

Analisis Pola Respons Sensor *Electronic Nose* Terhadap Sampel BBM Murni dan BBM Oplosan

¹Calvin Aditya Permana, ²Muh. Taufiqurrohman, ³Joko Subur

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Hang Tuah, Surabaya

¹calvinaditya84@gmail.com, ²taufiqurrohman@hangtuah.ac.id, ³joko.subur@hangtuah.ac.id

Abstract— This study observes the sensor response patterns of an *Electronic Nose* (E-Nose) system toward pure and adulterated fuel oil samples. The E-Nose consists of four *Metal Oxide Semiconductor* (MOS) sensors (TGS822, TGS2620, TGS2602, and TGS2600) and two *Surface Acoustic Wave* (SAW) sensors integrated with an ESP32 microcontroller as the data acquisition unit, supported by a TFT LCD for real-time display. The samples tested were Peralite, Pertamina, Peralite–Pertamax blend, Peralite–Ethanol blend, Pertamina–Ethanol blend, Peralite–Thinner BS blend, and Pertamina–Thinner BS blend, each measured through a warm-up, baseline, exposure, and purging procedure repeated ten times. The results show that the four MOS sensors produced distinct and consistent voltage responses for every sample, with TGS2600 and TGS2620 giving the highest and most stable responses, while TGS822 gave the lowest response. Blends containing ethanol produced a sharper voltage increase compared to their pure counterparts, whereas blends containing Thinner BS produced response magnitudes relatively close to the pure fuel samples. The SAW sensor data, in contrast, contained many duplicate readings and limited variation, making the response pattern less distinguishable between samples. Overall, this study shows that the MOS sensor *array* is able to capture consistent and distinguishable response patterns across pure and adulterated fuel oil samples, which can serve as the basis for further pattern-recognition analysis.

Keywords — *Electronic Nose; Sensor Response Pattern; MOS Sensor; SAW Sensor; Fuel Oil*

Abstrak— Penelitian ini mengamati pola respons sensor pada sistem *Electronic Nose* (E-Nose) terhadap sampel bahan bakar minyak (BBM) murni dan BBM oplosan. Sistem E-Nose terdiri atas empat sensor *Metal Oxide Semiconductor* (MOS), yaitu TGS822, TGS2620, TGS2602, dan TGS2600, serta dua sensor *Surface Acoustic Wave* (SAW) yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 sebagai unit akuisisi data, dilengkapi layar TFT LCD untuk tampilan real-time. Sampel yang diuji meliputi Peralite, Pertamina, campuran Peralite–Pertamax, campuran Peralite–Etanol, campuran Pertamina–Etanol, campuran Peralite–Tiner BS, dan campuran Pertamina–Tiner BS, masing-masing diukur melalui prosedur warm-up, pengambilan baseline, paparan sampel, dan purging yang diulang sepuluh kali. Hasil pengujian menunjukkan bahwa keempat sensor MOS memberikan respons tegangan yang berbeda dan konsisten untuk setiap sampel, dengan TGS2600 dan TGS2620 memberikan respons tertinggi dan paling stabil, sedangkan TGS822 memberikan respons paling rendah. Campuran yang mengandung etanol menghasilkan kenaikan tegangan yang lebih tajam dibandingkan bahan bakar murninya, sementara campuran yang mengandung Tiner BS menghasilkan besar respons yang relatif mendekati sampel BBM murni. Sebaliknya, data sensor SAW banyak mengandung nilai duplikat dan variasi yang rendah, sehingga pola respons antar sampel kurang dapat dibedakan. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa sensor *array* MOS mampu menangkap pola respons yang konsisten dan dapat dibedakan pada sampel BBM murni maupun oplosan, yang dapat dijadikan dasar untuk analisis pengenalan pola lebih lanjut.

Kata Kunci — *Electronic Nose; Pola Respons Sensor; Sensor MOS; Sensor SAW; Bahan Bakar Minyak*

I. PENDAHULUAN

Bahan bakar minyak (BBM) merupakan komoditas strategis yang berperan penting dalam mendukung sektor transportasi, industri, dan aktivitas ekonomi masyarakat. Kualitas BBM berpengaruh langsung terhadap efisiensi pembakaran, performa mesin, konsumsi bahan bakar, serta emisi gas buang yang dihasilkan, sehingga mutu BBM perlu dijaga agar sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan [1][2]. Praktik pencampuran atau pengoplosan BBM, baik antarjenis BBM maupun dengan penambahan senyawa lain seperti etanol dan tiner, dapat mengubah karakteristik fisikokimia bahan bakar sehingga memengaruhi kandungan Volatile Organic Compounds (VOC) yang dihasilkan.

