

**PERKEMBANGAN RISET APLIKASI SPEKTROSKOPI FOTOAKUSTIK LASER
UNTUK ANALISIS NAFAS MANUSIA**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam Bidang Ilmu Fisika
pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Gadjah Mada**

**oleh:
Prof. Dr. Mitrayana, S.Si., M.Si.**

**PERKEMBANGAN RISET APLIKASI SPEKTROSKOPI FOTOAKUSTIK LASER
UNTUK ANALISIS NAFAS MANUSIA**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam Bidang Ilmu Fisika
pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Gadjah Mada**

**Disampaikan pada Pengukuhan Guru Besar
Universitas Gadjah Mada
Tanggal 27 Juli 2023**

**oleh:
Prof. Dr. Mitrayana, S.Si., M.Si.**

*Bismillaahirrahmaanirrahiim,
Yang dimuliakan dan yang saya hormati,
Ketua, Sekretaris, dan para anggota Majelis Wali Amanat,
Ketua, Sekretaris, dan para anggota Senat Akademik,
Ketua, Sekretaris, dan para anggota Dewan Guru Besar,
Rektor dan Wakil Rektor,
Dekan, Wakil Dekan, Ketua Lembaga, dan Direktur Sekolah Pascasarjana Universitas
Gadjah Mada, khususnya Dekan serta Wakil Dekan FMIPA UGM,
Segenap civitas akademika Universitas Gadjah Mada, khususnya sejawat dosen dan para
mahasiswa FMIPA UGM,
Segenap tamu undangan, rekan sejawat, dan hadirin sekalian yang saya hormati serta sanak
keluarga yang saya cintai,*

Assalaamu'alaikum warahmaatullahi wabarakaatuh,

Pertama, izinkan saya mengajak para hadirin semuanya untuk memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT yang melalui berkah dan rahmat-Nya kita semua diperkenankan menghadiri Rapat Terbuka Dewan Guru Besar Universitas Gadjah Mada, alhamdulillah, dalam kondisi sehat walafiat semuanya.

Selanjutnya saya ingin menyampaikan terima kasih kepada pimpinan universitas dan pimpinan Dewan Guru Besar Universitas Gadjah Mada yang telah berkenan mengalokasikan waktu dan kesempatan yang insya Allah akan sangat berkesan bagi diri saya karena pagi hari ini saya dapat menyampaikan pidato pengukuhan sebagai guru besar dalam bidang ilmu fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UGM, terhitung sejak 1 Oktober 2022, sesuai SK Kemdikbudristek No. 751/E4/KP/GB/2022 tertanggal 7 Oktober 2022.

Pimpinan rapat dan para hadirin yang dimuliakan Allah,

Spektroskopi fotoakustik (SFA) merupakan fenomena interaksi antara radiasi gelombang elektromagnetik dengan materi yang menyebabkan terjadinya perubahan tenaga foton menjadi akustik. Pembangkitan gelombang akustik dimulai dari proses serapan tenaga radiasi termodulasi oleh molekul yang kemudian terjadi relaksasi non-radiasi menyebabkan pemanasan lokal dari sampel. Fluktuasi tekanan kemudian dihasilkan melalui ekspansi termal, yang kemudian dapat dideteksi dalam bentuk gelombang akustik dengan mikrofon (Schmid, 2006). Dalam dua dekade terakhir, telah banyak penelitian tentang metode SFA dengan berbagai sumber radiasi Laser untuk mendeteksi beberapa senyawa organik yang mudah menguap dalam napas manusia (Cernat *et al.*, 2010).

Dengan demikian, izinkan saya dalam kesempatan ini menyampaikan pidato pengukuhan guru besar saya dengan judul:

PERKEMBANGAN RISET APLIKASI SPEKTROSKOPI FOTOAKUSTIK LASER UNTUK ANALISIS NAFAS MANUSIA

Spektroskopi Fotoakustik Laser (SFAL)

Sistem SFAL terdiri dari laser sebagai sumber radiasi, yang ditembakkan ke sel fotoakustik (FA) melalui *chopper* agar intensitasnya termodulasi. Sel fotoakustik (FA) adalah wadah tempat sampel gas uji yang dilengkapi dengan mikrofon sebagai detektor sinyal akustik yang terbentuk. Sinyal dari mikrofon diperkuat oleh *lock-in amplifier* dan direkam secara

otomatis dalam komputer melalui sistem akuisisi data. Sinyal ternormasliasi terhadap daya laser dianalisis secara otomatis untuk mendapatkan besar konsentrasi gas sampel yang diuji.

Teknik deteksi Spektroskopi fotoakustik laser (SFAL) sebagai alat untuk analisis gas lacak dapat digunakan untuk memantau banyak sampel yang berbeda secara bersamaan dengan memberikan banyak fitur penting seperti sensitivitas dan selektivitas tinggi, jangkauan dinamis yang lebar, akurasi dan presisi tinggi, resolusi temporal yang baik, keserbagunaan, keandalan, ketahanan, dan kemudahan penggunaannya (Henderson *et al.*, 2018; Wang dan Sahay, 2009). Teknik tersebut terus mengalami perkembangan dan dapat diterapkan hingga saat ini di hampir semua disiplin ilmu dan teknologi (Nieam dan Chen, 2014, Liu *et al.*, 2016).

SFAL didasarkan pada efek fotoakustik (FA) yang terjadi pada interaksi cahaya dan materi, dan suara yang dibangkitkan. Fenomena ini ditemukan pada tahun 1880 oleh Alexander Graham Bell (Bell, 1880), yang menemukan bahwa zat padat yang menyerap optik mengeluarkan suara ketika diterangi oleh cahaya termodulasi. Satu tahun kemudian, Bell (Bell, 1881), Tyndall (Tyndall, 1881), Röntgen (Röntgen, 1881), dan Preece (Preece, 1881) mendemonstrasikan bahwa efek fotoakustik muncul tidak hanya pada zat padat tetapi juga pada zat cair dan gas, dan suara menjadi lebih kuat ketika zat tersebut ditempatkan di sel sampel bernama *photophone* dan kemudian *spectrophone*. Akantetapi ketertarikan pada fotoakustik sempat menurun selama beberapa dekade hingga munculnya mikrofon sensitif.

Dalam SFAL, media penyerap (misalnya, sampel gas) yang tertutup dalam sel FA dirancang khusus menyerap radiasi laser pada frekuensi yang dipilih, dan energi foton yang diserap oleh gas dikonversi ke dalam variasi tekanan gas melalui proses relaksasi non-radiatif yang menimbulkan gelombang akustik yang terdeteksi oleh mikrofon sensitif (Schmid, 2006, Henderson *et al.*, 2018).

Para hadirin, Bapak dan Ibu yang saya hormati,

Sumber Laser

Karena tingginya sensitivitas spektroskopi fotoakustik laser (SFAL), memungkinkan pengukuran napas tunggal dari volume sampel yang kecil (beberapa ratus mL) tanpa memerlukan langkah prakonsentrasi. SFAL sensitivitas tinggi dapat dicapai dengan laser inframerah berdaya tinggi. Selain itu, kemampuan tunabilitas lebar diperlukan untuk mendeteksi gas secara selektif dalam campuran gas kompleks dan beroperasi pada daerah panjang gelombang optimal untuk meminimalkan interferensi spektroskopi dari gas lain seperti air. Laser berdaya tinggi yang dapat ditala secara lebar sudah tersedia, misalnya laser CO dan CO₂, *optical parametric oscillators* (OPO), atau *external cavity quantum cascade lasers* (EC-QCLs) (Dumitras *et al.*, 2007, Harren *et al.*, 2000).

Karakteristik utama laser menentukan sifat unik SFAL. Kesesuaian spektral emisi laser dengan pita serapan molekul gas lacak menentukan jenis dan jumlah zat yang dapat dideteksi. Resolusi spektral dari laser, rentang panjang gelombang yang dapat diakses, dan *tunability* sangat penting untuk deteksi semacam ini (Hubert, 1983). Sensitivitas SFAL, ditentukan oleh konsentrasi minimum yang dapat dideteksi, sebagian besar didukung oleh laser di daerah panjang gelombang infra-merah di mana banyak molekul menunjukkan garis penyerapan yang khas di daerah pajang gelombang infra-merah tersebut. Sumber laser yang sesuai juga mengontrol selektivitas (rentang penalaan), kepraktisan (kemudahan penggunaan, ukuran, biaya, dan keandalan), dan resolusi waktu (waktu yang diperlukan untuk penalaan laser dan pertukaran gas di dalam sel) SFAL.

