

Analisis Konsentrasi Gas Etanol dalam Udara Pernapasan Untuk Identifikasi Plasebo Perokok dan Non-Perokok Berbasis Sensor Resistif

Nanda Medina Apriza¹, Kasnawi Al Hadi¹, Arif Budiando^{1*}

¹Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia.

DOI: 1029303/geoscienceed.v6i1.526

Article Info

Received: 30 Oktober 2024

Revised: 4 November 2024

Accepted: 28 November 2024

Correspondence:

Phone: +62 877-5886-9360

Abstrak: Gas etanol dalam nafas dapat menjadi indikator penting dalam menilai kesehatan pernapasan, efek plasebo, dan paparan terhadap bahan kimia tertentu, termasuk dari kebiasaan merokok. Pada orang perokok, konsentrasi gas etanol dalam nafas cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan non-perokok, karena proses pembakaran tembakau menghasilkan senyawa volatil, termasuk etanol. Merokok juga mempengaruhi metabolisme tubuh yang dapat meningkatkan produksi senyawa etanol. Sementara itu, pada non-perokok, sumber utama gas etanol dalam napas umumnya berasal dari metabolisme normal karbohidrat di dalam tubuh. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi gas etanol dalam nafas perokok dan non-perokok menggunakan teknologi e-nose berbasis sensor TGS-2600, yang dikembangkan untuk mendeteksi perbedaan kadar etanol secara non invasif. E-nose didesain menggunakan sensor semikonduktor yang peka terhadap gas etanol, sehingga mampu mengidentifikasi senyawa volatil yang berasal dari asap tembakau. Pengukuran dilakukan pada 20 individu yang terbagi dalam dua kelompok, yaitu perokok dan non-perokok, dengan setiap individu diminta menghembuskan nafas ke dalam sistem e-nose untuk memperoleh hasil konsentrasi etanol yang akurat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konsentrasi gas etanol pada perokok berkisar antara 1,41-1,63 ppm, sementara pada non-perokok berada pada kisaran 1,10-1,63 ppm. Perbedaan konsentrasi ini menunjukkan bahwa paparan senyawa volatil dari asap tembakau berkontribusi pada peningkatan kadar etanol dalam sistem pernapasan perokok. Teknologi e-nose membuktikan sensitivitas dan selektivitas yang tinggi terhadap gas etanol, serta mampu mendeteksi perbedaan konsentrasi dengan akurasi yang baik. Dengan demikian, e-nose berpotensi untuk dikembangkan sebagai alat diagnostik non invasif guna memantau kebiasaan merokok, mendeteksi paparan zat berbahaya, dan menilai risiko kesehatan pernapasan jangka panjang.

Kata kunci: e-nose; etanol; perokok; sensor resistif; udara pernapasan.

Citation: Apriza, N.M., Hadi, K.A., & Budiando, A. (2024). Analisis Konsentrasi Gas Etanol dalam Udara Pernapasan Untuk Identifikasi Plasebo Perokok dan Non-Perokok Berbasis Sensor Resistif. *Journal of Education, Science, Geology, and Geophysics (GeoScienceEd)*, 6(1), 149-153

Pendahuluan

Etanol merupakan senyawa organik volatil yang terdiri dari karbon, hidrogen, dan oksigen yang membentuk gugus hidroksil dengan rumus kimia C_2H_5OH . Etanol merupakan zat karsinogenik yang dapat mengganggu kesehatan manusia (Yani et al., 2024). Etanol atau etil alkohol sebagai senyawa tunggal merupakan suatu cairan hasil proses fermentasi dan

distilasi dari karbohidrat yang banyak terkandung pada hasil pertanian, seperti jagung, singkong, tebu, dan lainnya. Dengan berat jenis 0,7939 g/mL dan titik didih 78,32°C pada tekanan 766 mmHg, etanol merupakan cairan yang tak berwarna, mudah menguap (*volatile*), dan mudah terbakar (Mara et al., 2019). Produksi etanol juga berasal dari minyak bumi atau etanol sintesis yang

Email: abudiando@unram.ac.id

diperoleh dari hidrasi gas etilen sebagai hasil samping pemurnian minyak bumi (Maulana et al., 2024).