Metode analisis kimia konvensional seperti *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS) mampu mengidentifikasi komposisi kimia bahan bakar secara rinci, namun memerlukan biaya operasional tinggi, waktu analisis lama, serta peralatan laboratorium khusus sehingga kurang efektif untuk identifikasi cepat di lapangan [3]. Perkembangan teknologi sensor gas memungkinkan pendekatan alternatif berupa *Electronic Nose* (E-Nose), yaitu sistem yang memanfaatkan sensor *array* untuk menghasilkan pola respons yang merepresentasikan karakteristik aroma suatu sampel berdasarkan *odor fingerprint* yang terbentuk dari kombinasi respons seluruh sensor [4][5].

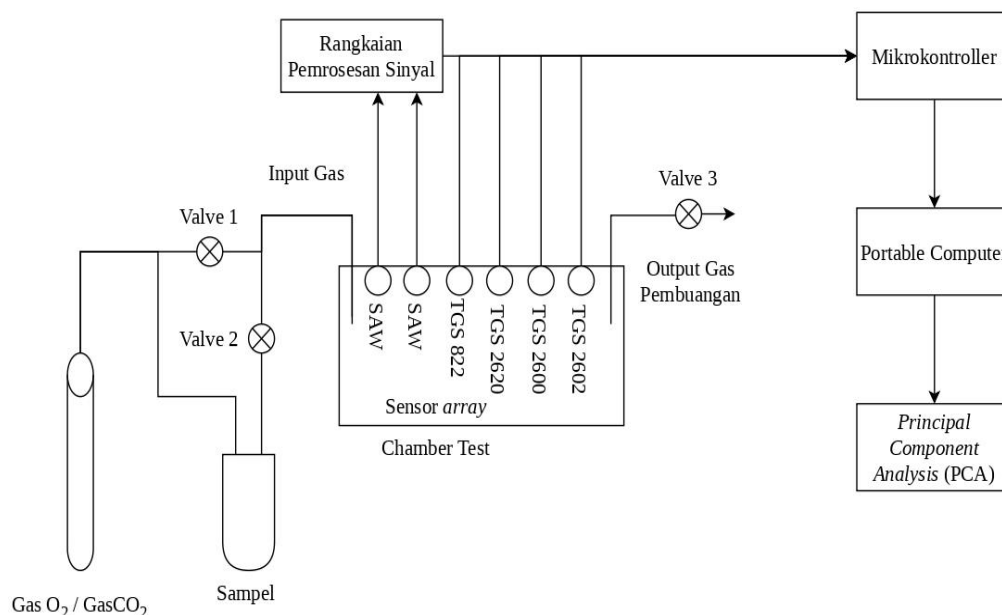
Pada penelitian ini digunakan kombinasi sensor *Metal Oxide Semiconductor* (MOS) dan *Surface Acoustic Wave* (SAW) sebagai sensor *array*. Sensor MOS memiliki sensitivitas yang baik terhadap berbagai senyawa gas dengan biaya implementasi yang relatif rendah [6], sedangkan sensor SAW memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan massa akibat adsorpsi molekul gas pada permukaan sensor [7]. Kombinasi kedua jenis sensor tersebut diharapkan mampu menghasilkan pola respons yang lebih beragam terhadap uap BBM murni maupun BBM oplosan.

Sebelum data respons sensor dapat dianalisis lebih lanjut menggunakan metode pengenalan pola seperti *Principal Component Analysis* (PCA), perlu dipastikan terlebih dahulu bahwa sistem mampu menangkap pola respons yang konsisten dan dapat dibedakan antar sampel. Oleh karena itu, makalah ini berfokus pada analisis pola respons sensor MOS dan SAW terhadap sampel BBM murni dan BBM oplosan, meliputi karakteristik perubahan tegangan setiap sensor, perbandingan besar respons antar sampel, serta evaluasi kualitas data sebagai dasar bagi tahap analisis pola lebih lanjut

II. METODE PENELITIAN

A. Gambaran Umum Sistem

Sistem yang digunakan merupakan *Electronic Nose* yang berfungsi menangkap karakteristik aroma berbagai jenis BBM berdasarkan senyawa volatil (VOC) yang dihasilkan. Gas pembawa mengalirkan uap sampel menuju *chamber test* melalui valve pengatur aliran gas. Di dalam *chamber* terdapat sensor *array* yang terdiri atas dua sensor SAW dan empat sensor MOS (TGS822, TGS2620, TGS2600, TGS2602). Sensor SAW mengalami perubahan frekuensi akibat perubahan massa, sedangkan sensor TGS mengalami perubahan resistansi akibat interaksi gas dengan material semikonduktornya, sehingga menghasilkan sinyal listrik yang berbeda untuk setiap jenis sampel. Sinyal dari sensor SAW dikonversi dari frekuensi menjadi tegangan melalui rangkaian *Frequency to Voltage Converter*, kemudian dikuatkan sebelum dikirim ke mikrokontroler ESP32 untuk dikonversi menjadi data digital. Gambaran umum sistem ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Gambaran Umum Sistem