Laser CO dan CO₂ memberikan banyak keuntungan untuk sistem pemantauan gas lacak berbasis SFAL. Laser CO₂ adalah laser garis tertala yang mencakup daerah panjang gelombang infra-merah 9–11 μm dengan jarak garis laser 0,5–2 cm^{-1} . Laser CO₂ menawarkan *tunability* kontinu dalam rentang panjang gelombang 9 hingga 11 μm yang melebar hingga 12 μm ketika isotop CO₂ yang berbeda digunakan. CO₂ dapat ditala secara bertahap saat beroperasi di

kontinu dan merupakan sumber terbaik untuk deteksi dan kuantifikasi gas lacak molekuler dengan sensitivitas deteksi mulai dari *ppmv* (*part per million volume*) dan *ppbv* (*part per billion volume*), bahkan hingga tingkat *pptv* (*part per trillion volume*). Penggunaan laser infra-merah memungkinkan untuk menyelidiki analisis napas dan pengujian *non-invasif* untuk diagnostik klinis (Dumitras *et al.*, 2007, Harren *et al.*, 2000).

Laser CO dengan jarak garis antara $0,5 - 1 \text{ cm}^{-1}$ memancarkan radiasi di daerah panjang gelombang inframerah Δv_1 (daerah panjang gelombang $5,0 - 7,6 \text{ }\mu\text{m}$) dan Δv_2 ($2,5 - 3,8 \text{ }\mu\text{m}$). Jenis laser ini umumnya kurang kuat, tetapi pengoperasiannya dapat ditingkatkan dengan menggunakan pengaturan *intracavity* (yaitu penempatan sel FA di dalam rongga laser) (Dumitras *et al.*, 2007, Harren *et al.*, 2000).

QCL (kontinu dan pulsa) yang beroperasi pada suhu kamar dengan daya hingga 1 W telah digunakan sebagai sumber sistem SFAL. QCL beroperasi di wilayah panjang gelombang inframerah menengah dari $3,5$ hingga $24 \text{ }\mu\text{m}$ dan sekarang tersedia secara komersial *external cavity QCL*, rentang penyeteraan mode tunggal, mendekati 300 cm^{-1} (Kosterev dan Tittel, 2002, Kosterev *et al.*, 2008).

Penelitian SFAL pada daerah $2,5 - 5 \text{ }\mu\text{m}$ semakin berkembang dengan adanya laser jenis *periodically poled lithium niobate optical parametric oscillators* (PPLN-OPOs) dengan daya tinggi (beberapa watt) dan lebar garis sempit. OPO dipompa oleh laser daya tinggi. Fitur OPO adalah tunabilitas panjang gelombang yang lebar, daya keluaran yang tinggi dan stabil, dan kualitas sinar yang luar biasa. Hal ini membuat OPO sangat baik untuk spektroskopi laser (Myers *et al.*, 1997, Harren *et al.*, 2012).

Pimpinan rapat dan hadirin yang dimuliakan Allah,

Sel fotoakustik (FA)

Sel fotoakustik (FA) adalah rongga di mana sinyal FA dibangkitkan dan diperkuat. Karakteristik utama sel FA untuk deteksi gas lacak adalah ukuran kecil, sederhana, konsumsi gas sedikit, dan respons cepat. Dalam SFA untuk deteksi gas lacak, peran sel FA adalah untuk memperkuat gelombang yang dihasilkan dari penyerapan gas molekuler dan mengurangi *noise* akustik atau elektrik. Sel FA dapat dioperasikan baik dalam ragam resonansi atau tak-resonansi (Bruhns *et al.*, 2018, Harren *et al.*, 2012).

Sel FA ragam resonansi biasanya digunakan untuk sumber laser kontinu, sedangkan sel FA ragam tak-resonansi untuk sumber laser pulsa. Dalam sistem sel FA ragam tak-resonansi, frekuensi modulasi jauh lebih rendah daripada frekuensi resonansi akustik pertama, dan panjang gelombang gelombang akustik yang dihasilkan lebih besar daripada dimensi sel. Karena itu, pembangkitan gelombang akustik berdiri tidak dimungkinkan. Untuk sel resonansi, sinyal FA dan rasio *signal-to-noise* (SNR) menurun hampir linier terhadap tekanan, sedangkan sel tak-resonansi tetap hampir konstan saat tekanan menurun (Bruhns *et al.*, 2018, Harren *et al.*, 2012).

Seiring waktu, berbagai jenis sel FA telah dirancang seperti *multipass* (yaitu sel dengan dua cermin cekung untuk memantulkan bolak balik sinar laser yang masuk kedalamnya) (Koch dan Lahmann, 1978, Nägele dan Sigrist, 2000), rongga ekstra- dan intra-kavitas (Nägele dan Sigrist, 2000, Fung dan Lin, 1986) dengan berbagai bentuk geometri (yaitu geometri silinder, geometri tipe H, geometri tipe T, atau resonator Helmholtz) serta dapat beroperasi secara longitudinal, azimuth, radial, atau resonansi Helmholtz. Sinyal terukur di sel FA intrakavitas jauh lebih tinggi dari pada di sel ekstrakavitas (ratusan atau bahkan ribuan kali) (Bruhns *et al.*, 2018, Harren *et al.*, 2012).

Para hadirin yang saya hormati

Aplikasi SFAL dalam Kesehatan Manusia

Biomarker Nafas Manusia

Untuk mendapatkan informasi yang akurat dan untuk menentukan konsentrasi biomarker pernapasan tertentu, diperlukan teknik yang sangat sensitif, tetapi juga sangat selektif (Bruhns *et al.*, 2018, Harren *et al.*, 2012). Spektroskopi fotoakustik memberikan pendekatan baru di klinik untuk analisis napas manusia (Dumitras *et al.*, 2007, Harren *et al.*, 2000). Saat ini, tes konvensional untuk diagnosis dan pemantauan klinis berfokus pada analisis darah dan urin, yang menyebabkan rasa tidak nyaman dan/atau rasa malu serta membutuhkan pengujian yang memakan waktu. Dalam kedokteran klinis, tes napas adalah tes tak-invasif (yaitu metode tes yang tidak merusak atau menyakiti objek), meminimalisasi resiko dan ketidaknyamanan pasien (Bruhns *et al.*, 2018, Harren *et al.*, 2012). Bau napas digunakan untuk diagnosa penyakit jauh sebelum hari ini, pernapasan pasien telah ditandai dengan bau tertentu dari zaman Hippocrates, bau buah yang manis dari aseton pada pasien dengan diabetes mellitus yang tidak terkontrol; apek, bau amis dari penyakit hati lanjut; bau seperti urin yang menyertai gagal ginjal; dan bau busuk dari abses paru (Phillips, 1992). Penelitian Pauling membuka pintu untuk penelitian non-invasif baru, dan dengan demikian pemantauan senyawa organik volatil (VOC = *volatile organic compounds*) dalam respirasi menjadi berguna untuk pemantauan diagnostik, pengobatan dan terapi atau juga analisis gas metabolik (Phillips, 1997, Risby dan Pleil, 2013).

Dalam studi pada napas manusia, lebih dari 3000 VOC dan partikel berbeda telah terdeteksi, di mana sebagian besar VOC berada pada konsentrasi rendah, yaitu dari ppm ke ppb atau ppt (Risby dan Pleil, 2013, Spagnolo *et al.*, 2011). Manusia dewasa yang sehat memiliki laju pernapasan 12–15 napas/menit saat istirahat, inspirasi dan ekspirasi 6–8 L udara per menit. Udara pernapasan adalah campuran nitrogen (78%), oksigen (16%), karbon dioksida (4–5%), karbon monoksida (0–6 ppm), amonia (0,5–2 ppm), gas inert, dan lacak VOC (0,9%), uap air (sekitar 6% pada saturasi) dan dengan kelembaban relatif 82–85% (Horváth *et al.*, 2005).

Senyawa endogen yang paling dominan dalam napas adalah isoprena (12–580 ppb), etanol (13–1000 ppb), metanol (160–2000 ppb), dan aseton (1,2–1800 ppb); alkohol lain hadir dalam konsentrasi yang sangat rendah. Hanya sejumlah kecil VOC yang umum untuk semua orang (isoprena, aseton, etana, dan metanol) yang merupakan produk dari proses metabolisme dan beberapa VOC ini (etana, n-pentana, butana, etanol, aseton) telah diidentifikasi sebagai biomarker pernapasan (Mathew *et al.*, 2015, Spagnolo *et al.*, 2011).

Selain VOC ini, nitrit oksida, hidrogen, amonia, dan karbon monoksida yang dihirup berhubungan dengan kondisi kesehatan dan dapat mencerminkan potensi penyakit individu atau paparan obat atau polutan lingkungan baru-baru ini (Stöner *et al.*, 2018, Souvik *et al.*, 2016).

