

# Pengembangan E-nose Pengukuran Konsentrasi Biomarker Gas Aldehida di dalam Udara Hembusan Pernapasan Menggunakan Sensor MS-1100

Dewi Alya Nabilla<sup>1</sup>, Arif Budianto<sup>2\*</sup>, Kasnawi Al Hadi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

Received: 31 October 2024

Revised: 15 November 2024

Accepted: 14 December 2024

Corresponding Author:

Arif Budianto

[abudianto@unram.ac.id](mailto:abudianto@unram.ac.id)

© 2024 Kappa Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License



DOI:

<https://doi.org/10.29408/kpj.v8i3.27853>

**Abstrak:** Penderita asma menghembuskan gas sisa pernapasan yang mengandung berbagai macam gas dan senyawa, seperti gas nitrogen, gas karbon dioksida, senyawa aldehida, dan masih banyak lagi. Keberadaan gas dan senyawa dapat dijadikan sebagai biomarker dalam tahap preliminary study terkait teknologi electric nose (e-nose). Di sisi lain, pengembangan teknologi e-nose untuk identifikasi konsentrasi senyawa aldehida pada udara pernapasan secara umum dan pada asma secara khusus belum banyak dilakukan. Sejalan dengan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan teknologi e-nose berbasis sensor MS-1100 guna menganalisis konsentrasi gas senyawa aldehida (formaldehida) yang terkandung di dalam hembusan nafas manusia, secara khusus pada penderita asma dan orang sehat. Penelitian ini menggunakan e-nose berbasis sensor MS-1100. Sensor tersebut dihubungkan dengan sebuah mikrokontroller dan analog to digital converter yang memiliki resolusi sebesar 10 bit pada pin analog. E-nose dikalibrasi menggunakan udara terfilter di dalam chamber dan dikarakterisasi dengan beberapa varian gas (formaldehida, karbon monoksida, hidrogen sulfida, dan etanol). Setelah dikalibrasi, pengujian sampel nafas manusia dilakukan dengan melibatkan sampel 20 penderita asma dan 20 orang sehat. Selanjutnya, dilakukan uji Student's t-test untuk melihat perbedaan konsentrasi gas antara penderita asma dengan orang sehat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa e-nose terkalibrasi dan memiliki selektivitas dan sensitivitas tertinggi pada senyawa aldehida (formaldehida) dengan tingkat 0,96 Volt/ppm formaldehida dibandingkan pendeteksian ketiga gas lainnya. Terdapat perbedaan yang signifikan pada konsentrasi senyawa aldehida antar penderita asma sebesar (1,15-1,30 ppm) dan orang sehat berkisar antara (0,17-0,89 ppm) dengan nilai ( $p < 0,05$ ). Tingkat akurasi e-nose dalam mendeteksi senyawa aldehida pada hembusan nafas manusia mencapai ~90%. Hasil tersebut menyimpulkan bahwa E-nose berbasis sensor MS-1100 dapat digunakan untuk mengidentifikasi konsentrasi aldehida pada pernapasan penderita asma dengan orang sehat secara akurat. E-nose ini dapat digunakan sebagai analisator biomarker senyawa aldehida non-invasif penderita asma dan orang non-asma.

**Keywords:** asma; biomarker; e-nose; sensor; udara pernapasan

## Pendahuluan

Sistem pernapasan manusia menghasilkan berbagai jenis gas dan senyawa lainnya, seperti sejumlah konsentrasi amonia ( $\text{NH}_3$ ), air dalam bentuk uap ( $\text{H}_2\text{O}$ ), oksigen ( $\text{O}_2$ ), etana ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), metana ( $\text{CH}_4$ ), dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang merupakan komponen

penting gas napas yang dihembuskan (Vasilescu et al., 2021). Gas-gas tersebut telah banyak diteliti untuk dikembangkan menjadi sebuah sistem pengukuran gas hasil pernapasan manusia (Bakali et al., 2024; Wijsman et al., 2024). Pengukuran kadar gas tersebut dapat dilakukan menggunakan sebuah sistem atau instrumen

## How to Cite:

Nabilla, D.A., Budianto, A., & Hadi, K.A. (2024). Pengembangan E-nose Pengukuran Konsentrasi Biomarker Gas Aldehida di Dalam Udara Hembusan Pernapasan Menggunakan Sensor MS-1100. *Kappa Journal*, 8(3), 393-398. <https://doi.org/10.29408/kpj.v8i3.27853>

untuk melakukan penginderaan terhadap gas napas yang dihembuskan, dan juga mengurangi kandungan air yang membahayakan sistem pengukuran tersebut.