B. Instrumentasi Penelitian

Instrumentasi penelitian terdiri atas perangkat keras dan perangkat lunak yang saling terintegrasi untuk mengkap dan mencatat respons sensor terhadap setiap sampel pada bahan bakar minyak. Ringkasan instrumentasi penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Instrumentasi Penelitian

Instrumen	Fungsi
ESP32 Devkit V1	Akuisisi data sensor, konversi ADC, dan pengiriman data serial
TGS822 / TGS2620 / TGS2602 / TGS2600	Mendeteksi VOC pada uap bahan bakar (sensor MOS)
SAW 1 dan SAW 2	Mendeteksi perubahan frekuensi akibat interaksi dengan VOC
<i>Frequency to Voltage Converter</i>	Mengubah keluaran frekuensi sensor SAW menjadi tegangan analog
TFT LCD SPI 480x320	Menampilkan nilai dan grafik tegangan sensor secara real-time
Laptop/Komputer	Menerima dan menyimpan data serial dalam format CSV
Power Supply 12 V DC + Step-Down LM2596S	Menyuplai dan menurunkan tegangan sistem menjadi 5 V DC
Chamber Sensor (akrilik)	Ruang pengujian agar paparan VOC terhadap sensor terkendali

C. Prosedur Pengujian Data

Prosedur pengujian data diawali dengan menyalakan sistem dan membiarkan sensor menjalani proses warm-up selama 5–10 menit hingga mencapai kondisi kerja yang stabil, dilanjutkan dengan pengambilan baseline menggunakan udara bersih sebagai acuan awal. Setelah kondisi stabil tercapai, sampel BBM dimasukkan ke dalam chamber sehingga VOC yang dihasilkan berinteraksi dengan seluruh sensor. Selama pemaparan, ESP32 mengakuisisi data dari empat sensor MOS dan dua sensor SAW secara periodik setiap 500 ms, ditampilkan secara real-time pada TFT LCD, dan dikirim ke komputer melalui komunikasi serial UART untuk disimpan dalam format CSV. Setelah pengujian satu sampel selesai, dilakukan proses purging dengan udara bersih hingga respons sensor kembali mendekati baseline sebelum sampel berikutnya diuji. Prosedur ini diterapkan pada seluruh jenis sampel BBM dengan 10 kali pengulangan pengujian, masing-masing menghasilkan 120 data per pengujian, sehingga setiap jenis sampel menghasilkan 1200 data sensor MOS

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pola Respons Sensor MOS Terhadap Kondisi Baseline

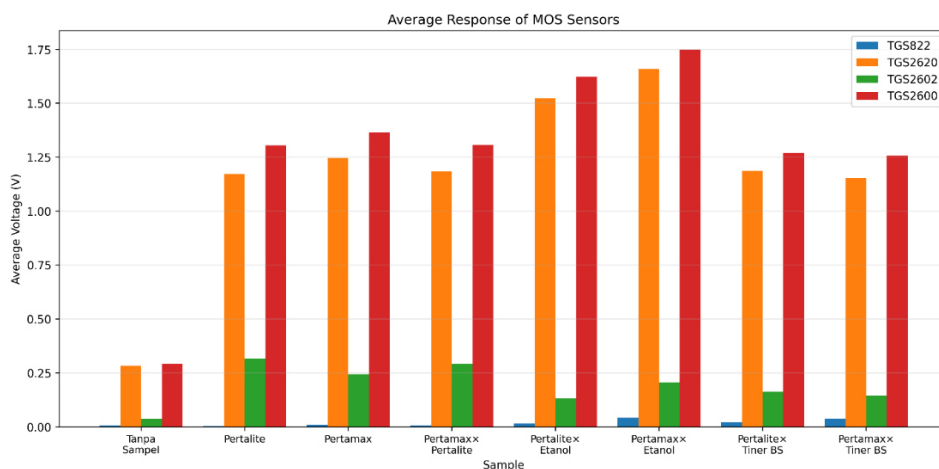
Pengujian baseline dilakukan dengan mengalirkan udara bersih tanpa sampel BBM ke dalam chamber untuk memastikan seluruh sensor bekerja dengan baik pada kondisi awal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa keempat sensor MOS menghasilkan respons yang relatif stabil dengan fluktuasi tegangan kecil, yaitu berkisar antara 0,27–0,35 V untuk TGS2620 dan TGS2600, serta di bawah 0,06 V untuk TGS822 dan TGS2602. Fluktuasi yang terjadi masih berada dalam batas normal dan menunjukkan bahwa perubahan respons yang muncul saat pengujian sampel benar-benar disebabkan oleh keberadaan uap BBM, bukan oleh ketidakstabilan sensor. Ringkasan dari baseline disajikan pada Tabel 2.