Para hadirin yang saya hormati

SFAL untuk Analisis Nafas: Implementasi Klinis

Stres oksidatif

Stres oksidatif (OS = *Oxidative stress*) adalah fenomena yang disebabkan oleh ketidakseimbangan antara radikal bebas dan antioksidan dalam sel dan jaringan, mengurangi kemampuan sistem biologis untuk mendetoksifikasi produk reaktif ini (Lazo dan Fernández, 2013, Pizzino *et al.*, 2017). Radikal bebas adalah spesies molekul yang tidak stabil dan sangat reaktif dengan elektron tidak berpasangan yang dapat menyumbangkan atau menerima elektron dari molekul lain (Cheeseman dan Slater, 1993). Radikal bebas dapat menyebabkan reaksi kimia berantai besar di tubuh karena mereka bereaksi dengan mudah dengan molekul lain. Reaksi ini disebut oksidasi dan dapat bermanfaat atau berbahaya. Radikal bebas dihasilkan baik dari sumber endogen maupun eksogen. Produksi radikal bebas eksogen dapat disebabkan oleh

kanker, infeksi, peradangan, tekanan mental, penuaan atau latihan fisik yang berlebihan. Radikal bebas eksogen muncul akibat paparan sejumlah faktor eksternal seperti polusi udara, logam berat, obat-obatan tertentu, radiasi, asap rokok atau alkohol (Pizzino *et al.*, 2017). Ada banyak jenis radikal bebas, tetapi spesies yang paling reaktif dalam sistem biologis berasal dari oksigen, dan dikenal sebagai *reactive oxygen species* (ROS) (Cheeseman dan Slater, 1993). ROS termasuk ion, radikal bebas dan peroksida dan peningkatan spesies ini menyebabkan kerusakan sel yang signifikan, kerusakan yang dikenal sebagai OS (Freidovich, 1999). Kelebihan radikal bebas menyebabkan kerusakan oksidatif pada biomolekul seperti lipid, protein atau DNA dan menyebabkan banyak penyakit kronis (aterosklerosis, kanker, penderita diabetes, rheumatoid arthritis, infark miokard, penyakit kardiovaskular, peradangan kronis, stroke dan syok septik, penuaan dan penyakit degeneratif lainnya.) (Yun-Zhong, 2002). Sebagai hasil oksidasi lipid seluler, radikal bebas menghasilkan lesi seluler, suatu proses yang dikenal sebagai *lipid peroxidation* (LP) (Yavuzer *et al.*, 2015, Dix dan Aikens, 1993). Cristescu *et al.* menggunakan detektor fotoakustik berbasis laser CO₂ untuk memantau peroksidasi lipid dengan mengukur etilen dari napas pasien selama operasi jantung (Cristescu *et al.*, 2014).

Para hadirin yang saya hormati

SFAL pada Subjek Autisme

Autism spectrum disorder (ASD) adalah gangguan perkembangan saraf yang ditandai dengan gangguan interaksi sosial dan komunikasi serta perilaku berulang terbatas yang muncul pada anak usia dini (Masi *et al.*, 2017, Faras *et al.*, 2010). Tidak ada pengobatan kuratif untuk ASD, tetapi perawatan perilaku intensif dini dapat secara signifikan meningkatkan hasil perkembangan jangka panjang (Lord dan McGee, 2001, Reichow *et al.*, 2018). Studi terbaru menunjukkan pengukuran penanda untuk memahami sistem yang kompleks (Schendel *et al.*, 2012, Ruggeri *et al.*, 2014). Penanda tersebut meliputi neurotransmitter, hormon, dan penanda fungsi kekebalan dan peradangan (Anderson *et al.*, 1987, Loth *et al.*, 2016). Telah dikemukakan bahwa OS mungkin berperan dalam *etiopatogenesis* ADS, bahwa perubahan neurologis mungkin disebabkan oleh OS yang terjadi pada awal perkembangan jaringan otak dan berkurangnya penghalang antioksidan (Osredkar *et al.*, 2019). Etimologi kondisi ini masih belum jelas, namun pemahaman tentang potensi peran OS dalam patogenesis autisme akan sangat berguna untuk pencegahan atau terapi kondisi ini (James *et al.*, 2004, Ghezzi *et al.*, 2013). Produk akhir LP, etilena, telah dianggap sebagai penanda OS (Risby dan Sehnert, 1999). Bratu *et al.* menganalisis etilen napas dari dewasa muda dengan autisme menggunakan sistem SFAL (Bratu, 2018).

Para hadirin yang saya hormati

SFAL pada Subyek Skizofrenia

Skizofrenia adalah gangguan kejiwaan yang umum, ditandai dengan distorsi besar dari realitas dan gangguan dalam berpikir, merasa, dan berperilaku. Orang dengan *skizofrenia* mungkin tampak seperti kehilangan kontak dengan kenyataan. Dipercaya bahwa peningkatan OS mungkin relevan dengan patofisiologi skizofrenia (Phillips *et al.*, 1993, Phillips *et al.*, 1995). Sebagian besar penelitian sebelumnya di skizofrenia bersifat invasif, yaitu membutuhkan sampel darah atau cairan serebrospinal atau pengukuran tidak langsung dari kadar enzim antioksidan (Boots *et al.*, 2012). Popa *et al.* menggunakan metode SFAL untuk menganalisis senyawa nafas yang dihirup pada pasien dengan skizofrenia (Popa *et al.*, 2015). Kelompok tersebut mengukur etilen dan amonia napas pada pasien dengan Skizofrenia sebelum/sesudah pengobatan. Dari hasil penelitian ini, etilen dan amonia napas pasien skizofrenia diidentifikasi dalam konsentrasi yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan kontrol kelompok sehat. Hasilnya juga mengungkapkan bahwa kadar etilen dapat dianggap sebagai ukuran indeks OS pada orang skizofrenia dan hasilnya mendukung hipotesis rasio

oksidan/antioksidan keseimbangan sebagai komponen kunci yang dapat berkontribusi pada patologi Skizofrenia.

Para hadirin yang saya hormati

SFAL pada Perokok

Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), asap tembakau membunuh lebih dari 8 juta orang per tahun di seluruh dunia, lebih dari 7 juta kematian tersebut adalah akibat dari penggunaan tembakau langsung sementara sekitar 1,2 juta adalah akibat bukan perokok. terpapar asap rokok orang lain. Merokok merupakan faktor risiko utama dalam perkembangan kanker paru-paru, yang merupakan penyebab utama kematian akibat kanker pada pria dan wanita di dunia (Bukreeva *et al.*, 2017). Bukreeva *et al.* menyelidiki dampak merokok pada udara yang dihembuskan oleh pasien dengan penyakit paru obstruktif kronik (PPOK) dan asma, dengan menggunakan SFAL (Bukreeva *et al.*, 2017). Spektrum serapan napas yang dihembuskan dari subjek dengan PPOK dan asma dibandingkan dengan individu sehat yang tidak merokok. Mereka mengamati bahwa spektrum senyawa udara yang dihembuskan penderita asma berbeda dari kedua perokok. Spektrum senyawa nafas direkam pada cabang 10R dan 10P dari laser CO₂. Hasil mereka memungkinkan untuk membedakan individu sehat yang tidak merokok dari penderita asma dan pasien PPOK. Giubileo dkk. mengukur gas lacak etilen ke tingkat ppb dalam napas yang dihembuskan dari sampel yang dikumpulkan sebelum merokok dan dibandingkan dengan sampel yang dikumpulkan setelah 30 menit setelah menghirup asap rokok melalui SFAL (Giubileo *et al.*, 2004). Popa *et al.* menggunakan teknologi SFAL untuk menyelidiki etilen sebagai biomarker nafas dari perokok tradisional vs. perokok elektrik (Popa *et al.*, 2015). Hasilnya menunjukkan bahwa ada perbedaan konsentrasi etilen napas pada perokok aktif dengan rokok elektrik vs rokok tradisional.