Udara yang dihembuskan dari sistem pernapasan manusia dapat digunakan sebagai sebuah penanda biologis atau yang dikenal sebagai *biomarker* atas keberadaan sindrom atau gangguan kesehatan, utamanya di dalam sistem pernapasan (Chen et al., 2021; Cikach & Dweik, 2012). Sistem pernapasan manusia dapat mengalami kelainan atau penyakit, seperti asma, bronkitis, TBC (tuberkulosis), kanker paru, paru-paru basah, pneumonia, dan lain sebagainya (Hashoul & Haick, 2019; Paleczek & Rydosz, 2024). Kelainan pada sistem pernapasan juga dapat berkorelasi dengan organ lain, seperti pada ginjal dan organ lainnya. Kelainan yang terjadi di dalam sistem pernapasan ini mengakibatkan adanya perbedaan kadar atau konsentrasi gas dan senyawa yang ada di dalam udara hembusan nafas dibandingkan dengan orang sehat (Scarlata et al., 2015).

Penelitian lain juga menunjukkan adanya sejumlah kandungan senyawa VOC atau senyawa *volatile organic compound* dan aldehida, seperti alkana, alkena, karbonil, asam karbonat ( $H_2CO_3$ ), karbida metalik ( $Ca^{2+}$ ), amonium karbonat, dan lain sebagainya. Pada penderita kelainan ginjal, diketahui konsentrasi gas  $NH_3$  memiliki perbedaan yang signifikan dengan orang normal. Konsentrasi gas  $NH_3$  pada orang normal berkisar  $0,49 \pm 0,08$  ppm, sedangkan pada penderita CKD (*chronical kidney diseases*) adalah  $3,32 \pm 2,19$  ppm. Di sisi lain konsentrasi senyawa VOC di dalam udara pernapasan juga bergantung pada status kesehatan pasien, udara sekitar, keadaan fisik pasien (misalnya, pola makan dan olahraga), riwayat kesehatan pasien (misalnya, sindrom Reye dan berbagai kelainan metabolisme bawaan), dan komposisinya gas yang dihembuskan (misalnya, udara ruang mati, pernapasan alveolar) (Cazzola et al., 2015).

Asma merupakan salah satu gangguan pernapasan yang sering dialami oleh penderita dengan riwayat atau keturunan tertentu. Asma adalah penyakit pernapasan kronis yang umum menyerang lebih dari 300 orang juta orang di seluruh dunia. Beberapa penderita asma tergolong ke dalam asma tinggi atau berat. Pasien-pasien ini tetap tidak stabil meskipun menggunakan obat inhalasi dosis tinggi dan/atau kortikosteroid oral pengobatan. Untuk kelompok asma berat ini, modalitas terapi telah dikembangkan termasuk agen biologis, berdasarkan pasien fenotipe.

Salah satu *biomarker* penderita asma adalah senyawa aldehida (*aldehyde*) yang dapat ditemukan pada gas buang sistem pernapasan penderita (Bikov et al., 2013; Maloča Vuljanko et al., 2017). *Biomarker* tersebut dapat diketahui secara dini melalui proses *screening*, seperti konsultasi ke dokter atau metode

invasif. Di sisi lain, metode seperti ini memiliki kekurangan, seperti: rasa sakit, biaya, dan seterusnya. Oleh sebab itu, diperlukan pengembangan teknologi penginderaan, seperti *electric nose* atau e-nose yang dikenal memiliki harga yang lebih murah dan bersifat *portable* (Binson et al., 2022).

Pengembangan e-nose terkait penyakit asma belum banyak dilakukan. Di sisi lain, terdapat urgensi tinggi untuk mengembangkan piranti sejenis ini. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi gas aldehida yang ada di dalam gas buang (*exhaled breath*) sistem pernapasan manusia secara non-invasif, secara spesifik pada penderita asma. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam upaya *preliminary study* untuk identifikasi *biomarker* asma terkait senyawa ataupun gas aldehida pada gas hembusan pernapasan.