B. Rata-rata Pola Respons Sensor MOS Terhadap Sampel dan Tanpa Sampel

Pengujian dilakukan terhadap tujuh jenis sampel, yaitu Peralite, Pertamina, Campuran Peralite–Pertamax, Campuran Peralite–Etanol, Campuran Pertamina–Etanol, Campuran Peralite–Tiner BS, dan Campuran Pertamina–Tiner BS. Pada seluruh sampel, keempat sensor MOS menunjukkan kenaikan tegangan yang jelas dibandingkan kondisi baseline, yang menandakan bahwa sensor mampu mendeteksi keberadaan senyawa volatil pada tiap sampel. Nilai rata-rata tegangan tunak (*steady-state*) masing-masing sensor untuk setiap sampel disajikan pada Tabel 2 dan divisualisasikan pada Gambar 2.

Tabel 2. Rata – Rata Respons Sensor MOS Terhadap Setiap Sampel

Sampel	TGS822 (V)	TGS2620 (V)	TGS2602 (V)	TGS2600 (V)
Tanpa Sampel	0.006	0.282	0.036	0.291
Peralite	0.003	1.170	0.315	1.304
Pertamax	0.009	1.246	0.243	1.363
Campuran Pertamina Peralite	0.006	1.182	0.291	1.305
Campuran Peralite Etanol	0.014	1.522	0.130	1.622
Campuran Pertamina Etanol	0.041	1.657	0.206	1.748
Campuran Peralite Tiner BS	0.021	1.185	0.161	1.269
Campuran Pertamina Tiner BS	0.038	1.153	0.144	1.257



Gambar 2. Grafik Rata – Rata Respons Sensor MOS Terhadap Setiap Sampel

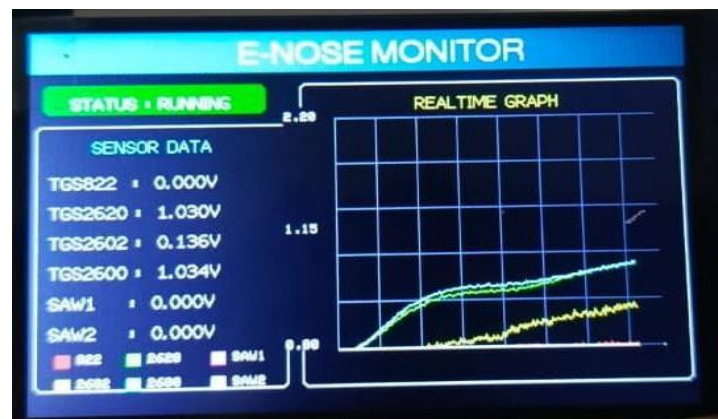
Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 2, sensor TGS2600 dan TGS2620 secara konsisten memberikan respons tertinggi pada seluruh sampel, sedangkan TGS822 memberikan respons paling rendah dan cenderung tidak signifikan terhadap perubahan jenis sampel. Sampel campuran yang mengandung etanol, yaitu Campuran Peralite Etanol dan Campuran Pertamina Etanol, menunjukkan pola yang berbeda dibandingkan sampel lainnya: pada Campuran Pertamina Etanol, respons TGS2620 dan TGS2600 meningkat tajam hingga melebihi seluruh sampel lain, sedangkan pada Campuran Peralite Etanol sensor TGS2602 justru tidak memberikan respons sama sekali. Kondisi ini mengindikasikan bahwa penambahan etanol memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap komposisi VOC yang terdeteksi oleh sensor MOS. Sebaliknya, campuran yang mengandung Tiner BS (Campuran Peralite Tiner BS dan Campuran Pertamina Tiner BS) menghasilkan besar respons yang relatif mendekati sampel BBM murni pasangannya, sehingga pola responsnya lebih sulit dibedakan hanya dengan membandingkan besar tegangan secara langsung.

C. Pembacaan Pola Respons Sensor Secara Realtime Pada Electronic Nose

Selain nilai rata-rata pada Tabel 2, sistem E-Nose ini juga menampilkan grafik respons sensor secara *real time* pada layar TFT LCD, sehingga karakteristik dinamis setiap sensor terhadap waktu dapat diamati secara langsung selama proses pengukuran berlangsung [11][12]. Pembacaan *real time* ini digunakan untuk memastikan bahwa pola kenaikan tegangan menuju kondisi tunak (*steady state*) berlangsung secara konsisten sebelum data direkam untuk dianalisis lebih lanjut. Hasil pembacaan grafik *real time* untuk setiap sampel ditunjukkan pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 9.

