

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Kedelai (*Glycine max* L. Merrill.) merupakan salah satu komoditas pangan utama di Indonesia setelah padi dan Jagung. Masyarakat Indonesia memanfaatkan kedelai sebagai bahan pangan yang bernilai gizi tinggi sumber protein nabati, rendah kolesterol, dan relatif terjangkau (Sumbayak dan Gultom, 2020). Produk olahan kedelai seperti tahu, tempe, kecap merupakan hasil industri yang sangat familier di Indonesia. Begitu banyaknya nilai manfaat kedelai menjadikan komoditas ini mempunyai peluang pasar yang sangat besar dan potensi untuk terus dikembangkan (Herawati *et al.*, 2020).

Seiring dengan pertambahan jumlah penduduk, maka kebutuhan akan kedelai semakin meningkat, namun belum diikuti dengan peningkatan produksi kedelai (Ayuningtyas *et al.*, 2024). Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian (2024) melaporkan bahwa produksi nasional kedelai beberapa tahun terakhir berkisar antara 600-700 ribu ton/tahun, padahal kebutuhan kedelai mencapai 2 juta ton/tahun. Kondisi tersebut menyebabkan ketergantungan tinggi terhadap impor yang pada tahun 2024 mencapai sekitar 2,68 juta ton atau sekitar 85–90% dari total kebutuhan nasional (Badan Pusat Statistik, 2023).

Rendahnya produksi kedelai di Indonesia selain karena faktor iklim, ketersediaan lahan, kualitas lahan dan teknik budidaya, kehadiran gulma di sekitar tanaman juga merupakan faktor penyebab penurunan produksi kedelai (Imaniasita *et al.*, 2020). Gulma berkompetisi dengan tanaman kedelai dalam memperebutkan unsur hara, air, cahaya, karbon dioksida dan ruang tumbuh, sehingga dapat menurunkan pertumbuhan vegetatif dan hasil biji secara signifikan (Hakam, 2020). Apabila tidak dikendalikan secara efektif dan efisien, gulma dapat menyebabkan kehilangan hasil kedelai hingga mencapai 80% (Herawati *et al.*, 2020).

Pengendalian gulma dalam budidaya kedelai umumnya dilakukan secara kimia menggunakan herbisida karena lebih efisien dan praktis dibandingkan metode manual atau mekanis (Ayuningtyas *et al.*, 2024). Herbisida pratumuh seperti metolachlor dan pendimethalin banyak digunakan karena mampu mengendalikan

gulma sejak fase awal pertumbuhan. Metolachlor [*2chloro-N-(2-ethyl-6-methylphenyl)-N-(2-methoxy-1-methyl-ethyl) acetamide*] bekerja dengan menghambat sintesis asam lemak rantai panjang, sedangkan Pendimethalin [*N-(1-ethylpropil)-3,4-dimetil-2, 6-dinitrobenzen amina*] bekerja menghambat pembelahan sel melalui gangguan pembentukan mikrotubulus (Baidhawi, 2014). Lebih lanjut Rivard (2019) menambahkan metolachlor sangat efektif mengendalikan gulma berdaun lebar, teki dan rerumputan semusim, sedangkan pendimethalin efektif untuk mengendalikan gulma rerumputan dan mengendalikan gulma berdaun lebar yang berbiji kecil.

Penggunaan herbisida secara intensif dan berulang menimbulkan permasalahan lingkungan, terutama terkait dengan persistensi herbisida di dalam tanah. Persistensi herbisida merupakan kemampuan senyawa untuk bertahan dalam tanah sebelum terdegradasi yang sangat dipengaruhi oleh sifat kimia herbisida, kondisi lingkungan serta aktivitas mikroorganisme (Purba *et al.*, 2020). Persistensi yang tinggi berpotensi menyebabkan akumulasi residu, pencemaran lingkungan serta efek fitotoksik pada tanaman berikutnya (Kouame *et al.*, 2022).

Pendimethalin dikenal memiliki persistensi yang relatif tinggi di dalam tanah, dengan degradasi yang dipengaruhi oleh proses fotodegradasi, volatilisasi dan biodegradasi. Sementara itu, metolachlor memiliki karakteristik yang lebih dinamis, di mana persistensinya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan pengelolaan lahan (Luks *et al.*, 2021). Variasi ini menunjukkan bahwa dinamika herbisida di dalam tanah bersifat kompleks dan sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan (Vencill *et al.*, 2022).

