

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kopi merupakan salah satu komoditas unggulan dengan nilai ekonomi tinggi dan memiliki peran penting dalam industri pangan serta sektor ekspor Indonesia. Karakteristik cita rasa dan aroma kopi ditentukan oleh keberadaan senyawa volatil seperti aldehida, keton, ester, dan asam organik yang terbentuk selama proses pemanggangan, fermentasi, dan penyimpanan (Sualeh, M. et al. 2023). Faktor-faktor seperti varietas biji, kondisi geografis, metode pascapanen, serta teknik roasting berkontribusi pada keragaman profil aroma kopi (Caprioli et al., 2023). Perbedaan ini membuat proses evaluasi aroma menjadi komponen krusial dalam menentukan kualitas produk. Akan tetapi, metode konvensional seperti cupping test masih mengandalkan panelis manusia yang bersifat subjektif, membutuhkan pengalaman khusus, serta tidak efisien untuk proses industri berskala besar (Toledo et al., 2022). Keterbatasan ini mendorong kebutuhan akan sistem deteksi aroma yang lebih objektif, cepat, dan dapat direplikasi secara konsisten.

Salah satu pendekatan modern yang dikembangkan untuk menjawab kebutuhan tersebut adalah penggunaan *Electronic Nose* (E-Nose), sebuah sistem berbasis sensor gas yang mampu mengenali pola aroma secara elektronik. Sensor gas seperti TGS (Taguchi Gas Sensor) bekerja dengan mendeteksi perubahan resistansi akibat proses adsorpsi dan desorpsi senyawa volatil, menghasilkan sinyal karakteristik yang dapat dianalisis untuk mengenali aroma tertentu. Namun demikian, sistem ini menghadapi permasalahan mendasar, yaitu sensor *drift*, yang mengacu pada perubahan respons sensor seiring waktu meskipun sampel aroma yang diukur tetap sama (Liu et al., 2020). Sensor *drift* dapat muncul akibat perubahan suhu dan kelembapan, kontaminasi permukaan sensor, proses adsorpsi residu jangka panjang, ataupun penurunan sensitivitas material sensor. Fenomena ini menyebabkan sinyal menjadi tidak stabil, akurasi model klasifikasi menurun, serta

menghambat kemampuan sistem untuk menghasilkan identifikasi aroma yang konsisten secara jangka panjang.

Sejumlah penelitian telah menunjukkan berbagai penyebab sensor *drift* pada sensor berbasis metal-oxide semiconductor (MOS), termasuk komposisi molekul air pada permukaan sensor (Gakhar et al., 2022), ketidaksesuaian kondisi temperatur operasional, serta kontaminasi residu volatil pada permukaan sensor (Saleh et al., 2023). Ketika mekanisme ini berlangsung terus-menerus, *baseline* sensor akan bergeser dan pola respons menjadi semakin sulit diprediksi. Akibatnya, model *machine learning* yang dilatih menggunakan data awal cenderung gagal melakukan generalisasi ketika sensor mengalami degradasi performa (Fang et al., 2021). Permasalahan tersebut menjadi hambatan besar terutama dalam aplikasi industri kopi, yang menuntut sistem deteksi aroma dengan stabilitas tinggi serta reliabilitas jangka panjang.

Upaya untuk mengurangi sensor *drift* telah banyak dilakukan. Salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah pengaturan suhu pada ruang sensor untuk menstabilkan proses adsorpsi–desorpsi sehingga sensitivitas sensor lebih konsisten terhadap perubahan lingkungan maupun konsentrasi aroma (Barié et al., 2021). Selain itu, penyinaran ultraviolet (UV) terbukti efektif membantu proses regenerasi sensor dengan mempercepat pembersihan residu gas dan mengembalikan sensitivitas permukaan sensor, sebagaimana ditunjukkan oleh penelitian (Zhai et al., 2024) dan (Takase et al., 2025). Iradiasi UV dapat mengurangi akumulasi kontaminan, menurunkan *drift*, serta mempercepat waktu pemulihan sensor setelah penggunaan berulang. Pendekatan fisik ini mampu meningkatkan repeatabilitas respons sensor secara signifikan, sehingga banyak digunakan untuk stabilisasi sistem E-Nose modern.