1. Pertalite Murni

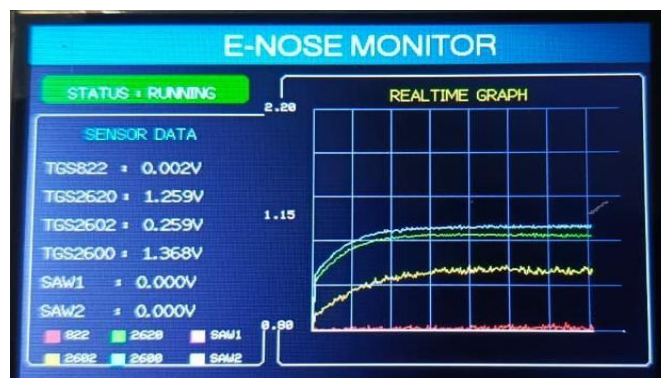
Grafik *real time* hasil pengujian sampel Pertalite ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan grafik tersebut, sensor TGS2620 dan TGS2600 memberikan respons tertinggi dengan nilai masing-masing sekitar 1,03 V dan 1,034 V, sedangkan TGS2602 menghasilkan respons sekitar 0,136 V dan TGS822 menunjukkan keluaran yang sangat kecil sehingga kurvanya berada pada bagian bawah grafik. Keempat kurva memperlihatkan kenaikan tegangan yang cepat pada awal pemaparan dan kemudian melandai menuju kondisi tunak, sesuai dengan karakteristik umum respons sensor MOS terhadap paparan gas [6].



Gambar 3. Grafik Realtime Pola Respons Sampel Pertalite Murni

2. Pertamina Murni

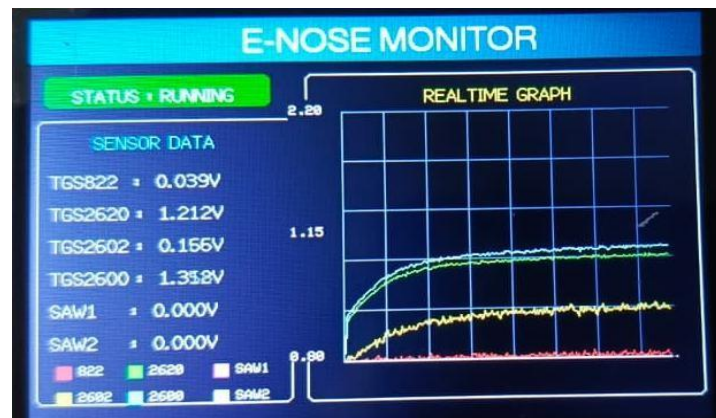
Pengujian *real time* terhadap sampel Pertamina ditampilkan pada Gambar 4. Sensor TGS2600 dan TGS2620 kembali memberikan respons tertinggi, masing-masing sekitar 1,368 V dan 1,259 V, diikuti oleh TGS2602 sebesar 0,259 V, sementara TGS822 hanya menghasilkan keluaran sekitar 0,002 V. Pola kenaikan tegangan pada awal pengukuran yang kemudian stabil ini konsisten dengan pola yang teramati pada sampel Pertalite, namun dengan besaran respons yang sedikit lebih tinggi, menunjukkan adanya perbedaan komposisi VOC antara kedua jenis BBM murni tersebut [1].



Gambar 4. Grafik Realtime Pola Respons Sampel Pertamina Murni

3. Campuran Peralite Pertamina

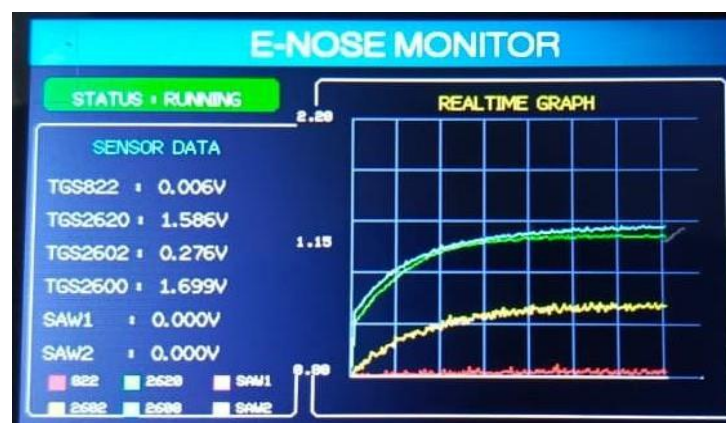
Hasil pembacaan *real time* pada sampel campuran Peralite dan Pertamina disajikan pada Gambar 5. Sensor TGS2600 dan TGS2620 memberikan respons tertinggi dengan nilai berturut-turut sekitar 1,352 V dan 1,212 V, sensor TGS2602 sebesar 0,166 V, dan TGS822 sebesar 0,039 V. Seluruh kurva mengalami kenaikan pada awal pengukuran kemudian mencapai kondisi tunak setelah beberapa saat, yang menandakan bahwa sensor telah mencapai kesetimbangan interaksi dengan uap campuran kedua bahan bakar tersebut, sesuai dengan mekanisme kerja umum sensor gas berbasis semikonduktor pada sistem E-Nose [12].