Gas etanol dapat dihasilkan secara alami (natural) melalui sistem pernapasan manusia sebagai proses metabolisme tubuh, terutama saat tubuh mencerna karbohidrat. Etanol yang dihasilkan melalui pernapasan ini dikenal sebagai "*endogeneous ethanol*" atau etanol endogen (Šoša, 2023). Penelitian menunjukkan bahwa kadar etanol dalam nafas manusia dapat bervariasi tergantung pada beberapa faktor, termasuk asupan makanan dan minuman, serta aktivitas fisik. Misalnya, konsumsi makanan atau minuman yang mengandung gula tinggi dapat meningkatkan produksi etanol dalam tubuh. Selain itu, individu dengan kondisi kesehatan tertentu, seperti gangguan metabolisme, mungkin memiliki konsentrasi etanol yang lebih tinggi dalam napas mereka (Guttman et al., 2020). Sebuah penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi etanol di dalam darah manusia yakni sebesar 1×10^5 mg/m³ yang diukur dengan teknik *Headspace Gas Chromatography* dengan deteksi *Flameionization* (S-GC-FID) dan *Mass Spectrometry* (MS) (Tiscione et al., 2011). Penelitian lain menunjukkan adanya korelasi antara kandungan gas etanol di dalam udara pernapasan dengan plasebo gangguan penyakit (Mule et al., 2021).

Gas etanol dalam nafas dapat menjadi indikator penting dalam menilai kesehatan pernapasan dan paparan terhadap bahan kimia tertentu, termasuk dari kebiasaan merokok dan fenomena plasebo atau *placebo effect* (Adatia et al., 2021). Pada orang perokok, konsentrasi gas etanol dalam nafas cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan non-perokok, karena proses pembakaran tembakau menghasilkan senyawa volatil, termasuk etanol. Merokok juga mempengaruhi metabolisme tubuh yang dapat meningkatkan produksi senyawa etanol (Krishna et al., 2017). Sementara itu, pada non-perokok, sumber utama gas etanol dalam nafas umumnya berasal dari metabolisme normal karbohidrat di dalam tubuh (Mystry et al., 2014). Studi menunjukkan bahwa perbedaan kadar etanol dalam nafas dapat digunakan sebagai penanda biologis untuk membedakan antara perokok dan non-perokok, sekaligus memberikan wawasan mengenai dampak kesehatan dari paparan senyawa volatil ini (termasuk etanol). Hal yang menarik adalah potensi gas etanol dan gas-gas lainnya yang dihembuskan dari sistem pernapasan manusia (*exhaled breath gasses*) dapat dijadikan biomarker kelainan atau sindrom yang disebut *auto-brewery* (Meijnikman et al., 2024). Salah satu contoh penggunaan biomarker dari sistem pernapasan adalah teknologi E-nose (*electronic nose*). Teknologi ini marak dikembangkan dan masih diperbaharui dari waktu ke waktu (Lelono et al., 2023).

Mengingat tingginya prevalensi merokok di banyak negara serta dampak kesehatan yang berkelanjutan dari kebiasaan tersebut, penelitian terkait gas etanol dalam nafas perokok dan non-perokok menunjukkan adanya potensi besar dalam penggunaan analisis nafas sebagai alat diagnostik non-invasif. Penelitian dalam menganalisis perbedaan kadar etanol antara perokok dan non-perokok tidak hanya membantu dalam mengidentifikasi kebiasaan merokok, tetapi juga dapat menjadi biomarker untuk mengetahui tentang risiko kesehatan terkait paparan bahan kimia berbahaya yang dihasilkan dari proses pembakaran rokok. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi *preliminary study* untuk memantau kondisi paru-paru dan risiko paparan jangka panjang terhadap beberapa zat toksik seperti etanol.