Selain optimasi perangkat keras, peningkatan akurasi sistem E-Nose juga dilakukan melalui pemrosesan data dan penerapan *machine learning*. Teknik seperti *Support Vector Machine* (SVM), Random Forest, PCA, serta metode klasifikasi lain telah digunakan untuk memetakan pola sinyal sensor ke dalam kelas aroma (Zhou et al., 2023). Dalam perkembangannya, *Artificial Neural Network* (ANN) menjadi salah satu metode yang paling banyak diadopsi karena

kemampuannya dalam mempelajari hubungan nonlinier dari fitur sensor dan menangkap pola aroma yang kompleks dengan akurasi tinggi (Zhou et al., 2023). ANN dapat bekerja dengan baik menggunakan fitur-fitur temporal dan statistik seperti *mean*, maksimum, *gradien* maksimum, serta *AUC*, sebagaimana dilaporkan dalam penelitian (Hu et al., 2020). Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya cenderung menitikberatkan pada peningkatan algoritma atau metode pemrosesan data, sementara optimasi kondisi fisik sensor, seperti pengaturan suhu pemanas dan penyinaran UV, belum banyak diintegrasikan secara simultan dalam satu sistem E-Nose (Kim et al., 2024).

Kesenjangan ini menunjukkan bahwa peningkatan akurasi model klasifikasi aroma saja belum cukup untuk menjamin stabilitas jangka panjang sistem E-Nose. Sistem yang hanya mengandalkan pengolahan data sering memperoleh performa tinggi pada tahap pelatihan, tetapi tidak dapat mempertahankan akurasi ketika kondisi sensor berubah akibat *drift*. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang mengintegrasikan optimasi perangkat keras dan perangkat lunak secara bersamaan. Dengan mengombinasikan kontrol fisik sensor (melalui pemanas dan UV) serta pemodelan *machine learning*, sistem dapat memiliki stabilitas sinyal yang lebih baik sekaligus kemampuan klasifikasi yang lebih kuat.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, penelitian ini berfokus pada pengembangan dan optimalisasi sistem *Electronic Nose* berbasis sensor gas seri TGS untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan aroma kopi dengan menerapkan variasi suhu pemanas dan penyinaran ultraviolet (UV) sebagai strategi pengurangan sensor *drift*. Sistem memanfaatkan sembilan sensor TGS yang sensitif terhadap senyawa volatil organik, dengan sinyal dianalisis melalui ekstraksi fitur temporal dan frekuensi sebelum diklasifikasikan menggunakan model ANN dan SVM. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi pengaturan fisik sensor dan pendekatan kecerdasan buatan dalam satu sistem E-Nose, sehingga diharapkan mampu meningkatkan akurasi, stabilitas, serta repeatabilitas deteksi aroma secara keseluruhan. Hasil penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan sistem sensor berpresisi tinggi, tetapi juga membuka peluang implementasi nyata dalam proses kontrol mutu otomatis pada industri kopi.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang di atas maka masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana perancangan dan optimasi sistem *Electronic Nose* (E-Nose) berbasis sensor gas seri MQ dan TGS melalui pengondisian sistem, pengolahan data, dan seleksi sensor untuk menghasilkan respons yang stabil serta mengklasifikasikan aroma kopi secara akurat dan konsisten?
2. Bagaimana pengaruh variasi temperatur dan perlakuan sinar ultraviolet (UV) terhadap karakteristik *drift* respons sensor MQ dan TGS serta kinerja klasifikasi aroma kopi pada sistem E-Nose?
3. Bagaimana perbandingan tingkat keinformatifan dan konfigurasi sensor terbaik antara *array* sensor MQ dan TGS serta kinerja model SVM dan ANN dalam mengklasifikasikan aroma kopi *Gayo Wine* dan *Toraja*?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan dan mengevaluasi kinerja sistem *Electronic Nose* (E-Nose) berbasis sensor gas seri MQ dan TGS dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan aroma kopi secara akurat dan konsisten melalui optimasi sistem, pengolahan data, dan seleksi sensor; mengevaluasi pengaruh variasi temperatur dan perlakuan sinar ultraviolet (UV) terhadap karakteristik *drift* respons sensor dan kinerja klasifikasi; serta membandingkan tingkat keinformatifan dan konfigurasi sensor terbaik serta kinerja model SVM dan ANN dalam mengklasifikasikan kopi *Gayo Wine* dan *Toraja*.

D. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoretis

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan sistem *Electronic Nose* (E-Nose) berbasis sensor gas seri TGS, khususnya terkait pengaruh variasi suhu pemanas dan perlakuan sinar ultraviolet (UV) terhadap karakteristik *drift* respons sensor. Selain itu, penelitian ini

diharapkan dapat menjadi referensi dalam penerapan teknik *preprocessing*, ekstraksi fitur, dan *machine learning* untuk meningkatkan kinerja klasifikasi aroma berdasarkan respons sensor gas.

2. Manfaat Praktis

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan sistem *Electronic Nose* (E-Nose) yang lebih stabil, efisien, dan konsisten melalui penerapan kontrol suhu, perlakuan sinar ultraviolet (UV), serta pemilihan sensor yang sesuai berdasarkan karakteristik respons dan tingkat *drift*. Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat mendukung proses identifikasi dan klasifikasi aroma kopi serta menjadi dasar pengembangan perangkat E-Nose untuk aplikasi pengujian kualitas produk berbasis aroma.