Gambar 5. Grafik Realtime Pola Respons Sampel Campuran Peralite Pertamina

4. Campuran Peralite Etanol

Grafik *real time* pada sampel campuran Peralite dan etanol ditampilkan pada Gambar 6. Sensor TGS2600 memberikan respons tertinggi dengan nilai sekitar 1,699 V, diikuti TGS2620 sebesar 1,586 V, sedangkan TGS2602 dan TGS822 masing-masing menghasilkan sekitar 0,276 V dan 0,006 V. Dibandingkan dengan campuran Peralite–Pertamax, penambahan etanol menghasilkan kenaikan tegangan yang lebih tajam, khususnya pada TGS2600 dan TGS2602, sejalan dengan temuan bahwa penambahan etanol pada bahan bakar dapat mengubah profil senyawa volatil yang dihasilkan sehingga memengaruhi respons sensor gas [8][9].

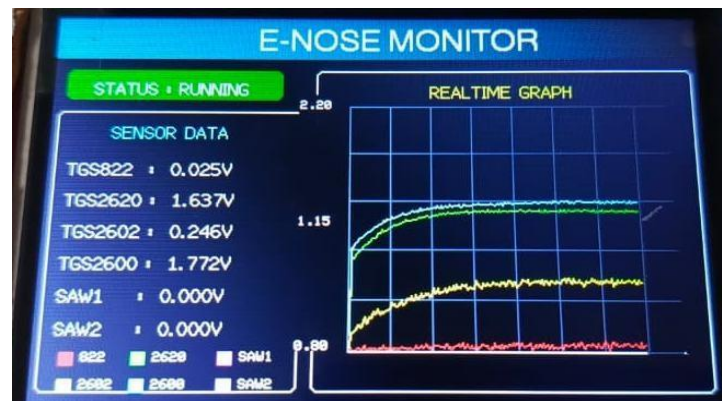


Gambar 6. Grafik Realtime Pola Respons Sampel Campuran Peralite Etanol

5. Campuran Pertamina Etanol

Gambar 7 menunjukkan grafik *real time* hasil pengujian sampel campuran Pertamina dan etanol. Sensor TGS2600 memberikan respons tertinggi di antara seluruh sampel yang diuji, yaitu sekitar 1,772 V, diikuti TGS2620 sebesar 1,637 V, sementara TGS2602 dan TGS822 masing-masing menghasilkan sekitar 0,246 V dan 0,025 V. Kenaikan

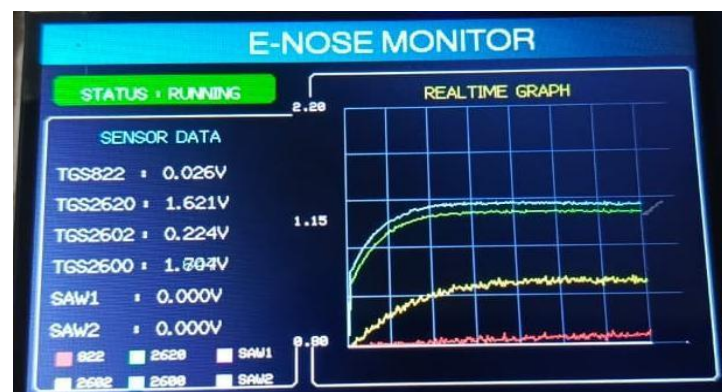
respons yang tajam ini memperkuat indikasi bahwa penambahan etanol, baik pada Peralite maupun Pertamina, secara konsisten meningkatkan besar respons sensor MOS akibat perubahan komposisi VOC yang dihasilkan [10].