Metode

Kalibrasi Sistem. Sebelum digunakan sebagai sistem pengukuran, sensor TGS-2600 dikalibrasi menggunakan udara bersih. Udara bersih dihasilkan dari udara *ambient* (yang difilter dengan *HEPA-filter* (Yani et al., 2024)). Proses ini dilakukan menggunakan *suction pump* dengan laju alir (v) sebesar 0,9 m/s yang dihubungkan dengan input dari *exposure chamber* ($V = 0,00441$ m³) menggunakan *PTFE tube* (luas $A = 502,4 \times 10^{-5}$ m²) yang dilekatkan dengan *pneumatic connector* dan pada *output exposure chamber* (Hadi et al., 2022). Udara terfilter kemudian dipaparkan ke sensor selama 100 s (t) dengan waktu sampling ADC (*analog to digital converter*) setiap 5 s (t_s). Data pengukuran tegangan keluaran sensor (V_{RL}) yang berasal dari sinyal analog pin ADC internal (*analog*) mikrokontroler dicatat di setiap t . Data tegangan ini berasal dari konversi ADC (*analog to digital converter*).

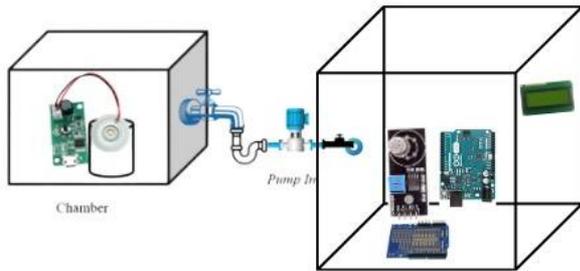
Komparasi Sensor. Proses komparasi dilakukan dengan mengidentifikasi sensitivitas, selektivitas, dan linearitas sistem sensor dalam mendeteksi gas etanol dan gas lainnya. Proses ini dilakukan dengan menggunakan beberapa sampel gas yang dihasilkan dari prinsip sublimasi dan sonifikasi. Keseluruhan sampel untuk proses komparasi ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Variasi pengujian menggunakan dua jenis gas

No	Sampel Gas	Konsentrasi (ppm)
1	Etanol	100
2	Karbon dioksida	1000

Pada sampel pertama, digunakan gas etanol yang berasal dari larutan etanol. Larutan etanol (variasi 1, m_1) ditimbang menggunakan neraca analitik untuk mengukur massa mula-mula (m_i). Larutan ini kemudian dimasukkan ke dalam *atomizer* yang ada di dalam *exposure chamber*. Larutan etanol diubah menjadi gas

menggunakan *atomizer* yang didiamkan dalam *exposure chamber* selama 100 s. Waktu t_{at} sebesar 100 s diperoleh berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan Bernoulli serta mengacu pada volume *exposure chamber* (V) sebesar $0,00441 \text{ m}^3$, luas penampang *pneumatic probe* (A , $502,4 \times 10^{-5} \text{ m}^2$), dan kecepatan aliran udara *suction pump* (v) sebesar $0,9 \text{ m/s}^2$. Gas keluaran etanol kemudian dialirkan menuju sistem pengukuran (sensor TGS-2600, (Gambar 1). Data perhitungan C_h dicatat. Langkah ini juga dilakukan untuk keseluruhan variasi sampel gas dan diulang sebanyak tiga kali.



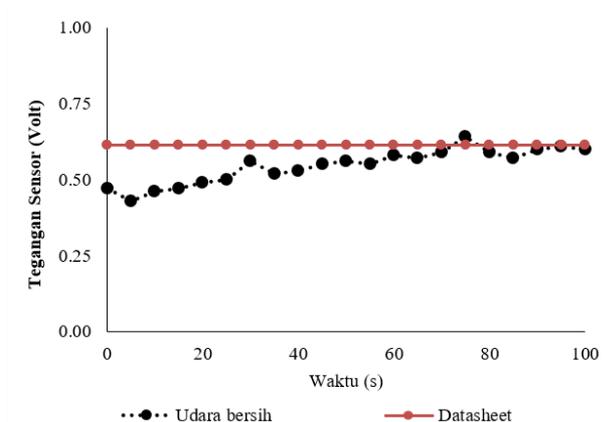
Gambar 1. Skema pengujian sistem (komparasi) (Yani et al., 2024)

Pembuatan Profil Gas Etanol di Udara Pernapasan.

