

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Volatile organic compounds (VOC) adalah kelompok senyawa berbasis karbon yang memiliki tekanan uap tinggi pada suhu kamar, sehingga mudah menguap ke udara. VOC meliputi berbagai senyawa seperti alkohol, aldehida, keton, dan hidrokarbon yang ditemukan dalam proses alami maupun aktivitas industri (Janssens et al., 2022). Keberadaan VOC memberikan dampak signifikan di berbagai sektor. Di bidang kesehatan, analisis VOC telah diakui sebagai metode diagnostik non-invasif yang efektif. Beberapa penyakit, termasuk kanker paru-paru dan kolorektal, dapat dideteksi melalui profil VOC dalam sampel biologis, seperti napas atau urin manusia (Cuervo et al., 2023). Dalam konteks lingkungan, emisi VOC dari berbagai sumber dapat menurunkan kualitas udara dan berkontribusi pada pembentukan polusi sekunder, seperti ozon troposferik, yang berdampak buruk pada kesehatan manusia dan ekosistem (Lin et al., 2022; Plat et al., 2019).

Selain itu, VOC memainkan peran penting dalam industri makanan. Analisis VOC digunakan untuk mengevaluasi kualitas, mendeteksi pembusukan, serta memastikan keamanan produk. Profil VOC yang khas pada beberapa produk, seperti madu dan susu, dimanfaatkan untuk autentikasi dan pelacakan asal produk dalam rantai pasok (D. Liu et al., 2019). Namun, analisis VOC menghadapi sejumlah tantangan, termasuk kompleksitas campuran senyawa, gangguan dari analit lain, serta kebutuhan metode analitik yang lebih efisien dan akurat (Even et al., 2021; Soprani et al., 2019).

Kromatografi gas (GC) telah menjadi metode analitik utama untuk memisahkan, mengidentifikasi, dan mengkuantifikasi VOC. Teknik ini terkenal karena kecepatan dan kemampuan pemisahannya yang tinggi (Z. Liu et al., 2023). Teknologi GC terus berkembang dengan diperkenalkannya kromatografi gas multidimensional (MDGC) dan integrasi dengan spektrometri massa (GC-MS), yang memungkinkan analisis campuran kompleks dengan sensitivitas tinggi (Prebihalo et al., 2018; Rontani, 2022). Salah satu komponen penting dalam GC adalah *Thermal*

Conductivity Detector (TCD), yang memiliki keunggulan dalam sensitivitas, biaya operasional rendah, dan kemudahan penggunaan. Namun, teknologi GC konvensional masih menghadapi sejumlah kendala, seperti keterbatasan sensitivitas untuk analit pada level jejak, *co-elution*, dan biaya operasional tinggi (Ibragimova, 2023).

Untuk mengatasi kendala tersebut, pengembangan sistem GC portabel dan hemat biaya telah menjadi fokus utama penelitian terkini. Teknologi mikroelektromekanik (MEMS) menawarkan potensi untuk menciptakan GC yang lebih kecil, cepat, dan hemat daya, menjadikannya solusi ideal untuk pengukuran on-site (Regmi & Agah, 2018). Sistem GC berbasis MEMS meningkatkan aksesibilitas analisis, terutama di lokasi dengan sumber daya terbatas, seperti pemantauan VOC di lapangan atau autentikasi makanan secara langsung.

Beberapa penelitian menunjukkan inovasi dalam pengembangan GC hemat biaya. (Hinterberger et al., 2021) mengembangkan sistem GC untuk pengajaran kimia analitik menggunakan komponen sederhana seperti pompa akuarium, detektor konduktivitas termal (TCD), dan Arduino untuk akuisisi data. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi gas seperti H₂, CO, CH₄, dan C₂H₄, menunjukkan potensi adaptasi lebih lanjut untuk aplikasi laboratorium dengan peningkatan resolusi. (Biswas et al., 2021) merancang sistem mikro-GC dengan sensor slab fotonik kristal (PCS), yang menunjukkan efisiensi tinggi dalam memisahkan VOC dengan waktu analisis kurang dari 4 menit dan batas deteksi sangat rendah.

Selain TCD, sensor berbasis semikonduktor seperti SGP30 juga menunjukkan potensi dalam mendeteksi senyawa volatil secara langsung. Sensor ini memungkinkan akuisisi data VOC total (TVOC) dan konsentrasi CO₂ ekuivalen, serta dapat digabungkan dengan sistem GC untuk memperkaya representasi data kimia. Kombinasi data dari kedua sensor ini dapat meningkatkan akurasi klasifikasi senyawa volatil, terutama ketika diolah lebih lanjut menggunakan algoritma machine learning.

