

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Paparan asap rokok di ruang tertutup merupakan salah satu ancaman kesehatan serius yang sering tidak disadari. Asap rokok mengandung lebih dari 7.000 zat kimia, termasuk nikotin, benzena, formaldehida, karbon monoksida (CO), serta partikulat halus berukuran $<2.5 \mu\text{m}$ (PM_{2.5}) yang dapat mencapai alveolus paru-paru. Dari lebih 7.000 zat kimia yang terdapat dalam asap rokok, setidaknya 250 di antaranya telah diidentifikasi sebagai zat berbahaya, termasuk toksin, iritan, dan senyawa yang merusak organ seperti benzena, formaldehida, amonia, hidrogen sianida, dan karbon monoksida. Dari jumlah tersebut, sekitar 69 senyawa diketahui bersifat karsinogenik, seperti nitrosamin spesifik tembakau, benzopyrene, dan arsenik, yang dapat memicu terbentuknya sel kanker serta meningkatkan risiko penyakit kronis dan kematian. Menurut *World Health Organization*, asap rokok bertanggung jawab atas lebih dari 8 juta kematian setiap tahun, termasuk 1,2 juta kematian akibat paparan asap rokok pasif (WHO, 2023). Kondisi ini semakin berbahaya pada ruang tertutup seperti kamar tidur, kendaraan, dan ruang kerja, di mana laju difusi asap lebih lambat sehingga konsentrasi senyawa berbahaya bertahan lebih lama (Pietraru et al., 2024). Fenomena tersebut menegaskan pentingnya perangkat deteksi asap yang tidak hanya sensitif, tetapi juga portabel dan mampu memberikan peringatan personal secara cepat.

Dengan mempertimbangkan besarnya risiko kesehatan yang ditimbulkan, terutama bagi perokok pasif, maka upaya pencegahan paparan asap rokok menjadi sangat penting. Salah satu langkah yang dapat dilakukan adalah menghadirkan sistem deteksi asap rokok yang mampu memberikan peringatan dini ketika polutan berbahaya mulai terakumulasi di udara. Deteksi asap rokok umumnya dilakukan menggunakan sensor gas berbasis teknologi *metal-oxide* (MOX) optik, maupun elektrokimia yang bekerja dengan mengukur perubahan komposisi kimia udara. Namun, perangkat pendeteksi asap konvensional seperti *smoke detector* rumah bersifat stasioner dan tidak mampu memberikan perlindungan ketika seseorang berpindah dari satu ruangan ke ruangan lain. Perkembangan *Wearable device*

membuka peluang baru untuk menciptakan sistem deteksi asap personal. Sejumlah penelitian sebelumnya menggunakan sensor gas tipe MOX seperti MQ-2 dan MQ-135 untuk mendeteksi asap rokok. MQ-2 memang mampu mendeteksi asap rokok (Panpaeng et al., 2018), namun sensor ini memiliki keterbatasan teknis yang cukup signifikan. Berdasarkan datasheet, MQ-2 memiliki waktu pemanasan (*preheat*) 24-48 jam, sehingga tidak cocok untuk sistem *wearable* yang membutuhkan respons cepat. Selain itu, sensitivitasnya terhadap komponen Volatile Organic Compounds (VOC) asap rokok hanya berada pada kisaran 20-40% perubahan resistansi, dan pembacaannya sangat dipengaruhi oleh suhu dan kelembapan dengan penyimpangan $\pm 15-20\%$ pada lingkungan tidak stabil. MQ-135 pun menunjukkan karakteristik serupa, dengan sensitivitas terhadap gas-gas khas asap rokok hanya sekitar 30-50% serta *drift* pembacaan yang cukup tinggi ($>5\%$ per 24 jam).

Keterbatasan tersebut mendorong kebutuhan akan sensor yang lebih responsif, sensitif, hemat daya, dan ideal untuk penggunaan pada *Wearable device*. Sensor CCS811 merupakan sensor MOX generasi baru yang dirancang untuk mendeteksi total *Volatile Organic Compounds* (TVOC) dan *Equivalent Carbon Dioxide* (eCO_2) secara real-time dengan konsumsi daya sangat rendah, ukuran kecil, dan waktu respons kurang dari 10 detik. Salah satu penelitian menunjukkan bahwa CCS811 memiliki kinerja baik untuk pemantauan kualitas udara dalam ruangan, deteksi polutan gas aktivitas manusia, sistem ventilasi cerdas, hingga perangkat IoT portabel (González et al., 2024). Meski demikian, penelitian yang secara khusus menguji performa CCS811 dalam mendeteksi asap rokok masih sangat terbatas.