Para hadirin yang saya hormati

SFAL pada Kanker Paru

Kanker paru-paru adalah salah satu penyebab utama kematian di seluruh dunia dan salah satu jenis kanker yang paling populer. Metode tradisional untuk mendiagnosis kanker paru adalah prosedur invasif, mahal dan memakan waktu (Smith *et al.*, 2014, Moyer, 2014). Menurut Tainavn *et al.* beberapa senyawa organik yang mudah menguap bisa menjadi kandidat yang mungkin untuk penanda kanker (Taivans *et al.*, 2014). Analisis napas dengan penentuan (VOC) digunakan oleh kelompok yang berbeda untuk membedakan antara pasien kanker paru-paru dan kelompok kontrol yang sehat (Poli *et al.*, 2010, Phillips *et al.*, 2003). Saalberg *et al.* mengembangkan sensor berbasis SFA untuk enam VOC (2-butanone, 1-propanol, isoprene, ethylbenzene, styrene, dan hexanal) terkait dengan kanker paru-paru (Saalberg *et al.*, 2017). Sebagai sumber radiasi, kelompok tersebut menggunakan OPO di wilayah panjang gelombang dari 3,2 µm hingga 3,5 µm. Batas deteksi untuk substansi tunggal sensor FA adalah antara 5 ppb dan 142 ppb. Mereka menemukan bahwa setiap biomarker kanker paru menunjukkan spektrum yang sangat khas di wilayah pertengahan inframerah. Marcus dkk. mengembangkan sensor optik baru untuk VOC yang menggunakan pengaturan yang sangat ringkas dan sederhana berdasarkan SFA (Marcus *et al.*, 2005). Petrus *et al.* menggunakan sistem spektroskopi fotoakustik laser untuk analisis kuantitatif OS dengan mengukur etilen napas pada subjek dengan kanker paru non-sel kecil sebelum dan segera setelah kemoterapi dan PPOK (Petrus *et al.*, 2015). Subyek dengan kanker paru menunjukkan tingkat konsentrasi etilen nafas yang rendah dibandingkan dengan subyek dengan PPOK, tetapi setelah sesi kemoterapi mereka menunjukkan konsentrasi yang sangat tinggi etilen dalam napas yang dihembuskan. Mitrayana *et al.* telah berhasil menerapkan sistem SFA laser CO₂ untuk mengukur gas etilen, aseton dan ammonia dalam napas tiga kelompok subjek, yaitu pasien dengan penyakit kanker

paru-paru, pasien dengan penyakit paru-paru lainnya, dan sukarelawan sehat (Mitraryana *et al.* 2020a).

Para hadirin yang saya hormati,

SFAL pada Gagal Ginjal

Penyakit ginjal kronis (CKD = *Chronic kidney disease*) adalah gangguan progresif, dan pasien dengan gagal ginjal stadium akhir memerlukan pengobatan dengan transplantasi atau dialisis (Ashby *et al.*, 2019). Gagal ginjal adalah salah satu penyakit yang ditandai dengan kandungan NH_3 yang sangat tinggi dalam gas napas ekspirasi manusia. Bau NH_3 di mulut pasien gagal ginjal dikaitkan dengan tingginya kadar nitrogen urea darah (BUN = *blood urea nitrogen*) (Davies *et al.*, 2014, Davies *et al.*, 1997). Popa *et al.* mengukur etilen napas dan amonia pada pasien gagal ginjal yang menjalani hemodialisis menggunakan sistem SFAL (Popa *et al.*, 2011). Kelompok tersebut menunjukkan bahwa hemodialisis menentukan secara bersamaan peningkatan besar konsentrasi C_2H_4 dalam napas yang dihirup (karena OS) dan pengurangan konsentrasi NH_3 , berkorelasi dengan tingkat BUN. Juga, Wang dkk. mengembangkan spektrometer FA berdasarkan laser fiber tertala *near-IR* yang digunakan untuk analisis amonia napas pada pasien dengan penyakit ginjal stadium akhir yang menjalani hemodialisis (Wang *et al.*, 2012). Hasil pengukuran menunjukkan penurunan amonia napas sebelum dan sesudah perawatan dialisis. Narasimhan dkk. menentukan kadar NH_3 napas secara spektroskopi pada tujuh pasien dengan penyakit ginjal stadium akhir saat mereka menjalani hemodialisis (Narasimhan *et al.*, 2001). Mitraryana *et al.* telah berhasil menerapkan spektrometer fotoakustik laser CO_2 untuk mengukur gas kelumit amonia, aseton, dan etilen dalam napas 10 pasien penyakit ginjal dan 30 sukarelawan sehat. Akhirnya dapat disimpulkan bahwa tidak hanya amonia tetapi juga aseton dan etilen dapat menjadi biomarker potensial untuk penyakit ginjal (Mitraryana *et al.*, 2020b).

Para hadirin yang saya hormati,

SFAL pada Diabetes

Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), diperkirakan 422 juta orang dewasa hidup dengan diabetes pada tahun 2014, dibandingkan dengan 108 juta pada tahun 1980. Pada tahun 2016, diperkirakan 1,6 juta kematian secara langsung disebabkan oleh diabetes (Tabish, 2007). Diabetes melitus tipe 2 (DMT2) telah mencapai proporsi epidemik dengan peningkatan insiden yang eksplosif di seluruh dunia selama beberapa dekade terakhir, terutama di negara berkembang, sehubungan dengan peningkatan angka obesitas dan gaya hidup (Tabish, 2007). Karakteristik utama DMT2 adalah hiperglikemia, dan dikenal sebagai *non-insulin dependent* atau diabetes maturitas yang umumnya berkembang setelah usia 40 tahun, namun semakin terlihat pada usia yang lebih muda. Penyebab DMT2 adalah sekresi insulin yang tidak memadai dan resistensi terhadap aksi insulin. Diprediksi menjadi penyebab kematian ketujuh, diabetes berbahaya karena komplikasinya: penyakit kardiovaskular, kebutaan, risiko amputasi, gagal ginjal, dll. Konsentrasi glukosa darah pada pasien diabetes adalah parameter kunci karena pemeliharaan pada tingkat yang sesuai memungkinkan penundaan komplikasi ini (Marín *et al.*, 2016, Tachibana *et al.*, 2016). Tyas *et al.* mengukur aseton napas pada subjek dengan DMT2 dan sekelompok sukarelawan sehat, menggunakan spektrometer FA laser CO_2 (Tyas *et al.*, 2018). Menggunakan teknik SFAL, Petrus dkk. mengukur napas C_2H_4 pada subjek dengan DMT2 (Petrus *et al.*, 2017). Sebuah pendekatan baru dengan sensor fotoakustik berbasis QCL terhadap pemantauan glukosa non-invasif melalui kulit manusia disajikan oleh Sigrist (Sigrist, 2015). Kelompok tersebut melaporkan langkah pertama untuk menargetkan pemantauan glukosa non-invasif dengan mengembangkan skema baru berdasarkan SFAL *midinfrared*. Mereka mengatur QCL ke puncak penyerapan glukosa 1034 cm^{-1} untuk berbagai konsentrasi glukosa untuk menentukan batas deteksi (LOD = *limit of detection*). Dengan cara ini mereka

mencapai LOD 30 mg/dL (untuk SNR = 1) untuk larutan glukosa encer, dan LOD 50 mg/dL (SNR = 1) untuk larutan keratinosit.

Penutup

Hadirin yang berbahagia,

Teknik spektroskopi fotoakustik laser menawarkan kemungkinan unik untuk mendeteksi sampel gas multi-komponen dalam aplikasi medis. Detektor fotoakustik berbasis laser ini mampu mendeteksi konsentrasi gas lacak dalam kondisi atmosfer dengan sensitivitas tinggi dalam volume gas yang kecil, *non-invasif* dan *on-line* dalam kondisi dinamis. Metode SFA telah dikembangkan selama beberapa dekade dan potensinya di klinik medis telah diakui melalui banyak aplikasi. Penerapan SFAL di klinik meliputi terapi kanker, gagal ginjal, diabetes melitus, autisme, skizofrenia dan lainnya.

Deteksi VOC dari napas yang dihirup merupakan alat *non-invasif* yang menarik untuk mendeteksi dan mendiagnosis penyakit. Para peneliti sedang mencari penjelasan untuk korelasi biomarker-penyakit nafas yang diamati, tetapi penelitian lebih lanjut diperlukan untuk pengembangan lebih lanjut di bidang ini.

Pada saat ini dan ke depan Grup Fotoakustik Laser Lab Fisika Atom dan Inti FMIPA UGM, juga sedang mengembangkan sistem pencitraan fotoakustik 3D, dengan analisis algoritma *deep learning* dan aplikasinya untuk pendeteksian potensi kanker pada jaringan tubuh.

Pimpinan rapat dan hadirin yang dimuliakan Allah,

Sebelum menutup pidato ini, sekali lagi puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT, karena hanya dengan karunia Nya-lah saya dapat berkesempatan untuk membacakan pidato pelengkap tugas sebagai guru besar, di hadapan para hadirin yang mulia.

Perkenankanlah pada kesempatan ini, saya mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya pada Pemerintah Republik Indonesia, khususnya Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah memberikan jabatan Guru Besar dalam bidang Ilmu Fisika di Fakultas MIPA UGM.

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada yang terhormat Rektor, Dewan Guru Besar, dan Senat Akademik UGM yang telah menyetujui dan mengusulkan diri saya sebagai Guru Besar. Ungkapan terima kasih yang tulus juga saya sampaikan kepada Dekan dan Senat Fakultas MIPA UGM, serta kepada Ketua Departemen Fisika yang telah menyetujui usulan kenaikan jabatan saya.

Kepada para guru yang telah mendidik dan membimbing sejak bersekolah di SD Babakan Loa VI dan Cibabat V, SMP Negeri 1 Tirtamulya Cikampek, dan SMA Negeri 1 Cimahi, saya menghaturkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya karena didikan dan bimbingannya saya dapat diterima di Fak. MIPA UGM melalui Jalur PBUD.

