 Juni 2012.
- Harren, F.J.M.**, 1988, The Photoacoustic Effect, Refined and Applied to Biological Problems, *Ph.D. thesis*, University of Catholic Nijmegen, The Netherlands.
- Jannah, U.F.**, 2008, Pengaruh Bahan Penyerap Larutan Kalium Permanganat Terhadap Umur Simpan Pisang Raja Bulu, *Skripsi*, Departemen Agronomi dan Hortikultura FP IPB, Bogor.
- Mitraryana**, 2002, Spektrometer Fotoakustik Intrakavitas Kepekaan Tinggi Bersumberkan Laser CO₂ Tertutup (*Sealed-off*) dengan Penerapannya pada Penentuan Volume *Trachea* Serangga Melalui Penyelidikan Pola Pernafasannya, *Tesis S2*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Quist J.**, 1991, *The Photoacoustic Sensing of Methyl Eugenol Pheromone and Trace Detection of HpD in Aqueous Solution by Means of Crossed Beam Thermal Lensing*, Concept Report on a 6 Months Practical Treaning: Physics Depart. of the Gadjah Mada University and Laserlab of the Institute of Advance Studies, University of Malaya.
- Shtrikman, S., Slatkine, M.**, 1977, Trace-gas Analysis with a resonant Optoacoustic Cell Operating Inside the Cavity of a CO₂ Laser, *Appl. Phys. Lett.* 31 (12).
- Smith, A.W.J., Poulston, S., Rowsell, R., Terry, L.A. dan Anderson, J.A.**, 2009, A New Palladium-Based Ethylene Scavenger to Control Ethylene-Induced Ripening of Climacteric Fruit, *Platinum Metals Rev.*, 53, 3, 112-122.



- Terry, L.A., Ilkenhans, T., Poulston, S., Rowsell, R. dan Smith, A.W.J., 2007,** Development of New Palladium-Promoted Ethylene Scavenger, *Postharvest Biol. Technol.*, 45, 2, 214.
- Wasono, M.A.J., 1998,** Konstruksi dan kinerja spektrometer fotoakustik laser CO₂ untuk memonitor emisi etilen dalam metabolisme buah tropis pasca panen, *Disertasi S3*, Pascasarjana UGM, Yogyakarta.
- Wills, R.B.H. dan Warton, M.A., 2004,** Efficacy of Potassium Permanganate Impregnated into Alumina Beads to Reduce Atmospheric Ethylene, *J. Amer. Soc. Hort.*, 129, 3, 433-438.
- Zewter, A., Woldetsadik, K. dan Workneh, T.S., 2012,** Effect of 1-methylcyclopropene, Potassium Permanganate and Packaging on Quality of Banana, *African Journal of Agricultural Research*, 7, 16, 2425-2437.

Pertanyaan dan Jawaban :

Nama Penanya : Sutikno

Pertanyaan :

Apakah kebaruan dari hasil penelitian saudara?

Jawaban :

- metode dan alat yang dipakai,
- aplikasi metode dan alat SFA untuk pengujian scrubber gas C₂H₄ dengan berbagai variasi bahan aktif dan penyerap