Pengukuran dilakukan terhadap 20 sampel nafas individu perokok dan non-perokok. Pengukuran ini dilakukan dengan cara menghembuskan nafas ke dalam *input probe* dari *e-nose* pada hembusan nafas ketiga. Konsentrasi senyawa etanol pada tiap-tiap sampel dicatat dan dianalisis menggunakan teknik uji *Student t-test*.

Hasil dan Pembahasan

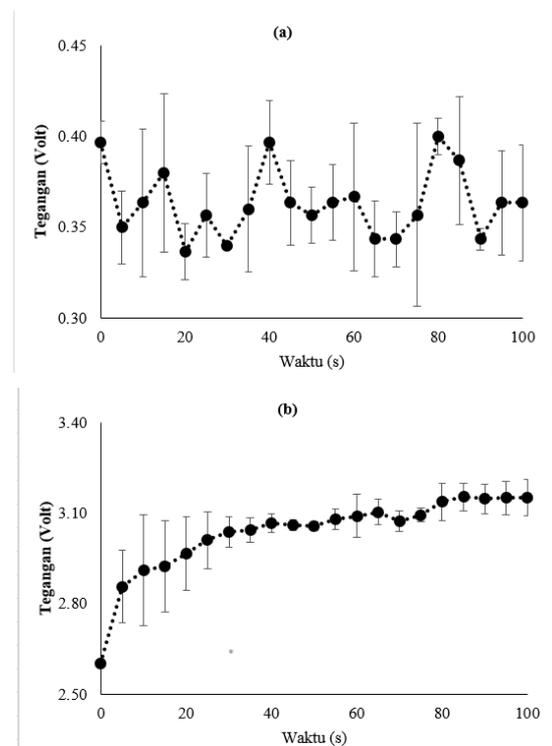
Kalibrasi Sistem dengan Udara Bersih. Proses ini dilakukan setelah menyalakan sistem selama 35 menit sebagai *pre-treatment* pemanasan sensor TGS-2600 (*preheating*) di dalam *e-nose*. Keseluruhan proses ini dilakukan di dalam *chamber* dengan RH sebesar 65% pada temperatur $T = 20^\circ\text{C}$. Data hasil kalibrasi diinterpretasikan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Kurva hasil kalibrasi sistem pengukuran di dalam *chamber* tertutup dengan udara bersih.

Data pada Gambar 2 menunjukkan bahwa sinyal tegangan yang dihasilkan rata-rata sebesar $0,54 \pm 0,06$ volt yang diperoleh dari tiga kali pengulangan (titik berwarna hitam). Garis dan titik berwarna hitam pada gambar tersebut menunjukkan tegangan terkecil yang terbaca sebesar 0,43 volt, sedangkan tegangan terbesar yaitu 0,64 volt dengan nilai simpangan 0,06 volt. Data pada Gambar 2 tersebut mengkonfirmasi bahwa sensor di dalam *e-nose* secara stabil mengeluarkan sinyal tegangan selama 100 s berturut-turut. Hasil ini juga membuktikan bahwa *e-nose* telah terkalibrasi.

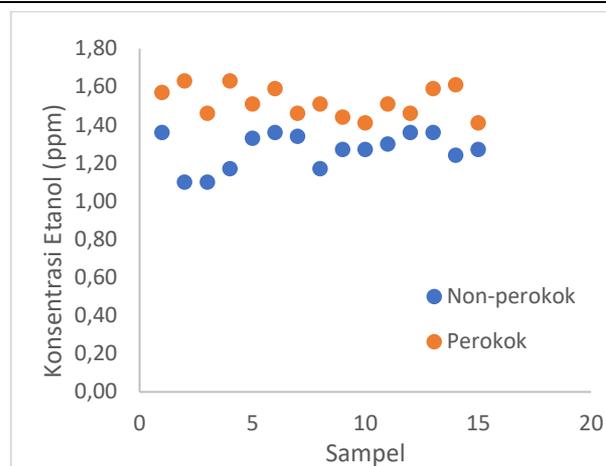
Komparasi. *E-nose* diuji menggunakan dua jenis gas yang berbeda untuk menganalisis tingkat selektivitas. Keseluruhan hasil pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar 3 menginterpretasikan hasil pengukuran menggunakan gas karbon dioksida 1000 ppm. Berdasarkan pada *datasheet* sensor TGS-2600, diketahui bahwa sensor ini tidak peka terhadap gas karbon dioksida. Hasil pengujian menggunakan gas karbon dioksida pada detik awal *sampling* menghasilkan 0,40 volt. Nilai terbesar yang dihasilkan hanyalah 0,40 volt yang relatif sama dengan tegangan udara terfilter (0,47 Volt). Hasil ini menunjukkan bahwa sensor TGS-2600 tidak sensitif terhadap gas karbon dioksida, dengan tegangan rata-rata sebesar $0,36 \pm 0,02$ volt.