Terima kasih kepada pembimbing skripsi dan tesis, Bapak Alm. Prof. Muslim Ph.D. dan Ibu Drs. Zahara Muslim, M.Sc., atas ilmu dan bimbingan yang diberikan. Selanjutnya ucapan terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Pembimbing Program Doktor Bapak Dr. Moh Ali Joko Wasono dan Alm. Ibu Prof. Dr. Wasilah Rohmah, sehingga ilmu yang telah diberikan selanjutnya menjadi bidang kepakaran saya.

Kepada para guru dan senior yang luar biasa, Alm. Bapak Prof. Dr. Kusminarto. Alm. Bapak Prof. Kamsul Abraha, Alm. Bapak Prof. Karyono, terima kasih seraya mendoakan semoga almarhum diterima di sisi Allah SWT., selanjutnya ucapkan terima kasih kepada Bapak Prof. Dr. Agung, Bapak Prof. Dr. Harsoyo, Bapak Prof. Dr. Sismanto, Bapak Prof. Bayu Ph.D.,

Bapak Prof. Dr. Yusril, Bapak Dr. Guntur Maruto, Bapak Dr. Yosef, dan Bapak Dr. Pekik Nurwantoro.

Kepada Bapak Prof. Dr. Kuwat Triyana selaku Dekan, Prof. Dr. Edi Suharyadi selaku ketua Departemen Fisika dan Dr. Fahrudin Nugroho selaku kepala lab Fisika Atom dan Inti dan Dr. Mirza Satriawan selaku teman seangkatan dan teman-teman di Departemen Fisika dan Laboratorium Fisika Atom dan Inti FMIPA UGM, yang tidak mungkin saya sebutkan satu persatu terima kasih atas pertemanan, kerjasama dan dukungan yang sangat baik selama ini.

Penghargaan khusus saya sampaikan kepada sejawat dan adik-adik mahasiswa anggota grup riset Fotoakustik di Laboratorium Fisika Atom dan Inti FMIPA UGM yang telah lama bekerja sama bahu membahu dalam banyak keterbatasan, antara lain Dr. Frans Harren, Dr. Stefan Persijn, Dr. Edi Santosa, Dr. Danang Lelono, Dr. Andreas Setiawan, Dr. Rini Widyaningrum, Dr. Restu, Mas Miyosi, Mas Amin, Mas Ananta, Mas Kis, Mba Tyas, Mba JJ, Mba Atika, Mba Fikhri, Mba Eka dan lainnya yang tidak mungkin saya sebutkan semuanya di sini karena memang terlalu panjang daftarnya.

Rasa hormat dan terima kasih yang tak terhingga saya persembahkan kepada kedua orang tua, yaitu Ayahanda Idik dan Ibunda Euis Casmia, Spd yang telah membesarkan serta mendidik saya dengan penuh kesabaran dan kasih sayang. Penghormatan serta terima kasih saya sampaikan pula kepada Ayah dan Ibu Mertua, yaitu alm. Bapak K.H. Sanuri Yusuf dan Ibu Hj. Srigiyanti. Terima kasih saya sampaikan juga kepada adek-adek, Yudi Mulyadi, alm. Tatang Tarmadi, Yulia Siti Hajar, Kun Anisi dan Kuni Fina Rani, atas dukungan dan doanya selama ini yang telah mendukung dan mendoakan saya selama ini untuk mencapai semua cita-cita.

Akhirnya, untuk istri tercinta, Amani Trida Luh Intan, yang telah mendampingi selama lebih dari 23 tahun, dan membesarkan anak-anak dengan segala kesabaran, cinta dan kasih sayang, perhatian, doa, dukungan, serta pengorbanan yang tak terhingga (yang telah rela menjual cicin pernikahan kita untuk uang pendaftar S3 saya), sehingga saya dapat berada di posisi ini. Mohon maaf bila selama ini ada hal-hal yang kurang berkenan yang telah saya lakukan.

Selanjutnya, untuk anak-anak Abi tercinta, Shawab Az Zaha dan Nadhaara Az Zahwa, terima kasih atas cinta dan kasih sayang, pengertian, dan kekompakan kalian yang membuat Abi selalu bersemangat dan pantang menyerah. Semoga kalian selalu menjadi anak-anak Abi yang sholeh dan sholehah serta sukses meraih cita-cita kalian.

Pimpinan sidang, Ketua, Sekretaris, dan anggota Dewan Guru Besar yang saya hormati serta para hadirin yang saya hormati,

Saya akhiri pidato ini dengan mengucapkan terima kasih kepada semua tamu undangan yang telah berkenan hadir dan dengan sabar menyimak pidato ini, disertai permohonan maaf yang sebesar-besarnya bila selama pidato ini ada hal-hal yang kurang tepat. Semoga Allah SWT, senantiasa melimpahkan kasih sayang, taufik, hidayah, dan inayah-Nya kepada kita semua. Aamiin yaa rabbal 'alamin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

DAFTAR PUSTAKA

- Bell, A.G., 1880, "On the production and reproduction of sound by light". *Am. J. Sci.* 20, 305–324.
- Bell, A.G., 1881, "Upon the production of sound by radiant energy". *Phil. Mag. J. Sci.* 11, 510–528.
- Boots, A.W., van Berkel, J.J., Dallinga, J.W., Smolinska, A., Wouters, E.F., dan van Schooten, F.J., 2012, "The versatile use of exhaled volatile organic compounds in human health and disease". *J. Breath Res.* 6, 027108.
- Bratu, A.M., Petrus, M., dan Popa, C., 2018, "Laser-based spectrometer for optical trace gas detection in young adults with autism". *Microchem. J.* 138, 203–208.
- Bruhns, H., Wolff, M., Saalberg, Y., dan Spohr, K.M., 2018, "Quantitative Evaluation of Broadband Photoacoustic Spectroscopy in the Infrared with an Optical Parametric Oscillator". *Sensors*, 18, 3971.
- Bukreeva, E.B., Bulanova, A.A., Kistenev, Y.V., dan Nikiforova, O.Y., 2017, "Photoacoustic spectroscopy evaluation of the impact of smoking on the composition of exhaled air in patients with bronchopulmonary diseases". *Ter Arkh.*, 89, 34–37.
- Cernat, R., Matei, C., Bratu, A., Popa, C., Dutu, D.C.A., Patachia, M., Petrus, M., Banita, S., dan Dumitras, D.C., 2010, "Laser photoacoustic spectroscopy method for measurements of trace gas concentration from human breath", *Rom. Report Physics.* 62, 610-616.
- Cheeseman, K.H. dan Slater, T.F., 1993, "An introduction to free radical biochemistry". *Br. Med. Bull.* 49, 481–493.
- Cristescu, S.M., Kiss, R., Hekkert, S.T., Dalby, M., Harren, F.J.M., Risby, T.H., Marczin, N., dan Harefield, B.S.I., 2014, "Real-time monitoring of endogenous lipid peroxidation by exhaled ethylene in patients undergoing cardiac surgery". *Am. J. Physiol. Lung Cell. Mol. Physiol.* 307, L509–L515.
- Davies, S., Španěl, P., dan Smith, D., 1997, "Quantitative analysis of ammonia on the breath of patients in end-stage renal failure". *Kidney Int.* 52, 223–228.
- Davies, S.J., Španěl, P., dan Smith, D., 2014, "Breath analysis of ammonia, volatile organic compounds and deuterated water vapor in chronic kidney disease and during dialysis". *Bioanalysis*, 6, 843–857.
- Dix, T.A., dan Aikens, J., 1993, "Mechanisms and biological relevance of lipid peroxidation initiation". *Chem. Res. Toxicol.* 6, 2–18.
- Dumitras, D.C., Dutu, D.C., Matei, C., Magureanu, A.M., Petrus, M., dan Popa, C., 2007, "Laser photoacoustic spectroscopy: Principles, instrumentation, and characterization". *J. Optoelectron. Adv. Mater* 9, 3655–3701.
- Ghezzi, A., Visconti, P., Abruzzo, P.M., Bolotta, A., Ferreri, C., Gobbi, G., Malisardi, G., Manfredini, S., Marini, M., dan Nanetti, L., 2013, "Oxidative stress and erythrocyte membrane alterations in children with autism: Correlation with clinical features". *PLoS ONE*, 8, e66418.
- Giubileo, G., Puiu, A.P., dan Dumitras, D.C., 2004, "Detection of ethylene in smokers breath by laser photoacoustic spectroscopy". *Proc. Spie Int. Soc. Opt. Eng.*, 5486, 280–286.
- Faras, H., Al Ateeqi, N., dan Tidmarsh, L., 2010, "Autism spectrum disorders". *Ann. Saudi Med.* 30, 295–300.
- Freidovich, I., 1999, "Fundamental aspects of reactive oxygen species, or what's the matter with oxygen?" *N.Y. Acad. Sci.* 893, 913.
- Fung, K.H. dan Lin, H.B., 1986, "Trace gas detection by laser intracavity photothermal spectroscopy". *Appl. Opt.* 25, 749–752.