Gambar 7. Grafik Realtime Pola Respons Sampel Campuran Pertamina Etanol

6. Campuran Peralite Tiner BS

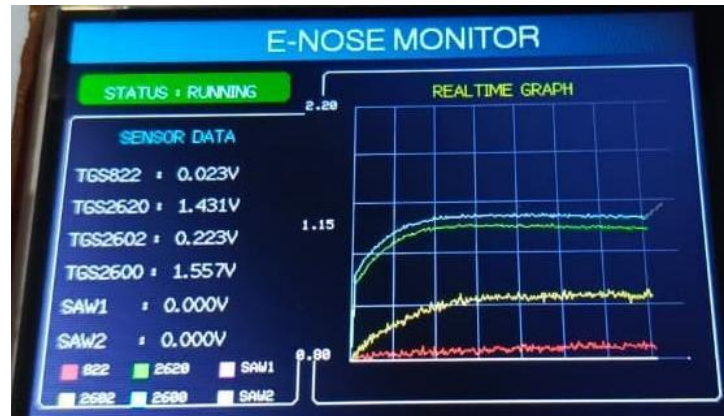
Hasil pembacaan *real time* pada sampel campuran Peralite dan Tiner BS disajikan pada Gambar 8. Sensor TGS2620 dan TGS2600 menunjukkan respons tertinggi, masing-masing sekitar 1,621 V dan 1,704 V, sedangkan TGS2602 dan TGS822 menghasilkan respons sebesar 0,224 V dan 0,026 V. Kurva memperlihatkan kenaikan yang cepat pada awal pemaparan sebelum mencapai kondisi tunak, dengan besar respons yang relatif mendekati sampel BBM murni pasangannya, sehingga pola responsnya lebih sulit dibedakan hanya dari besar tegangan puncak, sebuah keterbatasan yang umum dijumpai pada sistem E-Nose berbasis sensor *array* ketika komposisi VOC antar sampel relatif mirip [4].



Gambar 8. Grafik Realtime Pola Respons Sampel Campuran Peralite Tiner BS

7. Campuran Pertamina Tiner BS

Grafik *real time* hasil pengujian sampel campuran Pertamina dan Tiner BS ditunjukkan pada Gambar 9. Sensor TGS2600 memberikan respons tertinggi sekitar 1,557 V, diikuti TGS2620 sebesar 1,431 V, sedangkan TGS2602 dan TGS822 masing-masing menghasilkan sekitar 0,223 V dan 0,023 V. Seperti pada campuran Peralite-Tiner BS, pola kenaikan menuju kondisi tunak pada campuran ini tetap konsisten, namun besar responsnya tetap berada pada rentang yang mendekati sampel BBM murni, memperkuat indikasi bahwa penambahan Tiner BS memberikan pengaruh yang lebih kecil terhadap profil VOC dibandingkan penambahan etanol [8].



Gambar 9. Grafik Realtime Pola Respons Sampel Pertamax Tiner BS

Secara keseluruhan, pembacaan grafik *real time* pada Gambar 3 hingga Gambar 9 memperkuat hasil analisis rata-rata respons pada Tabel 2, yaitu bahwa sensor TGS2600 dan TGS2620 secara konsisten menjadi sensor dengan respons paling dominan pada seluruh sampel, sementara pola kenaikan tegangan menuju kondisi tunak pada setiap pengujian menunjukkan bahwa sistem E-Nose mampu menangkap karakteristik dinamis respons sensor secara stabil dan berulang. Karakteristik ini menjadi dasar penting sebelum data digunakan pada tahap analisis pengenalan pola lebih lanjut, misalnya menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA) atau pendekatan pembelajaran mesin lainnya [13][14][15].

D. Pola Respons Sensor SAW Terhadap Sampel dan Tanpa Sampel

Pengujian sensor SAW dilakukan dengan prosedur yang sama seperti sensor MOS, menghasilkan sekitar 178 data per sampel. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua sensor SAW mampu memberikan respons terhadap paparan uap sampel BBM, ditunjukkan oleh adanya perubahan nilai keluaran selama proses pengukuran, sesuai dengan prinsip kerjanya dalam mendeteksi perubahan massa pada permukaan sensor. Meskipun demikian, evaluasi lebih lanjut menunjukkan bahwa jumlah data sensor SAW relatif terbatas dan pada beberapa jenis sampel terdapat banyak nilai pembacaan yang identik (duplikat), sehingga variasi data menjadi rendah dan pola antar sampel kurang terlihat secara jelas dibandingkan dengan sensor MOS.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem *Electronic Nose* yang dikembangkan mampu menangkap pola respons yang berbeda dan konsisten terhadap sampel BBM murni maupun BBM oplosan. Keempat sensor MOS (TGS822, TGS2620, TGS2602, dan TGS2600) menunjukkan kenaikan tegangan yang jelas dibandingkan kondisi baseline pada seluruh sampel, dengan TGS2600 dan TGS2620 secara konsisten memberikan respons tertinggi dan paling stabil, sedangkan TGS822 memberikan respons paling rendah dan cenderung tidak signifikan terhadap perubahan jenis sampel. Penambahan etanol pada Pertalite maupun Pertamax menghasilkan kenaikan tegangan yang lebih tajam dibandingkan bahan bakar murninya, yang mengindikasikan perubahan komposisi VOC yang cukup besar akibat penambahan etanol. Sebaliknya, penambahan Tiner BS menghasilkan besar respons yang relatif mendekati sampel BBM murni pasangannya, sehingga pola responsnya lebih sulit dibedakan hanya dari besar tegangan puncak. Pembacaan grafik *real time* pada layar TFT LCD memperkuat temuan tersebut, di mana setiap sampel menunjukkan pola kenaikan tegangan yang khas menuju kondisi tunak secara stabil dan berulang pada setiap pengulangan pengujian.