Integrasi *machine learning* (ML) juga telah menunjukkan potensi besar dalam analisis data GC. (Matyushin & Buryak, 2020) menggunakan model pembelajaran mesin seperti CNN dan XGBoost untuk prediksi indeks retensi gas kromatografi,

(R. Sharma et al., 2021) menunjukkan efektivitas model ML pada data napas untuk klasifikasi fenotipe asma. Dukungan ML memungkinkan sistem mendeteksi pola kompleks dan melakukan klasifikasi senyawa dengan akurasi tinggi. Dalam penelitian ini, *Support Vector Machine* (SVM) dipilih sebagai metode klasifikasi utama karena keunggulannya dalam menangani data berdimensi tinggi dan jumlah sampel terbatas. Model ini juga memiliki kinerja yang stabil, bahkan pada dataset dengan ukuran kecil, sehingga sesuai dengan kondisi data hasil eksperimen ini.

Untuk meningkatkan kualitas sinyal, metode *Savitzky-Golay Filter* akan digunakan sebagai teknik *smoothing*. Filter ini mampu mempertahankan bentuk puncak sinyal sambil mengurangi *noise*, menjadikannya cocok untuk data hasil kromatografi. Penelitian ini juga akan membandingkan performa sistem klasifikasi dengan dan tanpa proses filterisasi sinyal, untuk mengevaluasi dampaknya terhadap akurasi model.

Dalam penelitian ini, digunakan dua jenis senyawa volatil, yaitu Etanol dan Toluena, yang dipilih sebagai perwakilan dari dua kelompok senyawa berbeda, yakni alkohol dan senyawa aromatik. Pemilihan ini bertujuan untuk menguji kemampuan sistem dalam membedakan karakteristik senyawa secara fundamental sebagai tahap awal dari pengembangan sistem klasifikasi VOC berbasis GC dan machine learning.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem kromatografi gas (GC) portabel berbasis *multi-sensor* (TCD dan SGP30) dengan biaya rendah dan sensitivitas tinggi. Sistem ini akan dikombinasikan dengan pendekatan *machine learning* untuk klasifikasi senyawa volatil, dengan pendekatan perbandingan data terfilter dan tidak terfilter. Dengan rancangan ini, diharapkan sistem dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan perangkat analitik yang portabel, efisien, dan terjangkau, yang berguna untuk aplikasi diagnosis medis, pemantauan lingkungan, dan industri makanan.

B. Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana merancang sistem kromatografi gas portabel yang efektif dan efisien, dengan integrasi detektor multi-sensor (TCD dan SGP30), untuk analisis *volatile organic compounds* (VOC)?
2. Bagaimana meningkatkan kualitas sinyal data hasil kromatografi gas menggunakan metode filterisasi, serta mengevaluasi pengaruhnya terhadap akurasi klasifikasi?
3. Bagaimana pengaruh *preprocessing* sinyal dan teknik validasi terhadap performa klasifikasi senyawa volatil menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM)?

C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem kromatografi gas portabel berbasis *multi-sensor* (TCD dan SGP30) yang terintegrasi dengan algoritma *machine learning*, guna meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam mendeteksi serta mengklasifikasikan *volatile organic compounds* (VOC). Adapun tujuan khusus penelitian yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengembangkan sistem kromatografi gas portabel berbasis detektor multi-sensor (TCD dan SGP30) yang efektif dan efisien untuk analisis *volatile organic compounds* (VOC).
2. Menerapkan metode filterisasi sinyal menggunakan *Savitzky-Golay Filter* untuk meningkatkan kualitas data hasil akuisisi serta membandingkan pengaruhnya terhadap performa klasifikasi.
3. Mengevaluasi pengaruh *preprocessing* sinyal serta teknik validasi data terhadap performa klasifikasi senyawa volatil menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM).

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi baik secara teoritis maupun praktis, sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan memperkaya literatur di bidang teknologi kromatografi gas, khususnya dalam pengembangan sistem portabel berbasis *multi-sensor* (TCD dan SGP30) yang efisien dan hemat biaya. Selain itu, penelitian ini turut memberikan kontribusi pada kajian integrasi algoritma *machine learning*, khususnya *Support Vector Machine* (SVM), dalam klasifikasi *volatile organic compounds* (VOC). Hasil dari penelitian ini dapat menjadi landasan bagi pengembangan lebih lanjut teknologi analitik berbasis sensor dan pembelajaran mesin untuk aplikasi pemantauan lingkungan, pangan, maupun medis.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan menghasilkan sistem kromatografi gas portabel yang sensitif, hemat biaya, dan mudah digunakan untuk deteksi serta klasifikasi *volatile organic compounds* (VOC). Dengan dukungan algoritma SVM dan teknik *preprocessing* seperti filterisasi sinyal *Savitzky-Golay* serta ekstraksi fitur, sistem ini dapat digunakan untuk berbagai aplikasi praktis seperti pemantauan kualitas udara di lingkungan industri dan perkotaan, autentikasi serta kontrol kualitas dalam industri pangan, dan diagnosis non-invasif berbasis VOC di bidang kesehatan. Desain sistem yang fleksibel dan portabel memungkinkan penggunaannya langsung di lapangan, menjadikannya solusi analisis *real-time* yang efisien dan terjangkau.