- Harren, F.J.M., Cotti, G., Oomens, J., dan te Lintel Hekkert, S., 2000, "Environment: Trace Gas Monitoring". In *Encyclopedia of Analytical Chemistry*; Sigrist, M.W., Meyers, R.A., Eds.; Wiley: Chichester, UK; Volume 3, pp. 2203–2226.
- Harren, F.J.M., Mandon, J., dan Cristescu, S.M., 2012, "*Photoacoustic Spectroscopy in Trace Gas Monitoring, Encyclopedia of Analytical Chemistry*"; John Wiley & Sons, Ltd.: Hoboken, NJ, USA,.
- Horváth, I., Hunt, J., dan Barnes, P.J., 2005, "Exhaled breath condensate: Methodological recommendations and unresolved questions". *Eur. Respir. J.*, 6, 523–548.
- Henderson, B., Khodabakhsh, A., Metsälä, M., Ventrillard, I., Schmidt, F.M., Romanini, D., Ritchie, G.A.D., te Lintel Hekkert, S., Briot, R.; Risby, T., 2018, "Laser spectroscopy for breath analysis: Towards clinical implementation". *Appl. Phys. B*, 124, 161.
- Hubert, M.H., 1983, "*Laser Optoacoustic Detector Measurement of Signatures of a Selection of Environmental Contaminant*"; Rep. No. 83-715-1; Ultra Lasertech Inc.: Mississauga, ON, Canada; pp. 1–107.
- James, S.J., Cutler, P., Melnyk, S., Jernigan, S., Janak, L., Gaylor, D.W., dan Neubrandner, J.A., 2004, "Metabolic biomarkers of increased oxidative stress and impaired methylation capacity in children with autism". *Am. J. Clin. Nutr.* 80, 1611–1617.
- Koch, K.P. dan Lahmann, W. "Optoacoustic Detection of Sulfur Dioxide below the Parts per Billion Level". *Appl. Phys. Lett.* 1978, 32, 289–291.
- Kosterev, A. dan Tittel, F.K., 2002, "Chemical Sensors Based on Quantum Cascade Lasers". *IEEE J. Quant. Electron.* 38, 582–591.
- Kosterev, A., Wysocki, G., Bakhirkin, Y., So, S., Lewicki, R., Fraser, M., Tittel, F., dan Curl, R.F., 2008, "Application of Quantum Cascade Lasers to Trace Gas Analysis". *Appl. Phys. B*, 90, 165–176.
- Lazo, M.L., dan Fernández, M.C., 2013, "Oxidative Stress in Diabetes Mellitus and the Role Of Vitamins with Antioxidant Actions, Oxidative Stress and Chronic Degenerative Diseases"—A Role for Antioxidants. Morales-González, J.A., Ed.; IntechOpen: London, UK.
- Liu, Y., Nie, L., Chen, X., 2016, Photoacoustic Molecular Imaging: From Multiscale Biomedical Applications Towards Early-Stage Theranostics. *Trends Biotechnol.* 2, 34, 420–433.
- Lord, C. dan McGee, J.P., 2001, *Educating Children with Autism*; National Research Council, National Academy Press: Washington, DC, USA.
- Marcus, W., Hinrich, G.G., Matthias, D., dan Hermann, H., 2005, "Photoacoustic sensor for VOCs: First step towards a lung Cancer breath test". In *Diagnostic Optical Spectroscopy in Biomedicine III, Proceedings of the European Conference on Biomedical Optics SPIE, Munich, Germany, 12–16 June 2005*; Mycek, M.A., Ed.; OSA Publishing: Washington, DC, USA; Volume 5862, pp. 84–90.
- Marín-Peñalver, J.J., Martín-Timón, I., Sevillano-Collantes, C., dan del Cañizo-Gómez, F.J., 2016, "Update on the treatment of type 2 diabetes mellitus". *World J. Diabetes* 7, 354–395.
- Masi, A., DeMayo, M.M., Glozier, N., dan Guastella, A.J., 2017, "An Overview of Autism Spectrum Disorder, Heterogeneity and Treatment Options". *Neurosci. Bull.* 33, 183–193.
- Mathew, T.L., Pownraj, P., Abdulla, S., dan Pullithandathil, B., 2015, "Technologies for clinical diagnosis using expired human breath analysis". *Diagnosics* 5, 27–60.
- Mitrayana, Apriyanto, D.K., and Satriawan, M., 2020a, "CO₂ Laser Photoacoustic Spectrometer for Measuring Acetone in the Breath of Lung Cancer Patients". *Biosensors*, 10, 55; doi:10.3390/bios10060055.

- Mitrayana, Nikita, J.G., Wasono, M.A.J., and Satriawan, M., 2020b, "CO₂ laser photoacoustic spectrometer for measuring ethylene, acetone, and ammonia in the breath of patients with renal disease". *Sensing and Bio-Sensing Research*, 30, 100387; <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2020.100387>.
- Moyer, V.A., 2014, "Screening for lung cancer: U.S. Preventive Services Task Force recommendation statement". *Ann. Intern. Med.* 160, 330–338.
- Myers, L.E., Bosenberg, W.R., dan Pierce, J.W., 1997, "Periodically Poled Lithium Niobate and Quasi-Phase-Matched Optical Parametric Oscillators". *IEEE J. Quant. Electron.* 33, 1663–1672.
- Narasimhan, L.R., Goodman, W., dan Patel, K.N., 2001, "Correlation of breath ammonia with blood urea nitrogen and creatinine during hemodialysis". *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 98, 4617–4621.
- Nägele, M. dan Sigrist, M.W., 2000, "Mobile laser spectrometer with novel resonant multipass photoacoustic cell for trace-gas sensing". *Appl. Phys. B* 70, 895–901.
- Nieam, L., dan Chen, X., 2014, "Structural and functional photoacoustic molecular tomography aided by emerging contrast agents". *Chem. Soc. Rev.* 43, 7132–7170.
- Osredkar, J., Gosar, D., Mačcek, J., Kumer, K., Fabjan, T., FINDERLE, P., Šterpin, S., Zupan, M., dan Jekovec Vrhovšek, M., 2019, "Urinary Markers of Oxidative Stress in Children with Autism Spectrum Disorder (ASD)". *Antioxidants* 8, 187.
- Petrus, M., Bratu, A.M., dan Serbanescu, D., 2015, "Laser spectroscopy method for non-invasive analysis of breath in pulmonary disease". *Rom. Rep. Phys.* 67, 1545–1557.
- Petrus, M., Bratu, A.M., dan Popa, C., 2017, "Spectroscopic analysis of breath ethylene and oxidative stress relation with glycaemic status in type 2 diabetes". *Opt. Quant. Electron.* 49, 2.
- Phillips, M., 1992, "Breath tests in medicine". *Sci. Am.* 267, 74–79.
- Phillips, M., 1997, "Method for the collection and assay of volatile organic compounds in breath". *Anal. Biochem.* 247, 272–278.
- Phillips, M., Sabas, M., dan Greenberg, J., 1993, "Increased pentane and carbon disulfide in the breath of patients with schizophrenia". *Clin. Pathol.* 46, 861–864.
- Phillips, M., Erickson, G.A., Sabas, M., Smith, J.P., dan Greenberg, J., 1995, "Volatile organic compounds in the breath of patients with schizophrenia". *Clin. Pathol.* 48, 466–469.
- Phillips, M., Cataneo, R.N., Cummin, A.R.C., Gagliardi, A.J., Gleeson, K., Greenberg, J., Maxfield, R.A., dan Rom, W.N., 2003, "Detection of lung cancer with volatile markers in the breath". *Chest* 123, 2115–2123.
- Pizzino, G., Irrera, N., Cucinotta, M., Pallio, G., Mannino, F., Arcoraci, V., Squadrito, F., Altavilla, D., dan Bitto, A., 2017, "Oxidative Stress: Harms and Benefits for Human Health". *Oxid. Med. Cell. Longev.* 8416763.
- Poli, D., Goldoni, M., Corradi, M., Acampa, O., Carbognani, P., Internullo, E., Casalini, A., dan Mutti, A., 2010, "Determination of aldehydes in exhaled breath of patients with lung cancer by means of on-fiber-derivatisation SPME-GC/MS". *J. Chrom. B.* 878, 2643–2651.
- Popa, C., Dutu, D.C.A., Cernat, R., Matei, C., Bratu, A.M., Banita, S., dan Dumitras, D.C., 2011, "Ethylene and ammonia traces measurements from the patients' breath with renal failure via LPAS method". *Appl. Phys. B* 105, 669–674.
- Popa, C., Petrus, M., dan Bratu, A.M., 2015, "Ammonia and ethylene biomarkers in the respiration of the people with schizophrenia using photoacoustic spectroscopy". *J. Biomed. Opt.* 20, 057006.
- Popa, C., Banita, S., Patachia, M., Matei, C., Bratu, A.M., Petrus, M., dan Dumitras, D.C., 2015, "CO₂ laser-photoacoustic study of exhaled breath produced by electronic vs. traditional cigarettes". *Rom. Rep. Phys.* 67, 946–953.

