

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kopi sebagai salah satu komoditas perdagangan terbesar di dunia (Pancsira, 2022), mencakup sekitar 70% dari total produksi yang diperdagangkan secara internasional pada tahun 2022 dan terus menunjukkan peran penting dalam dinamika pasar agribisnis global (Voorra, et al., 2022). Varietas Arabika dan Robusta berkontribusi besar terhadap rantai pasok global ini, dengan Arabika menyumbang sekitar 60% produksi dan dikenal memiliki harga jual lebih tinggi dibandingkan Robusta. Perbedaan nilai ini mencerminkan signifikansi karakteristik rasa, aroma, dan kandungan kimia dari masing-masing varietas dalam menentukan kualitas kopi di mata konsumen. Kondisi ini memperkuat pentingnya pemahaman terhadap perbedaan varietas sebagai langkah strategis untuk menjaga konsistensi mutu produk, mengingat preferensi konsumen global sangat ditentukan oleh profil sensorik yang khas dari masing-masing jenis kopi (Sunarharum et al., 2014).

Pencampuran kopi Arabika dan Robusta tanpa identifikasi yang jelas dapat menimbulkan kerugian besar, baik bagi konsumen maupun industri kopi itu sendiri. Konsumen yang mengharapkan profil rasa khas dari kopi Arabika, misalnya, bisa merasa kecewa jika ternyata produk yang dikonsumsi telah dicampur dengan Robusta, yang memiliki karakter rasa lebih pahit dan kuat (Perez et al., 2023). Hal ini tidak hanya merusak pengalaman konsumen tetapi juga mencederai kepercayaan terhadap merek dagang dan rantai pasok. Oleh karena itu, kontrol mutu yang ketat untuk mengidentifikasi jenis kopi secara akurat menjadi sangat penting. Sayangnya, metode evaluasi manual oleh panel sensorik manusia bersifat subjektif, mahal, dan sering kali tidak konsisten antar *evaluator* (Aghdamifar et al., 2023). Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan teknologi objektif yang mampu mendeteksi senyawa volatil yang menjadi penanda khas dari masing-masing varietas kopi. Salah satu solusi yang menjanjikan adalah penggunaan *electronic nose* (E-Nose).

Berdasarkan Zhai et al. (2024), E-Nose adalah sistem yang dirancang untuk meniru mekanisme penciuman biologis dengan mendeteksi dan mengidentifikasi aroma berdasarkan pola respons sensor terhadap senyawa volatil di udara. Perangkat ini bekerja dengan memanfaatkan *array* sensor yang memiliki sensitivitas parsial terhadap berbagai senyawa, menghasilkan sinyal kolektif yang membentuk profil aroma khas. Profil ini kemudian dianalisis menggunakan metode pengenalan pola untuk mengklasifikasikan dan membedakan aroma secara pembelajaran mesin.

Selain itu, temperatur merupakan faktor penting yang memengaruhi volatilitas senyawa aroma, sehingga berdampak langsung terhadap kinerja sistem E-Nose. Peningkatan temperatur akan mempercepat pelepasan senyawa volatil ke udara, yang kemudian terdeteksi oleh sensor sebagai pola aroma yang lebih jelas dan stabil. Sebaliknya, temperatur yang tidak terkontrol dapat menyebabkan variasi respons sensor, menurunkan akurasi identifikasi aroma. Berdasarkan temuan Lelono et al. (2017), penggunaan sistem pengatur temperatur yang stabil mampu meningkatkan konsistensi data dan akurasi klasifikasi aroma secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pengendalian temperatur yang baik merupakan aspek krusial dalam pengoperasian E-Nose.

Beberapa peneliti telah mengeksplorasi penggunaan E-Nose untuk melakukan klasifikasi pada berbagai bahan untuk sampel. Penelitian oleh Erwanto et al. (2024) mengembangkan sistem E-Nose yang terdiri dari sensor gas MQ-3, MQ-4, MQ-5, MQ-135 serta sensor temperatur dan kelembaban DHT-22, yang terintegrasi dengan Arduino Uno untuk mengklasifikasikan tiga jenis kopi Indonesia: Aceh Gayo Wine, Lintong, dan Toraja. Sistem ini mendeteksi senyawa volatil dari uap kopi, dan data yang diperoleh diklasifikasikan menggunakan algoritma *Naive Bayes Classifier* (NBC) dengan akurasi rata-rata sebesar 82.22%. Sensor MQ-4 (metana) memberikan respons tertinggi, sementara MQ-3 (alkohol) menunjukkan respons terendah. Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa kopi Toraja memiliki akurasi tertinggi (93.33%) karena profil aromanya yang paling konsisten dan khas,

sedangkan Aceh Gayo Wine memiliki akurasi terendah (73.33%) akibat pola aroma yang lebih kompleks dan mirip dengan kopi lainnya.