Gambar 3. Kurva hasil pengukuran menggunakan gas: a) karbon dioksida; b) etanol.

Sebaliknya, pengujian dengan gas etanol, sensor TGS-2600 menunjukkan respons yang jauh lebih signifikan dibandingkan dengan pengujian gas karbon dioksida. Seperti yang terlihat pada Gambar 3, pengukuran dengan konsentrasi etanol 100 ppm menghasilkan tegangan sebesar $3,03 \pm 0,13$ volt, yang menunjukkan stabilitas dan keandalan sistem sensor selama periode pengujian 100 detik. Tegangan yang dihasilkan berada pada kondisi steady state, dengan fluktuasi minimal, yang mencerminkan sensitivitas tinggi sensor terhadap keberadaan etanol. Respons tegangan yang jauh lebih tinggi pada gas etanol dibandingkan dengan gas karbon dioksida menunjukkan selektivitas yang jelas dari sensor TGS-2600 terhadap etanol. Sensor ini mampu mendeteksi etanol dengan presisi, sementara gas seperti karbon dioksida tidak menghasilkan perubahan signifikan pada pembacaan tegangan. Hal ini menegaskan bahwa sensor TGS-2600 sangat cocok digunakan untuk mendeteksi senyawa volatil seperti etanol dalam berbagai aplikasi, termasuk analisis pada nafas manusia.

Pengujian Sampel Nafas. Pengujian sampel nafas dilakukan setelah sistem e-nose berhasil dikalibrasi dan diuji dengan berbagai jenis gas. Pengujian ini melibatkan 20 individu, terdiri dari kelompok perokok dan non-perokok. Setiap individu diminta menghembuskan nafas ke dalam *input probe* e-nose sebanyak tiga kali, dengan pengambilan data dilakukan pada hembusan ketiga untuk memperoleh hasil yang lebih stabil dan akurat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konsentrasi gas etanol pada nafas perokok berkisar antara 1,41 ppm hingga 1,63 ppm, sedangkan pada non-perokok konsentrasi etanol berkisar antara 1,10 ppm hingga 1,36 ppm. Gambar 4 menunjukkan perbandingan konsentrasi etanol antara individu perokok dan non-perokok, di mana konsentrasi gas etanol pada nafas perokok secara konsisten lebih tinggi dibandingkan dengan non-perokok.



Gambar 4. Profil gas etanol pada udara sisa pernapasan antara orang perokok dengan non-perokok.

Perbedaan ini dapat diatribusikan pada paparan senyawa volatil dari pembakaran tembakau yang menghasilkan peningkatan kadar etanol pada nafas perokok. Analisis statistik lebih lanjut dilakukan menggunakan uji *student t-test* untuk menguji signifikansi perbedaan konsentrasi etanol antara perokok dan non-perokok. Hasil pengujian ini mengindikasikan bahwa e-nose mampu mendeteksi perbedaan konsentrasi etanol dengan akurat, sehingga dapat berpotensi menjadi alat diagnostik non-invasif dalam membedakan kebiasaan merokok.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menganalisis perbedaan konsentrasi gas etanol dalam nafas antara individu perokok dan non-perokok menggunakan teknologi e-nose (*electric nose*) berbasis sensor TGS-2600. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi etanol yang tinggi pada nafas perokok, dengan nilai berkisar antara 1,41 hingga 1,63 ppm, dibandingkan dengan non-perokok yang berada di kisaran 1,10 ppm hingga 1,36 ppm. Penelitian ini mengindikasikan bahwa paparan senyawa volatil dari asap tembakau pada perokok dapat meningkatkan kadar etanol dalam sistem pernapasan mereka. Teknologi e-nose menunjukkan sensitivitas dan selektivitas yang baik terhadap gas etanol, serta mampu mengindikasikan perbedaan konsentrasi dengan akurat, menjadikannya alat yang potensial untuk aplikasi diagnostik non-invasif. Penelitian ini dapat memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan lebih lanjut dalam pemanfaatan e-nose sebagai biomarker untuk mendeteksi paparan zat berbahaya dari kebiasaan merokok.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami haturkan kepada grup riset *placebo effect* di Laboratorium Fisika Lanjut - Instrumentasi dan Biofisika, Program Studi Fisika, Universitas Mataram 2024.