Secara fisika, waktu deteksi asap di udara dipengaruhi oleh proses difusi dan konveksi. Ruangan dengan volume kecil cenderung mengalami peningkatan konsentrasi asap lebih cepat sehingga sensor akan mencapai nilai deteksi lebih cepat, sedangkan ruangan berukuran besar memiliki volume udara lebih banyak sehingga konsentrasi asap lebih tersebar dan waktu deteksi menjadi lebih lama. Dengan merujuk teori difusi gas dan dinamika penyebaran asap di udara, hipotesis penelitian ini adalah bahwa semakin kecil ukuran ruang, semakin cepat waktu deteksi asap oleh sensor CCS811. Kajian oleh (Pietraru et al., 2024) menunjukkan bahwa berbagai sensor TVOC seperti AGS-series, BME680, ENS160, SGP30, dan SGP40 umumnya dirancang untuk aplikasi air *purifier*, sistem HVAC, atau *smart-*

home, sehingga kurang cocok untuk *Wearable device* yang membutuhkan ukuran kecil, waktu pemanasan yang lebih lama, dan konsumsi daya rendah. Beberapa sensor seperti BME680 menawarkan banyak parameter fisik, tetapi memerlukan daya lebih tinggi dan kalibrasi tambahan. Dibandingkan sensor-sensor tersebut, CCS811 menonjol karena ukurannya yang sangat kecil ($2.7 \times 4.0 \times 1.1$ mm), konsumsi daya yang sangat rendah (sekitar 1.2 mW), dan optimasi khusus untuk perangkat portable serta *wearable*. Selain itu, sensor ini memiliki kemampuan deteksi VOC dan eCO₂ dengan rentang 0-1187 ppb untuk TVOC dan 400-8192 ppm untuk eCO₂, serta sensitivitas tinggi dengan *repeatability* ± 7 ppb (TVOC) dan ± 20 ppm (eCO₂). Waktu responsnya juga relatif cepat, dengan nilai T90 sekitar 10 detik, sehingga sensor dapat mendeteksi perubahan kualitas udara termasuk didalamnya menghasilkan asap rokok secara *real time*. Dengan karakteristik ini, CCS811 jauh lebih sesuai untuk *wearable smoke detector* dibanding sensor lain yang membutuhkan daya besar dan waktu pemanasan lebih lama.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh ukuran ruang terhadap waktu deteksi asap rokok oleh *Wearable smoke detector* berbasis sensor CCS811. Melalui pengujian langsung pada ruang dengan volume berbeda, diharapkan diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai hubungan antara karakteristik fisik ruang dan dinamika difusi asap, serta kemampuan sistem untuk memberikan notifikasi getaran secara efektif. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan teknologi *wearable* yang adaptif, kontekstual, dan berorientasi pada perlindungan kesehatan pengguna dari paparan asap rokok di lingkungan tertutup.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Apakah terdapat perbedaan waktu deteksi asap rokok berdasarkan variasi volume ruang yang berbeda, jarak sumber asap terhadap *wearable smoke detector*, dan suhu ruang (pagi, siang, sore, malam)?
2. Bagaimana hubungan matematis (regresi) antara volume ruang, jarak sumber asap, dan suhu ruang terhadap waktu deteksi asap rokok yang terukur oleh sensor CCS811?
3. Bagaimana keterkaitan hasil eksperimen tersebut dengan prinsip fisika difusi gas dan konveksi fluida dalam menjelaskan dinamika penyebaran asap di ruang tertutup?
4. Bagaimana kinerja *wearable smoke detector* berbasis sensor CCS811 dalam memberikan respons konsisten terhadap perubahan kondisi fisik ruang dan menyampaikan notifikasi getar sebagai bentuk peringatan dini?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh variasi volume ruang, jarak sumber asap, dan suhu ruang terhadap waktu deteksi asap rokok yang dilakukan oleh *wearable smoke detector* berbasis sensor CCS811.
2. Membentuk model matematis (regresi) yang menggambarkan hubungan antara faktor fisik ruang (volume, jarak, dan suhu) dengan waktu deteksi asap
3. Mengkaji hasil pengujian secara teoritis dengan mengacu pada Hukum Fick tentang difusi gas dan prinsip konveksi fluida, untuk memahami mekanisme penyebaran asap dalam ruang tertutup.
4. Mengevaluasi kinerja dan konsistensi sistem *wearable smoke detector* dengan sensor CCS811 dalam memberikan notifikasi getar terhadap keberadaan asap rokok.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain adalah:

1. Manfaat Teoritis: Memberikan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan pengetahuan di bidang fisika lingkungan dan sistem deteksi berbasis IoT, khususnya dalam menjelaskan hubungan antara ukuran ruang, jarak sumber asap, suhu ruang, dan fenomena difusi gas terhadap waktu respons sensor CCS811.
2. Manfaat Praktis: Menjadi acuan dalam perancangan *wearable device* (*wearable smoke detector*) yang efektif mendeteksi asap rokok pada berbagai kondisi ruang dan lingkungan, serta mampu memberikan peringatan getar secara cepat dan *real-time* kepada pengguna.
3. Manfaat Aplikatif: Menjadi referensi bagi pengembangan sistem *monitoring* kualitas udara berbasis IoT yang lebih adaptif dan akurat, serta dapat diterapkan pada berbagai skala ruang mulai dari kamar pribadi, ruang kerja, hingga area publik berskala kecil-menengah.