Penelitian oleh Iswanto et al. (2024) mengembangkan sistem E-Nose berbiaya rendah menggunakan delapan sensor gas seri MQ (MQ2–MQ9 dan MQ135) untuk membedakan kopi Robusta dan Arabika dengan menerapkan algoritma 1-D *Convolutional Neural Network* (1D-CNN) dan *Support Vector Machine* (SVM) yang diperkuat dengan filter Savitzky-Golay untuk mereduksi noise. Data diambil dari 40 sampel masing-masing jenis kopi dengan waktu sampling bervariasi (20, 70, dan 200 detik), di mana fitur yang diekstrak mencakup nilai maksimum, rata-rata, dan *area under curve* (AUC). Hasilnya menunjukkan bahwa model 1D-CNN mampu mencapai akurasi 100% pada sampling 200 detik, sementara SVM mencapai 92% pada durasi yang sama dan lebih unggul saat sampling singkat, 70% akurasi pada 20 detik dibandingkan CNN yang hanya 60%, menjadikan SVM lebih cocok untuk aplikasi dengan kebutuhan waktu proses cepat.

Selain itu, penelitian oleh Lelono et al. (2017) mengembangkan sistem E-Nose yang dilengkapi dengan pemanas sampel berstabilitas tinggi menggunakan pengontrol temperatur PID untuk mengklasifikasi mutu teh hitam lokal (Q1, Q2, dan Q3). Penggunaan pemanas stabil terbukti sangat penting karena respons sensor sangat tergantung pada temperatur sampel. Dalam pengujian, tanpa pemanas, sistem hanya mengklasifikasi dengan akurasi 88,9%, meningkat menjadi 92,5% dengan pemanas tak stabil, dan mencapai 97,8% saat menggunakan pemanas stabil. Sistem ini memanfaatkan sensor gas *metal oxide* seperti MQ-7, TGS2602, dan TGS826, serta menerapkan PCA dan LDA sebagai metode analisis data. Hasilnya menunjukkan bahwa temperatur yang dikontrol secara presisi mampu meningkatkan intensitas aroma dan keandalan pola sensor, menjadikan pemanas berstabilitas tinggi sebagai elemen krusial dalam akurasi klasifikasi E-Nose untuk produk berbasis volatil seperti teh.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan desain E-Nose yang mampu mengklasifikasikan bubuk kopi

robusta dan arabika dengan memanfaatkan sensor gas yang terjangkau namun tetap menghasilkan akurasi klasifikasi yang tinggi. Sistem ini akan menggunakan sensor gas tipe *metal oxide semiconductor* (MOS) seri MQ, yaitu MQ-2, MQ-3, MQ-4, MQ-5, MQ-6, MQ-7, MQ-8, MQ-9, dan MQ-135, yang mudah didapat di pasaran. Untuk meningkatkan kestabilan aroma dan memperbaiki respons sensor, sistem E-Nose dilengkapi dengan elemen pemanas pada ruang sampel yang dikontrol secara presisi menggunakan *PID-controller* seri XH-W3001. Variasi temperatur pada ruang sampel akan diuji pada tiga titik yaitu 35°C, 40°C, dan 45°C untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap performa klasifikasi. Data sinyal dari masing-masing sensor akan direkam dan dilakukan ekstraksi fitur seperti nilai maksimum, rata-rata, dan AUC. Model klasifikasi akan dibangun menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) dengan dua jenis kernel, yaitu kernel linear dan kernel *Radial Basis Function* (RBF). Proses optimasi *hyperparameter* dilakukan menggunakan metode *Grid Search* untuk memperoleh konfigurasi parameter terbaik dari masing-masing kernel. Untuk mengevaluasi performa generalisasi model secara menyeluruh, digunakan metode validasi *Leave-One-Out Cross Validation* (LOOCV). Selanjutnya, dilakukan analisis rekayasa fitur untuk menentukan kombinasi sensor dan fitur yang paling optimal dalam menghasilkan akurasi klasifikasi yang tinggi.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana desain instrumen E-Nose yang dilengkapi dengan elemen pemanas dan sistem kendali PID yang sesuai untuk klasifikasi bubuk kopi Arabika dan Robusta?
2. Bagaimana pengaruh variasi temperatur pemanasan sampel terhadap respons sensor gas MQ dalam sistem E-Nose?
3. Bagaimana performa model klasifikasi SVM dengan kernel linear dan kernel RBF dalam membedakan bubuk kopi Arabika dan Robusta, serta kernel mana yang menghasilkan akurasi klasifikasi paling optimal?

C. Tujuan Penelitian

Secara umum, tujuan penelitian ini adalah untuk merancang dan mengoptimalkan sistem E-Nose berbasis sensor gas MQ yang dilengkapi dengan sistem pemanas temperatur terkontrol untuk melakukan klasifikasi aroma bubuk kopi Arabika dan Robusta dengan akurasi tinggi.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu:

1. Manfaat Praktis

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan E-Nose yang lebih presisi dengan kontrol temperatur, serta memberikan kontribusi dalam penerapan *machine learning* untuk klasifikasi aroma.

2. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang fisika instrumentasi dan komputasi, khususnya terkait pengaruh temperatur terhadap performa sensor gas serta optimasi model klasifikasi menggunakan SVM.