## Metode

### Sistem Sensor

Piranti e-nose dikembangkan menggunakan sensor MS-1100 (jenis analog) yang sensitif terhadap senyawa aldehida formaldehida ( $CH_2O$ ). Sensor MS-1100 terbuat dari bahan semikonduktor  $SnO_2$ . Sebelum digunakan, sensor di dalam piranti e-nose ini dipanaskan (*burned in*) dengan tegangan 5 Volt (arus searah) selama 4x24 jam secara non-stop (Budianto, 2022; Yani et al., 2024). Setelah melalui periode ini, sensor dipasang di dalam kotak e-nose yang terbuat dari akrilik dengan ketebalan 5 mm (untuk mencegah kebocoran) dan dilengkapi *probe* aliran udara (*input* dan *output* berdiameter 0,004 m). Sensor juga dihubungkan ke pin analog mikrokontroler (*board* Arduino Nano) untuk proses penginderaan dan ADC (*analog to digital converter*) yang mengkonversi data tegangan menjadi konsentrasi gas (dalam satuan ppm) sebelum ditampilkan di layar e-nose.

### Sampel Gas Pengujian

Lima variasi gas digunakan sebagai sampel pengujian karakteristik piranti e-nose. Tabel 1 menunjukkan karakteristik dari masing-masing sampel gas tersebut.

**Tabel 1.** Sampel gas pengujian sistem pengukuran

No.	Sampel Gas	Formula	Konsentrasi (ppm)
1	Hidrogen sulfida	$H_2S$	50
2	Etanol	$C_2H_5OH$	50
3	Formaldehida	$CH_2O$	50
4	Karbon monoksida	$CO$	50

**Kalibrasi**

Kalibrasi dilakukan menggunakan udara terfilter. Udara terfilter diperoleh setelah melewati filtrasi HEPA filter dan Whatmann filter paper, kemudian dialirkan menuju sebuah *experimental chamber* (dimensi: panjang x lebar x tinggi = 15 x 15 x 20 cm<sup>3</sup>). Proses ini menggunakan sebuah pompa penyedot dengan debit (Q) sebesar 5,65x10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup>/s. Proses ini dikalibrasi menggunakan Particle Counter (Shenzhen, model DT9881M) dengan konsentrasi PM<sub>2.5</sub> < 5 ug/m<sup>3</sup> dan PM<sub>10</sub> < 5 ug/m<sup>3</sup>. Konsentrasi gas karbon dioksida yang terkandung di dalam udara bersih dalam *chamber* kemudian diukur menggunakan Laser Dust Particle Counter (ATECH, model CLJ2803) dan VOC meter sebagai parameter kontrol konsentrasi awal (Co), temperatur awal, dan kelembaban relatif/ RH awal. Selanjutnya, e-nose dipanaskan selama 20 menit non-stop untuk memastikan sistem siap digunakan (Widhowati et al., 2021; Yani et al., 2024).

**Karakterisasi Respon E-nose**

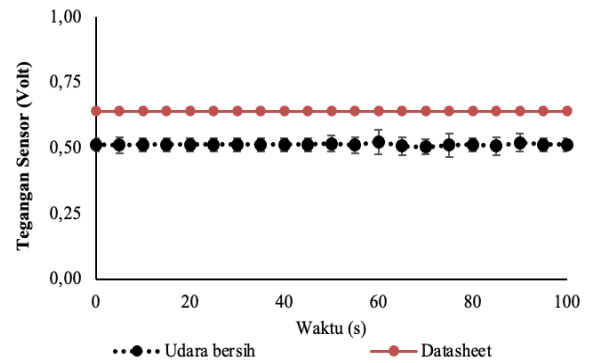
Proses analisis dilakukan melalui serangkaian pengujian di dalam *experimental chamber* menggunakan seluruh variasi sampel gas (Tabel 1). Masing-masing sampel gas dipaparkan ke e-nose dalam waktu 100 s dengan sampling time sebesar 5 s (kecepatan paparan gas sebesar 2 m/s). *Chamber* yang digunakan memiliki volume V sebesar 4,5x10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>. Saat pengujian berlangsung, lubang keluaran atau *output* dari e-nose dihubungkan ke *input* kotak *chamber*. Pada setiap detik waktu sampling, data konsentrasi aldehida dicatat. Setiap pengujian diulang sebanyak tiga kali untuk menganalisis besar kesalahan relatif.

**Pengukuran Aldehida Pada Sampel Nafas**

Pengukuran dilakukan terhadap 20 sampel nafas orang sehat dan penderita asma. Hal ini dilakukan dengan menghembuskan nafas ke dalam *input* e-nose. Konsentrasi aldehida pada tiap-tiap sampel dicatat dan dianalisis menggunakan teknik uji *Student's t-test*.