References

- Adatia, A., Wahab, M., Shahid, I., Moinuddin, A., Killian, K. J., & Satia, I. (2021). Effects of cigarette smoke exposure on pulmonary physiology, muscle strength and exercise capacity in a retrospective cohort with 30,000 subjects. *PLoS ONE*, 16(6 June), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250957>
- Guttman, G. A., Soldavini, A. M., & Simons, C. T. (2020). Ethanol thresholds in water and beer. In *Journal of Sensory Studies* (Vol. 35, Issue 1). <https://doi.org/10.1111/joss.12544>
- Hadi, K. Al, Wardoyo, A. Y. P., Juswono, U. P., Naba, A., Budianto, A., & Adi, E. T. P. (2022). A Study of Erythrocyte Deformation Level Related to Biomass Burning Emission Exposures Using Artificial Neural Networks. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(6), 5037–5046. <https://doi.org/10.15244/pjoes/150643>
- Krishna, V., Reddy, D., Kothari, K., & Gupta, N. (2017). Comparison of Spirometry Findings among Smokers and Non Smokers. 5, 3493–3501. <https://doi.org/10.36347/sjams.2017.v05i09.006>
- Lelono, D., Dharmawan, A., Nugroho, G., & Istiyanto, J. E. (2023). Identification of Forest Fire Smoke Based on Electronic Nose Using Artificial Neural Network. *ICIC Express Letters, Part B: Applications*, 14(3), 219–227. <https://doi.org/10.24507/icicelb.14.03.219>
- Mara, I. M., Nuarsa, I. M., Alit, I. B., & Sayoga, I. M. A. (2019). Analisis emisi gas buang kendaraan berbahan bakar etanol. *Dinamika Teknik Mesin*, 9(1), 45. <https://doi.org/10.29303/dtm.v0i0.258>
- Maulana, M. L., Mustainin, M., & Alfian, M. (2024). Analisis Kadar Bioetanol Hasil Limbah Nasi dengan Metode Kromatografi Gas. 2(1), 1–6.
- Meijnikman, A. S., Nieuwdorp, M., & Schnabl, B. (2024). Endogenous ethanol production in health and disease. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 1–16.
- Mule, N. M., Patil, D. D., & Kaur, M. (2021). A comprehensive survey on investigation techniques of exhaled breath (EB) for diagnosis of diseases in human body. *Informatics in Medicine Unlocked*, 26, 100715. <https://doi.org/10.1016/j.imu.2021.100715>
- Mystry, A., Rajula, Tyagi., Kagathara, J., Vaidya, L., Dholakiya, U., & Shah, C. (2014). Comparative study of pulmonary function tests in smokers and non-smokers. *GCSMC J Med Sci*, 3(1), 22–27.
- Šoša, I. (2023). The Human Body as an Ethanol-Producing Bioreactor—The Forensic Impacts. *Fermentation*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/fermentation9080738>
- Tiscione, N. B., Alford, I., Yeatman, D. T., & Shan, X. (2011). Ethanol analysis by headspace gas chromatography with simultaneous flame-ionization and mass spectrometry detection. *Journal of Analytical Toxicology*, 35(7), 501–511. <https://doi.org/10.1093/anatox/35.7.501>
- 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*, 3132(1).