Berbeda dengan sensor MOS, data sensor SAW menunjukkan jumlah data yang relatif terbatas dengan banyak nilai pembacaan yang identik (duplikat), sehingga variasi datanya rendah dan pola respons antar sampel kurang dapat dibedakan secara jelas. Dengan demikian, sensor *array* MOS terbukti menjadi komponen yang lebih andal dalam mendeteksi dan membedakan pola respons pada sampel BBM murni dan oplosan pada penelitian ini. Secara

keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem *E-Nose* yang dikembangkan mampu menangkap pola respons yang konsisten dan dapat dibedakan, sehingga layak dijadikan dasar bagi tahap analisis pengenalan pola lebih lanjut, seperti *Principal Component Analysis* (PCA) atau metode pembelajaran mesin lainnya, guna meningkatkan akurasi identifikasi BBM murni dan oplosan secara otomatis.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Aldhahi, "The Effect of Fuel Purity on Engine Performance and Efficiency," *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, vol. 9, no. 12, pp. 2247–2253, 2024.
- [2] M. G. Tobar, K. P. Pesantez, P. J. Romero, and R. W. C. Urgiles, "The Impact of Oil Viscosity and Fuel Quality on Internal Combustion Engine Performance and Emissions: An Experimental Approach," *Lubricants*, vol. 13, no. 4, 2025.
- [3] I. D. A. D. Candraningrat, A. A. G. J. Santika, I. A. M. S. Dharmayanti, and P. W. Prayascita, "Review Kemampuan Metode GC-MS Dalam Identifikasi Flunitrazepam Terkait Dengan Aspek Forensik Dan Klinik," *Jurnal Kimia*, vol. 15, no. 1, pp. 12–19, 2021.
- [4] A. Rabehi, H. Helal, D. Zappa, and E. Comini, "Advancements and Prospects of *Electronic Nose* in Various Applications: A Comprehensive Review," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 14, no. 5506, 2024.
- [5] A. D. Wilson and M. Baietto, "Applications and Advances in Electronic-Nose Technologies," *Sensors*, vol. 9, pp. 5099–5148, 2009.
- [6] A. Dey, "Semiconductor metal oxide gas sensors: A review," *Materials Science and Engineering: B*, pp. 206–217, 2018.
- [7] M. Taufiqurrohman, Aulanni'am, Y. P. W. Yueniwati, and G. Ciptadi, "Development of *Surface Acoustic Wave Sensor Electronic Nose* for the Identification of Volatile Compound Organic Using Artificial Neural Network," *International Journal on Engineering Applications*, vol. 11, no. 5, pp. 318–326, 2023.
- [8] Y. Cao, H. Zhao, S. Zhang, X. Wu, J. E. Enderson, W. Shen, T. J. Wallington, and Y. Wu, "Impacts of ethanol blended fuels and cold temperature on VOC emissions from gasoline vehicles in China," *Environmental Pollution*, vol. 348, 2024.
- [9] R. C. Costa and J. R. Sodré, "Hydrous Ethanol Vs. Gasoline-Ethanol Blend: Engine Performance And Emissions," *Fuel*, vol. 89, no. 2, pp. 287–293, 2010.
- [10] P. Iodice and M. Cardone, "Ethanol/Gasoline Blends as Alternative Fuel in Last Generation Spark-Ignition Engines: A review on CO and HC Engine Out Emissions," *Energies*, vol. 14, no. 4034, 2021.
- [11] A. Mujadin, S. P. Rifaldi, O. N. Samijayani, H. Suyono, Sukardi, and Lastriyanto, "Pengujian Kemurnian Minyak Kayu Putih Berbasis *Electronic Nose* Menggunakan Metode PCA Dan Neural Network," *BULLET: Jurnal Multidisiplin Ilmu*, vol. 3, no. 1, pp. 40–47, 2024.
- [12] Z. Zhai, Y. Liu, C. Li, D. Wang, and H. Wu, "Electronic Noses: From Gas-Sensitive Components and Practical Applications to Data Processing," *Sensors*, vol. 24, no. 4806, 2024.
- [13] R. Bro and A. K. Smilde, "Principal Component Analysis," *Analytical Methods*, vol. 6, pp. 2812–2831, 2014.
- [14] I. T. Jolliffe and J. Cadima, "Principal Component Analysis: A Review and Recent Developments," *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2016.
- [15] B. Sumanto, A. M. Setiari, A. A. P. Barus, and M. Arrofiq, "Pembelajaran Mesin Berbasis E-nose Untuk Klasifikasi Daging Pada Produk Sosis," *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, vol. 13, no. 1, pp. 22–32, 2024