**Hasil dan Pembahasan**

Hasil kalibrasi (Gambar 1) didapatkan dalam bentuk besaran fisis tegangan dengan satuan Volt. Hasil ini diperoleh dalam tampilan layar e-nose setelah sistem e-nose dinyalakan selama 40 menit sebagai *pre-treatment* pemanasan sensor MS-1100 (*preheating*) di dalam e-nose. Keseluruhan proses ini dilakukan di dalam *chamber* terkontrol dengan kelembaban udara berkisar antara 68% hingga 69%. Adapun parameter suhu udara di dalam *chamber* dikontrol sebesar 26-27°C, dengan tingkat konsentrasi gas oksigen konstan 20-20,5% Vol untuk mendapatkan hasil kalibrasi terbaik (mengacu pada *datasheet* sensor).

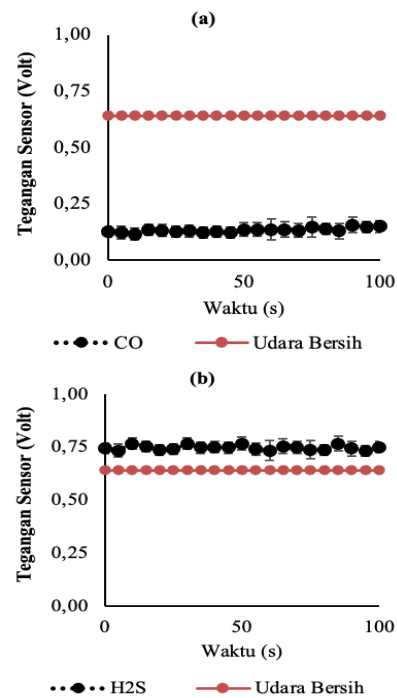


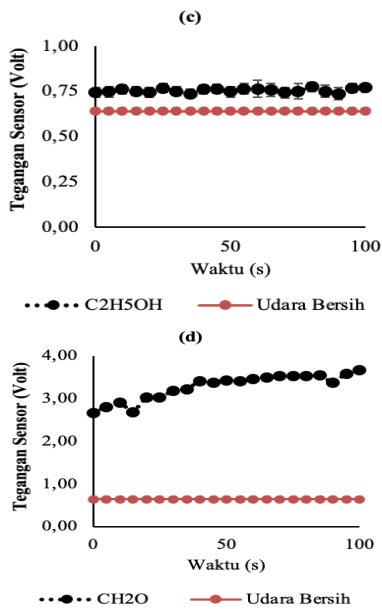
**Gambar 1.** Kurva hasil kalibrasi sistem pengukuran.

Gambar 1 menunjukkan sinyal tegangan yang dihasilkan rata-rata sebesar 0,51 Volt (kesalahan relatif 0,01 Volt) yang diperoleh dari tiga kali pengulangan (titik hitam). Garis dan titik hitam pada gambar tersebut menunjukkan tegangan terkecil yang terbaca sebesar 0,50 Volt, sedangkan tegangan terbesar yaitu 0,51 Volt dengan nilai simpangan 0,01 Volt. Diketahui konsentrasi aldehida di dalam *chamber* terfilter (Co) sebesar 0-0,01 ppm. Gambar 1 mengkonfirmasi bahwa e-nose secara stabil mengeluarkan sinyal tegangan selama 100 s. Hasil ini juga membuktikan bahwa e-nose telah terkalibrasi. Tegangan yang dikeluarkan sesuai dengan data yang tertera di dalam *datasheet* sensor MS-1100, yakni < 0.64 Volt.

**Karakterisasi E-nose dengan Berbagai Jenis Gas**

Hasil keseluruhan pengujian ditunjukkan pada Gambar 2.





**Gambar 2.** Karakterisasi sistem dengan gas: a) CO; b) H<sub>2</sub>S; c) C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH; d); e) CH<sub>2</sub>O.

Gambar 2a menginterpretasikan kurva hasil pengujian menggunakan sampel karbon monoksida (CO). Tampak pada gambar tersebut bahwa respon sensor dalam pendeteksian karbon monoksida (titik hitam) di bawah udara bersih maksimum pada *datasheet* (titik merah). Nilai tegangan yang dihasilkan hanya < 0,64 Volt. Hal yang relatif sama juga didapatkan pada karakterisasi sensor menggunakan gas karbon hidrogen sulfida.

