

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kualitas udara menjadi salah satu isu lingkungan yang penting pada era modern, karena atmosfer dipenuhi berbagai gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x) dan sulfur dioksida (SO₂) serta gas polutan karbon dioksida (CO₂). Peningkatan konsentrasi gas-gas tersebut tidak hanya berimplikasi terhadap perubahan iklim global, tetapi juga berdampak langsung pada kesehatan manusia. *World Health Organization* (WHO) menempatkan gas-gas tersebut sebagai polutan yang sangat memengaruhi kesehatan dan menetapkan pedoman paparan yang lebih ketat untuk menekan jutaan kematian tiap tahun (Goshua dkk., 2022; WHO, 2021). Karbon monoksida (CO) merupakan gas yang sangat berbahaya di antara berbagai polutan yang dapat berdampak serius pada kesehatan manusia dan bahkan kematian. Gas CO memiliki sifat beracun, tidak berbau dan tidak berwarna sehingga sulit untuk dideteksi. Sumber gas CO sangat banyak terdapat dalam lingkungan sekitar seperti dari emisi knalpot kendaraan bermotor, kebocoran alat pemanas ataupun pendingin dan hasil pembakaran tidak sempurna dari bahan bakar lainnya (Hjiri dkk., 2020).

Sensor gas menjadi teknologi yang sangat esensial karena mampu mendeteksi keberadaan gas berbahaya secara *real-time*, sensitif, dan selektif. Sensor gas yang ideal harus memiliki sensitivitas tinggi, selektivitas baik, stabilitas panjang, dapat beroperasi pada suhu rendah dan mudah diintegrasikan dengan perangkat portabel (Wang dan Wang, 2025; Waqas Alam dkk., 2025). Sensor berbasis material semikonduktor oksida logam (*Metal Oxide Semiconductor*) menjadi sangat diminati karena memiliki beberapa keunggulan seperti respon cepat, sensitivitas tinggi, konsumsi daya rendah, ketahanan tinggi, masa pakai lama, fabrikasi dan modifikasi mudah pada tingkat molekul serta sangat ideal untuk aplikasi portabel (He dan Jiao, 2024; Nuruddin, 2025).

Zinc Oxide (ZnO) merupakan material yang sering digunakan dalam pengembangan sensor gas dibandingkan dengan material oksida logam lainnya. ZnO memiliki banyak keunggulan, yaitu *band gap* yang lebar (3,37 eV), energi ikatan eksiton tinggi (60 meV), mobilitas elektron yang tinggi ($\sim 400 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$), tidak beracun, dan memiliki stabilitas termal dan kimia yang baik (Jaballah dkk., 2021; Kang dkk., 2021; Waqas Alam dkk., 2025). ZnO mudah disintesis dalam bentuk nanostruktur, seperti *nanorod*, *nanosheet*, maupun nanopartikel, untuk meningkatkan kinerja ZnO sebagai sensor gas karena memberikan luas permukaan yang besar dan area interaksi untuk adsorpsi gas (Franco dkk., 2022; Hung dkk., 2021; Que dkk., 2021).

Proses sintesis nanopartikel ZnO yang dilakukan secara konvensional dengan mengandalkan bahan kimia sering memerlukan biaya besar dan dapat berdampak buruk terhadap lingkungan. Oleh karena itu, perlu diupayakan pendekatan sintesis yang lebih ramah lingkungan dengan biaya rendah, yakni melalui sintesis hijau dengan menggunakan ekstrak tanaman sebagai agen pereduksi dan penstabil. Bagian tanaman yang paling sering digunakan dalam sintesis hijau adalah daun, karena selain ketersediaannya sebagai biomassa yang melimpah, komposisi fitokimia yang kaya antioksidan dan dapat diekstrak dengan mudah, reduksi ion logam dengan ekstrak daun dapat lebih cepat dibandingkan dengan bahan alami lainnya seperti jamur dan bakteri (Shafey, 2020). Ekstrak daun tanaman mengandung polifenol, flavonoid, terpenoid, dan alkaloid, mampu mereduksi ion logam sekaligus membentuk lapisan (*capping*) yang mencegah aglomerasi serta mampu mengontrol pertumbuhan nanopartikel ZnO (Handani dkk., 2020; Karam dan Abdulrahman, 2022; Villagrán dkk., 2024).