- Reichow, B., Hume, K., Barton, E.E., dan Boyd, B.A., 2018, “Early intensive behavioral intervention (EIBI) for young children with autism spectrum disorders (ASD)”. *Cochrane Database Syst. Rev* 5, CD009260.
- Risby, T.H., dan Pleil, J.D., 2013, “Breath analysis—Past, present and future: A special issue in honour of Michael Phillips’ 70th birthday”. *J. Breath Res.* 7, 010201.
- Risby, T.H., dan Sehnert, S.S., 1999, “Clinical application of breath biomarkers of oxidative stress status”. *Free Radic. Biol. Med.* 27, 1182–1192.
- Röntgen, W.C., 1881, “Über Töne, welche durch intermittierende Bestrahlung eines Gases entstehen”. *Ann. Phys. Chem.* 1, 155–159.
- Ruggeri, B., Sarkans, U., Schumann, G., dan Persico, A.M., 2014, “Biomarkers in autism spectrum disorder: The old and the new”. *Psychopharmacology* 231, 1201–1216.
- Saalberg, Y., Bruhns, H., dan Wolff, M., 2017, “Photoacoustic Spectroscopy for the Determination of Lung Cancer Biomarkers—A Preliminary Investigation”. *Sensors* 17, 210.
- Schendel, D.E., Diguseppi, C., Croen., L.A., Fallin, M.D., Reed, P.L., Schieve, L.A., Wiggins, L.D., Daniels, J., Grether, J., dan Levy, S.E., 2012, “The Study to Explore Early Development (SEED): A multisite epidemiologic study of autism by the Centers for Autism and Developmental Disabilities Research and Epidemiology (CADDRE) network”. *J. Autism Dev. Disord.* 42, 2121–2140.
- Schmid, T., 2006, “Photoacoustic spectroscopy for process analysis”. *Anal. Bioanal. Chem.* 384, 1071–1086.
- Sigrist, M.W., 2015, “Mid-infrared laser-spectroscopic sensing of chemical species”. *J. Adv. Res.* 6, 529–533.
- Souvik, D., Saurabh, P., dan Mitra, M., 2016, “Significance of Exhaled Breath Test in Clinical Diagnosis: A Special Focus on the Detection of Diabetes Mellitus”. *J. Med. Biol. Eng.* 36, 605–624.
- Smith, R.A., Manassaram-Baptiste, D., Brooks, D., Cokkinides, V., Doroshenk, M., Saslow, D., Wender, R.C., dan Brawley, O.W., 2014, “Cancer screening in the United States, 2014: A review of current American Cancer Society guidelines and current issues in cancer screening”. *CA Cancer J. Clin.* 64, 30–51.
- Spagnolo, V., Lewicki, R., Dong, L., dan Tittel, F.K., 2011, “Quantum-cascade-laser-based optoacoustic detection for breath sensor applications”. In *Proceedings of the IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications*, Bari, Italy, 30—31 May 2011.
- Stönnner, C., Edtbauer, A., dan Williams, J., 2018, “Real-world volatile organic compound emission rates from seated adults and children for use in indoor air studies”. *Indoor Air* 28, 164–172.
- Tabish, S.A., 2007, “Is Diabetes Becoming the Biggest Epidemic of the Twenty-first Century?” *Int J Health Sci.* 1, V–VIII.
- Tachibana, K., Okada, K., Kobayashi, R., dan Ishihara, Y. 2016, “Development of a high-sensitivity and portable cell using Helmholtz resonance for noninvasive blood glucose-level measurement based on photoacoustic spectroscopy”. In *Proceedings of the 2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Orlando, FL, USA, 16–20 August 2016; pp. 6477–6480.
- Taivans, I., Bukovskis, M., Strazda, G., dan Jurka, N., 2014, “Breath testing as a method for detecting lung cancer”. *Expert Rev. Anticancer Ther.* 14, 121–123.
- Tyas, F.H., Nikita, J.G., Apriyanto, D.K., Mitrayana, dan Amin, M.N., 2018, “The Performance of CO₂ Laser Photoacoustic Spectrometer in Concentration Acetone Detection As Biomarker For Diabetes Mellitus Type 2”. *IOP Conf. Ser. J. Phys. Conf. Ser.* 1011, 012056.

- Tyndall, J., 1881, “Action of an intermittent beam of radiant heat upon gaseous matter”. *Proc. R. Soc.* 31, 307–317.
- Wang, C. dan Sahay, P., 2009, “Breath analysis using laser spectroscopic techniques: Breath biomarkers, spectral fingerprints, and detection limits”. *Sensor* 9, 8230–8262.
- Wang, J.W., Xie, H., Liang, L.R., Zhang, W., Peng, W., dan Yu, Q.X., 2012, “Tunable fiber laser based photoacoustic spectrometer for breath ammonia analysis during hemodialysis”. *Laser Phys.* 22, 327–330.
- Yavuzer, S., Yavuzer, H., Cengiz, M., Erman, H., Demirdag, F., Doventas, A., Balci, H., Erdinçler, D.S., dan Uzun, H., 2015, “The role of protein oxidation and DNA damage in elderly hypertension”. *Aging Clin. Exp. Res.* 28, 625–632.
- Yun-Zhong, F., Sheng, Y., dan Wu, W.G., 2002, “Free radicals, antioxidants, and nutrition”. *Nutrition* 18, 872–879.

BIODATA

Nama : Prof. Dr. Mitrayana, S.Si., M.Si.
 Tempat Lahir : Bandung
 Tanggal Lahir : 03 Maret 1973
 NIP : 197303031999031004
 Pangkat : IV B / Pembina Tingkat I

Alamat Kantor : Fakultas MIPA, Sekip Utara Unit III BLS 21 Slemen
 Telpon : (0274) 513339
 Alamat Rumah : Jl Nanas 17 A RT 02 RW 01 Kadisoka Purwomartani
 Telpon/HP : (0274)4395319/ 08156854834
 E-mail : mitrayana@ugm.ac.id

Keluarga

Nama Istri : Amani Trida Luh Intan
 Nama Anak : 1. Shawab Az Zaha
 2. Nadhaara Az Zahwa

Riwayat Pendidikan

Dr. : Fisika, Departemen Fisika FMIPA UGM (2008)
 M.Si. : Fisika, Departemen Fisika FMIPA UGM (2002)
 S.Si. : Fisika, Departemen Fisika FMIPA UGM (1997)
 SMA : SMAN 1 Cimahi (1991)
 SMP : SMPN 1 Tirtamulya (1988)
 SD : SDN Cibabat V (1985)

Riwayat Pekerjaan dan Jabatan

1999 - sekarang : Dosen Departemen Fisika FMIPA UGM
 2000 - 2009 : Sekretaris Prodi Fisika
 2009 - 2011 : Kepala Lab. Fisika Atom dan Inti
 2011 - 2012 : Sekretaris Jurusan Fisika
 2012 - 2016 : Ketua Jurusan Fisika
 2016 - 2021 : Ketua Departemen Fisika
 2021 - sekarang : Koordinator KBK Fisika Terapan
 2022 - 2025 : Kepala UJM dan KK FMIPA

Riwayat Profesi, Konsultan, *Visiting Scholar*

2000 – 2001 : Peneiti tamu di Radboud University Nijmegen Belanda
 2006 – 2007 : Peneiti tamu di Radboud University Nijmegen Belanda
 2007 : Peneiti tamu di Radboud University Nijmegen Belanda
 2008 : Peneiti tamu di Radboud University Nijmegen Belanda
 2010 : Sabbatical Leave di di Radboud University Nijmegen Belanda
 2014 - Sekarang : Asesor BANPT
 2021 - Sekarang : Asesor Lamsama
 2020 - Sekarang : Evaluator Pendirian Prodi Baru Kelembagaan DIKTI
 2022 - Sekarang : Koordinator Bidang Kurikulum PSI/HFI Pusat