Pada Gambar 2b, gas hidrogen sulfida digunakan sebagai sampel gas target. Hasilnya tidak jauh berbeda dengan karakterisasi sensor menggunakan gas karbon monoksida, yakni dihasilkan tegangan sensor (titik merah) yang sedikit melebihi 0,64 Volt (0,73 Volt hingga 0,75 Volt). Dengan kata lain, karakterisasi menggunakan gas gas hidrogen sulfida maupun gas karbon monoksida tidak menunjukkan selektivitas dan sensitivitas yang baik terhadap kedua jenis gas ini. Pada Gambar 2c, gas etanol dengan konsentrasi sebesar 50 ppm digunakan sebagai sampel karakterisasi. Tegangan yang diperoleh sebesar 0,74 Volt hingga 0,77 Volt. Pengulangan pengukuran sebanyak tiga kali menghasilkan pembacaan tegangan yang sangat stabil, dengan kesalahan relatif sebesar 0,01 Volt dengan rata-rata sebesar 0,75 Volt. Mengacu pada *datasheet* sensor MS-1100, nilai tegangan untuk gas etanol terletak di kisaran 0 ppm. Dengan kata lain, sensor MS-1100 tidak selektif dan tidak sensitif terhadap gas etanol (rata-rata sebesar 0,75±0,01).

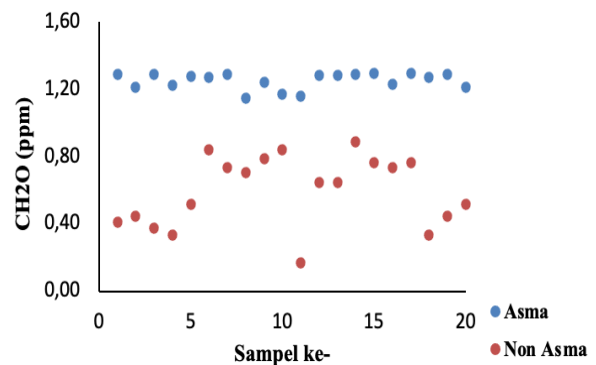
Hal yang menarik diinterpretasikan pada Gambar 2d. Gambar 2d menginterpretasikan hasil pengukuran menggunakan gas CH<sub>2</sub>O 50 ppm. Berdasarkan pada

*datasheet* sensor MS-1100, diketahui bahwa sensor ini peka terhadap gas toluena dan atau formaldehida, di mana tegangan yang dihasilkan sebesar 2,66 Volt hanya pada awal-awal pengukuran. Pada sampel gas ini, tegangan sangat stabil dan mencapai kondisi *steady state*. Kondisi fluktuasi ini bahkan terjadi dari detik awal hingga akhir pengujian (100 s). Jika dibandingkan dengan hasil pengujian menggunakan gas lain, sinyal tegangan yang dihasilkan sangat besar dan sesuai dengan respon yang tertera di dalam *datasheet*.

### Pengujian Sampel Nafas Manusia

Setelah berhasil mengidentifikasi seluruh karakteristik sistem pengukuran, maka sistem ini digunakan untuk mengukur konsentrasi gas aldehida (formaldehida) pada udara hembusan pernapasan sampel orang normal dan penderita asma (Gambar 3).

Dapat dilihat pada Gambar 3 bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara orang non asma dengan penderita asma. Kelompok sampel penderita asma memiliki rata-rata konsentrasi CH<sub>2</sub>O sebesar 1,25 ppm. Pada kelompok sampel non asma, nilai konsentrasi yang didapat sebesar 0,59 ppm, dengan nilai tertinggi sebesar 0,89 ppm. Perbedaan di antara kedua kelompok sebesar 0,66 ppm, atau hampir dua kali lipat nilai konsentrasi non asma.



**Gambar 3.** Perbandingan konsentrasi senyawa aldehida pada asma - non asma.

Hasil penelitian menunjukkan adanya sebuah sensor dan sistem e-nose yang memiliki sensitivitas terhadap gas formaldehida di dalam udara pernapasan. Gas formaldehida dengan tingkat konsentrasi yang kecil dapat dimanfaatkan sebagai biomarker akan kondisi metabolisme tertentu di dalam tubuh. Perubahan konsentrasi gas yang dihembuskan oleh sistem pernapasan dapat bergantung dari kondisi kumpulan organ dan struktur di dalam tubuh yang bertanggung jawab untuk proses pertukaran gas antara tubuh dengan lingkungan di luar tubuh. Lebih lanjut, sistem pernapasan meliputi proses inhalasi udara yang mengandung oksigen melalui hidung atau mulut.