Daun kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan bahan alami yang menjanjikan untuk sintesis hijau karena selain ketersediaannya yang melimpah, juga kaya akan senyawa fitokimia. Ekstrak daun kelapa sawit mengandung polifenol yang tinggi, flavonoid, serta metabolit sekunder lainnya seperti alkaloid, saponin dan terpenoid (Ariyanti dkk., 2024; Sulistiarini dkk., 2022; Tow dkk., 2021). Penelitian sebelumnya membuktikan telah berhasil menggunakan ekstrak daun kelapa sawit

untuk sintesis nanopartikel, antara lain ZnO (Atikha dan Adawiyah, 2017), Au (Tausif dkk., 2018), Ag (Diaz-López dkk., 2025) dan TiO₂ (Putri dkk., 2025).

Berkaitan dengan aplikasi ZnO sebagai sensor gas, sintesis hijau dapat mendukung fungsi *sensing*, karena sisa biomolekul di permukaan nanostruktur ZnO dapat memperbanyak situs adsorpsi dan memodifikasi energi permukaan sehingga respon terhadap gas akan meningkat (Acharya dkk., 2021; Dadkhah dan Tulliani, 2022; Khan dkk., 2024). Upaya lain untuk meningkatkan kinerja sensor dapat dilakukan dengan proses *doping*, yaitu penambahan sedikit atom logam lain untuk menggantikan atom Zn dalam kisi kristal ZnO (Pineda-Reyes dkk., 2021). Beberapa penelitian menggunakan *doping* aluminium (Al) untuk meningkatkan kinerja nanopartikel ZnO sebagai sensor gas dan membuktikan bahwa *doping* Al dapat menghasilkan ukuran partikel dan kristalit yang lebih kecil, meningkatkan kekosongan oksigen yang berfungsi sebagai situs aktif tempat adsorpsi molekul gas serta meningkatkan konsentrasi elektron sehingga dapat meningkatkan respon dan sensitivitas sensor (Himabindu, 2023; Jaballah dkk., 2021; Lee dkk., 2023; Zhang dkk., 2021).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini memfokuskan pada sintesis hijau nanomaterial ZnO menggunakan ekstrak daun kelapa sawit sebagai agen pereduksi dan penstabil, modifikasi material melalui *doping* Al, evaluasi karakteristik struktur dan morfologi serta potensi nanopartikel yang dihasilkan sebagai sensor gas CO.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana cara menyintesis nanopartikel ZnO dengan pendekatan sintesis hijau menggunakan ekstrak daun kelapa sawit sebagai agen pereduksi dan penstabil?
2. Bagaimana karakteristik struktur kristal, morfologi dan ukuran partikel serta gugus fungsi dari nanopartikel ZnO hasil sintesis hijau?
3. Bagaimana pengaruh *doping* Al terhadap hasil sintesis hijau nanopartikel ZnO?
4. Bagaimana kinerja nanopartikel ZnO hasil sintesis hijau untuk mendeteksi gas CO?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menyintesis nanopartikel ZnO melalui pendekatan sintesis hijau menggunakan ekstrak daun kelapa sawit sebagai agen pereduksi sekaligus penstabil alami.
2. Menganalisis karakteristik struktur kristal, morfologi dan ukuran partikel serta gugus fungsi dari nanopartikel ZnO hasil sintesis hijau.
3. Menganalisis pengaruh *doping* Al terhadap hasil sintesis hijau nanopartikel ZnO
4. Mengevaluasi potensi kinerja nanopartikel ZnO hasil sintesis hijau untuk mendeteksi gas CO.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu:

1. Memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan dalam bidang sintesis hijau nanopartikel oksida logam, khususnya ZnO, dengan memanfaatkan biomassa lokal yang melimpah seperti daun kelapa sawit.
2. Memberikan alternatif material sensor gas berbasis nanopartikel ZnO yang memiliki respon dan sensitivitas tinggi.
3. Memberikan dukungan terhadap riset energi bersih dan pemantauan kualitas udara, terutama dalam mendeteksi gas-gas berbahaya yang berdampak besar terhadap kesehatan dan lingkungan.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada:

1. Sintesis nanopartikel ZnO dilakukan dengan pendekatan sintesis hijau (*green synthesis*).
2. Bahan alami yang digunakan adalah ekstrak daun kelapa sawit.
3. Aluminium (Al) digunakan sebagai doping untuk modifikasi material.

4. Karakterisasi material mencakup analisis struktur kristal, morfologi, ukuran partikel, distribusi ukuran, serta gugus fungsi yang dihasilkan untuk memastikan keberhasilan sintesis.
5. Pengujian sensor gas difokuskan pada gas CO dengan parameter utama respon dan sensitivitas sensor.
6. Analisis hasil penelitian hanya mencakup aspek material dan kinerja sensor.