Minat Riset Utama

Spektroskopi Fotoakustik Laser dan Aplikasinya

Publikasi

A. Jurnal Ilmiah

- Alifkalaila, A., Mitrayana, and Widyaningrum, R., 2021, Photoacoustic Imaging System based on Diode Laser and Condenser Microphone for Characterization of Dental Anatomy, *IJASEIT*, Vol.11. No. 6.
- Bergita, D.A., and Mitrayana, 2020, CO₂ Laser Power Optimization of Photoacoustic Spectrometer and It's Application to Detect Ammonia Gas (NH₃) Concentration on Isotonic Beverage Consumer's Breath. *Magister Scientiae – ISSN 2622-7959*, 47, 13-23.
- Darmawan, M.Y., Mitrayana, dan Wasono, M.A.J., 2015, Kinerja Spektrometer Fotoakustik Laser CO₂ untuk Deteksi Gas Etilen (C₂H₄), Aseton (C₃H₆O), Amonia (NH₃) pada Gas Hembus Perokok. *Jurnal Fisika Indonesia*, 19, 35-42.
- Kurniawan, E., Widyaningrum, R., and Mitrayana, 2017, Sistem Fotoakustik Sederhana Berbasis Laser Dioda dan Mikrofon Condenser untuk Pengukuran Konsentrasi Darah. *Risal. Fis.* 1, 47-51.
- Mitrayana, Muslim, Wasono, M.A.J., Rohmah, W., dan Harren, F.J.M., 2005, Kajian Awal Deteksi Dini Penyakit Dalam dengan Metode *Non-Invasive* Spektroskopi Fotoakustik Laser. *Berkala MIPA*, 15(3), 27-31.
- Mitrayana, Pierera, T., Moeskops, B.W.M., Persijn, S., Naus, H., Harren, F.J.M., Wasono, M.A.J., Muslim, and Rochmah, W., 2007, Diode-Laser Based Photoacoustic Spectroscopy in Atmospheric NO₂ Detection. *Berkala MIPA*, 17(3), 21-26.
- Mitrayana, Apriyanto, D.K., and Satriawan, M., 2020a, CO₂ Laser Photoacoustic Spectrometer for Measuring Acetone in the Breath of Lung Cancer Patients. *Biosensors*, 10, 55; doi:10.3390/bios10060055.
- Mitrayana, Nikita, J.G., Wasono, M.A.J., and Satriawan, M., 2020b, CO₂ laser photoacoustic spectrometer for measuring ethylene, acetone, and ammonia in the breath of patients with renal disease. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 30, 100387; <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2020.100387>.
- Nugraha, M.K., Wasono, M.A.J., and Mitrayana, 2022, Performance Characterization of 450 nm Visible Light Based Photoacoustic Imaging for Phantom Imaging of

Synthetic Dye Contrast Agents. *Indonesian Journal of Applied Physics (IJAP)*, 12, 124-142.

- Oey, L.S., Mitrayana, dan Wasono, M.A.J., 2022, Kajian Awal Deteksi Dini Penyakit Dalam dengan Metode *Non-Invasive* Spektroskopi Fotoakustik Laser. *Makara Journal of Science*, 26/1 (2022), 1–10.
- Sari, A.W., Widyaningrum, R., and Mitrayana, 2022, Photoacoustic Imaging for Periodontal Disease Examination. *J Lasers Med Sci*;13:e37 .
- Setiawan, A., Suparta, G.B., Mitrayana, and Nugroho, W., 2018, Surface Crack Detection with Low-Cost Photoacoustic Imaging System. *Int. J. Technol.* 9, 159-`69.
- Setiawan, A. and Mitrayana, 2022, Invisible barcode method base on NDT photoacoustic imaging, *Journal of Instrumentation*, 17, P02006.
- Tasmara, F.A., Widyaningrum, R., Setiawan, A., and Mitrayana, M., 2023, Photoacoustic imaging of hidden dental caries using visible-light diode laser. *J Appl Clin Med Phys.* 2023;e13935.
- Widyaningrum, R., Agustina, D., Mudjosemedi, M., and Mitrayana., 2018, Photoacoustic for Oral Soft Tissue Imaging based on Intensity Modulated Continuous-Wave Diode Laser. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.* 8, 622-627.
- Widyaningrum, R., Mitrayana, Gracea, R.S., Agustina, D., Mudjosemedi, M., and Silalahi, H.M., 2020, The Influence of Diode Laser Intensity Modulation on Photoacoustic Image Quality for Oral Soft Tissue Imaging. *J Lasers Med Sci 2020 Autumn*;11(Suppl 1): S92-S100

B. Seminar/Konferensi

- Ahmad, S., Satriawan, M., and Mitrayana, 2022, Development of low-cost real-time photoacoustic microscopy using diode laser and condenser microphone. *AIP Conference Proceeding* 2391, 020021.
- Bonita, A.B., Wasono, M.A.J. and Mitrayana, 2022, The Photoacoustic Tomographic Imaging System Based on Diode Laser and Microphone for Analyzing Healthy and Sick Colon of Broiler. *AIP Conf. Proc.* 2391, 020005-1-020005-8.
- Hanif, L.N., Satriawan, M., and Mitrayana, 2022, The characterization of a photoacoustic tomography imaging system and its application to distinguish helthy liver and worm-infected liver, *AIP Conference Proceddig* 2391, 090019.

- Mitrayana, Wasono, M.A.J., and Muslim, 2002, Spektrometer Fotoakustik Laser Intrakavitas Berkepekaan Tinggi. *Prosiding Pertemuan dan Presentasilimiah Penelltian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologl Nuklir P3TM.B ATAN Yogyakarta*.
- Mitrayana, Wasono, M.A.J., and Muslim, 2004, Pengukuran Volume Trachea dan Penentuan Pola Pernafasan Serangga dengan Metode Spektroskopi Fotoakustik Laser. *Prosiding Seminar Seminar Regional Fisika, The First Jogja Regional Physics Conference* (Yogyakarta: UGM).
- Mitrayana, Wasono, M.A.J., dan Rohmah, W., 2009a, Kajian C_3H_6O dari Pernafasan sebagai Gas Biomarker Potensi Penyakit Diabetes Mellitus dengan Metode Spektroskopi Fotoakustik Laser. *Makalah Seminar Nasional Basic Science VI*, (Universitas Brawijaya Malang, 21 Februari 2009).
- Mitrayana, Wasono, M.A.J., dan Rohmah, W., 2009b, Deteksi C_2H_4 Pernafasan sebagai Bio-marker Proses Lipid Peroksidasi dengan Metode Spektroskopi Fotoakustik Laser. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, ISBN: 978-979-96880-5-7*. (Universitas Negeri Yogyakarta, 16 Mei 2009).
- Mitrayana, Muyasaroh, N., Wasono, M.A.J., and Ikhsan, M.R., 2017, Characterization of CO_2 Laser Photoacoustic Spectrometer Intracavity Configuration and Its Application in Measuring Acetone Gas in Human Breath Proceedings of The Pakistan Academy Sciences: A. *Physical Computational Sciences* (Pakistan: Pakistan Academy of Sciences Islamabad).
- Nurjannah, I. and Mitrayana, 2022, Photoacoustic tomography imaging system based on laser diode to distinguish biological tissue and image enhancement with application of foodstuff contrast agent, *AIP Conference Proceedings* 2391, 090018 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0072470>.
- Oktafiani, F., Rizky Stiyabudi, R., Amin, M.N., and Mitrayana, 2016, Detection of Ethylene Gas in Exhaled Breath of People Living in Landfill Using CO_2 Laser Photoacoustic Spectroscopy with Multicomponent Analysis, *AIP Conference Proceedings* 1746, 020003; doi: 10.1063/1.4953928.
- Prakoso, P.G. and Mitrayana, 2021, Characterization Photoacoustic Tomography Imaging System and Its Application for Detection Formaldehyde in Skin of Cow. *AIP Conf. Proc.* 2381, 020058-1–020058-8; <https://doi.org/10.1063/5.0068067>.
- Stiyabudi, R., Oktafiani, F., Amin, M.N., dan Mitrayana, 2015, Deteksi Tingkat Konsentrasi Gas Etilen pada Gas Hembus Pemulung Menggunakan Spektrometer

Fotoakustik Laser CO₂. *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya, Bale Sawala Kampus Universitas Padjajaran, Jatinangor*. (Universitas Padjajaran, 21 November 2015).

- Tyas, F.H., Nikita, J.G., Apriyanto, D.K., Mitrayana, and Amin, M.N., 2018, The Performance of CO₂ Laser Photoacoustic Spectrometer In Concentration Acetone Detection As Biomarker For Diabetes Mellitus Type 2, *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*, 1011, 012056 doi :10.1088/1742-6596/1011/1/012056.
- Tuqo, M.Z., dan Mitrayana, 2015, Aplikasi Spektroskopi Fotoakustik Laser CO₂ untuk Deteksi Gas Etilen (C₂H₄) pada Gas Hembus Relawan Pengonsumsi Gorengan. *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya, Bale Sawala Kampus Universitas Padjajaran, Jatinangor*. (Universitas Padjajaran, 21 November 2015).