Selanjutnya, udara inhalasi melewati saluran faring, laring, trakea, bronkus, dan alveoli paru-paru (Wu et al., 2023). Di alveoli paru, terjadi peristiwa pertukaran gas melalui proses difusi. Pada peristiwa ini, karbon dioksida yang dihasilkan oleh metabolisme seluler dikeluarkan dari darah menuju udara luar melalui hembusan nafas (*exhaled breath*) (Vasilescu et al., 2021). Pada poin ini, gas terbesar yang dihembuskan oleh tubuh akibat sistem pernapasan tentunya adalah gas karbon dioksida.

Di sisi lain, Sistem pernapasan manusia melibatkan mekanisme yang kompleks, seperti diafragma dan otot interkostal yang berkaitan dengan pergerakan udara dari dan menuju organ paru. Refleks pernapasan yang dikendalikan oleh pusat pernapasan di batang otak mengatur ritme pernapasan yang tepat sesuai dengan kebutuhan tubuh. Adanya kelainan fungsi di dalam organ pernapasan dapat mengganggu sistem pernapasan, seperti Penyakit Paru-paru Obstruktif Kronik (PPOK), asma, penyakit paru interstisial, dan penyakit lainnya. Hal ini menunjukkan adanya urgensi tinggi terkait pemahaman mendalam tentang anatomi, fisiologi, dan mekanisme pengaturan sistem pernapasan manusia. Gangguan kondisi-kondisi ini dapat memunculkan perubahan konsentrasi senyawa organik dengan gugus fungsi -CHO (aldehida) (Lee et al., 2023). Namun, ada beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil penelitian, di antaranya pola makan, kebiasaan olahraga, metabolisme tubuh dapat mempengaruhi konsentrasi gas aldehida di udara pernapasan dan juga kondisi fisiologis seperti kelelahan.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa e-nose berbasis sensor MS-1100 telah terkalibrasi dan memiliki sensitivitas dan selektivitas yang baik terhadap gas aldehida (formaldehida), yakni sebesar 0,96 Volt/ppm gas aldehida. E-nose dapat membedakan jenis paparan gas yang diberikan ke dalam sistem dan terkalibrasi sesuai dengan datasheet sensor MS-1100. E-nose dapat digunakan untuk melakukan profiling konsentrasi gas aldehida pada gas buang pernapasan (*exhaled breath*) sampel orang normal dan orang dengan gangguan penyakit asma. Hasil analisis menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan antara konsentrasi gas aldehida pada orang sehat dengan penderita asma ( $p < 0,05$ ). Sampel nafas yang digunakan pada penelitian ini memiliki teknik pernapasan yang berbeda (durasi hembusan) tetapi tidak mempengaruhi langsung nilai konsentrasi gas aldehida (formaldehida) yang diukur. Pada orang sehat, konsentrasi gas aldehida berkisar antara 0,17 ppm hingga 0,89 ppm. Pada penderita asma,

konsentrasi gas aldehida lebih tinggi jika dibandingkan dengan orang sehat, yakni sebesar  $1,15 \pm 1,30$  ppm.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada anggota Laboratorium Fisika Lanjut - Instrumentasi dan Biofisika: Sabila Alhadawiyah, Nanda Medina Apriza, Karina Alma Fidya, dan Roviq Wijaya atas bantuannya.

## Daftar Pustaka

- Bakali U., Killawala C., Monteagudo E., Dikici E., Deo SK., & Daunert S. (2024). Exhaled breath analysis applications for evaluating occupational and environmental exposures.. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 177, 117787.  
<https://doi.org/10.1016/j.trac.2024.117787>
- Bikov A., Paschalaki K., Logan SR., Horváth I, Kharitonov SA, Barnes PJ., Usman OS., & Paredi P. (2013). Standardised exhaled breath collection for the measurement of exhaled volatile organic compounds by proton transfer reaction mass spectrometry. *BMC Pulmonary Medicine*, 13(43), 1-7.  
<http://www.biomedcentral.com/1471-2466/13/43>
- Binson V.A., Akbar R., Thankachan N., & Thomas S. (2022). Design and construction of a portable e-nose system for human exhaled breath VOC analysis. *Journal of Mater Today Proc*, 58(1), 422-427.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.388>
- Budianto A. (2022). A propanol gas measurement system using a quartz crystal microbalance as a mass sensor. *Journal of Environmental Engineering and Sustainable Technology*, 9:(2), 70-74.  
<http://dx.doi.org/10.21776/ub.jeest.2022.009.02.4>
- Cazzola M., Andrea S., Rosamaria C., Alberto B., Eugenio M., Luigino C., Paola R., Chiara C., Josuel O., Roberto P., Corrado D.N., & Arnaldo D.A. (2015). Analysis of exhaled breath fingerprints and volatile organic compounds in COPD. *Journal of COPD Research and Practice*, 1(7), 1-8.  
<https://doi.org/10.1186/s40749-015-0010-1>
- Chen T., Liu T., Zhao H., & Chen Q. (2021). Exhaled breath analysis in disease detection. *Clinica Chimica Acta*, 515, 61-72.  
<https://doi.org/10.1016/j.cca.2020.12.036>
- Cikach FS., & Dweik RA. (2012). Cardiovascular Biomarkers in Exhaled Breath. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 55(1), 34-43.

- <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2012.05.005>  
Hashoul D., & Haick H. (2024). Sensors for detecting pulmonary diseases from exhaled breath. *European Respiratory Review*, 28(152), 1-13.  
<https://doi.org/10.1183/16000617.0011-2019>
- Lee S., Kim M., Ahn B.J., & Jang Y. (2023). Odorant-responsive biological receptors and electronic noses for volatile organic compounds with aldehyde for human health and diseases: A perspective review. *Journal of Hazard Mater*, 455, 131555.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131555>
- Maloča VI., Turkalj M., Nogalo B., Bulat L.S., & Plavec D. (2017). Diagnostic value of a pattern of exhaled breath condensate biomarkers in asthmatic children. *Allergologia et Immunopathologia (Madr)*, 45(1), 2-10.  
<https://doi.org/10.1016/j.aller.2016.05.001>
- Palczyk A., & Rydosz A. (2024). The effect of high ethanol concentration on E-nose response for diabetes detection in exhaled breath: Laboratory studies. *Sensors and Actuators B: chemical*, 408, 1-10.  
<https://doi.org/10.1016/j.snb.2024.135550>
- Scarlată S., Pennazza G., Santonico M., Pedone C., & Antonelli I.R. (2015). Exhaled breath analysis by electronic nose in respiratory disease. *Expert Rev Mol Diagn*, 15(7), 933-956.  
<https://doi.org/10.1586/14737159.2015.1043895>
- Vasilescu A., Hrinchenko B., Swain G.M., & Petcu S.F. (2021). Exhaled breath biomarker sensing. *Biosensors and Bioelectronics*, 182, 113193..  
<https://doi.org/10.1016/j.bios.2021.113193>
- Widhowati A.A., Wardoyo A.Y.P., Dharmawan H.A., Nurhuda M., & Buadianto A. (2021). Development of a portable volatile organic compounds concentration measurement system using a CCS811 air quality sensors. *IEEE Xplore*, 1-5.  
<https://doi.org/10.1109/ISESD53023.2021.9501642>
- Wijsman P.C., Goorsenberg A.W.M., d'Hooghe J.N.S., Weersink E.J.M., Fenn D.W., Maitland van der Zee A.H., Annema J.T., Brinkman P., & Bonta P.I. (2024). Exhaled breath analyses for bronchial thermoplasty in severe asthma patients. *Respiratory Medicine*, 225, 1-10  
<https://doi.org/10.1016/j.rmed.2024.107583>
- Wu G., Du H., Pakravan K., Kim W., Cha Y.L., Chiang S.T., Majid B., Xinyu Z., Sun H.K., Xuejun P., & Dong J.K. (2023). Polyaniline/Ti3C2Tx functionalized mask sensors for monitoring of CO<sub>2</sub> and human respiration rate. *Journal Chemical Engineering*, 475(1), 146228.  
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.146228>
- Yani A., Wardoyo A.Y.P., Anggraeni D., & Budianto A. (2024). Development of a Measurement system of Ethanol Gas Based on TGS-2600, TGS-2603, and MQ-138 sensors. *AIP Conference Proceedings*, 3236(1), 1-6.  
<https://doi.org/10.1063/5.0211681>