Salah satu faktor penting yang mempengaruhi persistensi herbisida adalah kandungan bahan organik tanah. Bahan organik dapat meningkatkan adsorpsi herbisida sehingga menurunkan mobilitasnya, namun juga dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme yang berperan dalam degradasi herbisida. Penggunaan pupuk organik khususnya pupuk kandang sapi menjadi sangat relevan dalam sistem pertanian berkelanjutan (Rizal, 2020).

Pupuk kandang sapi tidak hanya berfungsi sebagai sumber unsur hara, tetapi juga mampu memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah seperti peningkatan pH, C-organik, kapasitas tukar kation (KTK) serta populasi mikroorganisme tanah

(Yulianti *et al.*, 2024). Keberadaan pupuk kandang sapi dapat meningkatkan aktivitas mikroba tanah yang berkontribusi terhadap proses dekomposisi dan siklus hara serta mempengaruhi proses adsorpsi dan degradasi herbisida (Handasari *et al.*, 2023). Peningkatan adsorpsi herbisida akibat bahan organik dapat menurunkan ketersediaan hayati herbisida bagi gulma, sehingga berpotensi menurunkan efektivitas pengendalian gulma (Harsono, 2018).

Peningkatan kandungan bahan organik akibat aplikasi pupuk kandang sapi dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi tanah terhadap herbisida, sehingga menurunkan konsentrasi herbisida dalam larutan tanah dan mempengaruhi ketersediaannya bagi gulma (Rizal, 2020). Peningkatan aktivitas mikroba akibat penambahan bahan organik juga dapat mempercepat degradasi herbisida, sehingga berpotensi menurunkan persistensi herbisida di dalam tanah. Interaksi ini menunjukkan adanya *trade-off* antara peningkatan adsorpsi dan percepatan degradasi yang pada akhirnya menentukan efektivitas dan persistensi herbisida pengendalian gulma (Hejazirad *et al.*, 2024).

Peran pupuk kandang sapi terhadap dinamika herbisida tidak bersifat linear. Di satu sisi, peningkatan bahan organik dapat mempercepat degradasi herbisida melalui aktivitas mikroba (James *et al.*, 2022). Di sisi lain, bahan organik juga dapat meningkatkan adsorpsi herbisida pada koloid tanah sehingga mengurangi mobilitas dan ketersediaan hayati (*bioavailability*) herbisida bagi gulma. Kondisi ini berpotensi menurunkan efektivitas pengendalian gulma meskipun residu herbisida masih terdapat di dalam tanah (Kanissery *et al.*, 2021).

Hasil penelitian Rizal (2020) menunjukkan bahwa pemberian bahan organik, termasuk pupuk kandang sapi dapat berinteraksi dengan aplikasi herbisida metolachlor dalam mempengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai secara signifikan. Temuan ini menunjukkan bahwa bahan organik tidak hanya berperan dalam memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah tetapi juga dapat memodifikasi perilaku herbisida di dalam tanah sehingga mempengaruhi efektivitas pengendalian gulma dan respons pertumbuhan tanaman.

Lebih lanjut, penelitian Baidhawi (2014) menunjukkan bahwa perbedaan kandungan bahan organik tanah dapat menyebabkan variasi persistensi herbisida

metolachlor dan pendimethalin yang signifikan tergantung pada dosis aplikasi dan kondisi tanah. Kandungan bahan organik yang tinggi dapat meningkatkan adsorpsi herbisida pada koloid tanah sehingga mengurangi mobilitasnya, namun pada saat yang sama juga berpotensi meningkatkan aktivitas mikroorganisme yang berperan dalam proses degradasi herbisida. Kondisi ini mengindikasikan respons herbisida terhadap bahan organik tidak bersifat linier, melainkan multi interaksi yang kompleks antara karakteristik herbisida, sifat tanah, aktivitas mikroba dan tingkat bahan organik.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian mengenai efektivitas dan persistensi herbisida metolachlor dan pendimethalin pada berbagai tingkat aplikasi pupuk kandang sapi menjadi penting untuk memahami mekanisme interaksi tersebut serta memperoleh teknologi pengendalian gulma yang efektif dan berkelanjutan pada budidaya kedelai.

1.2. Rumusan Permasalahan

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana pengaruh jenis herbisida metolachlor dan pendimethalin terhadap efektivitas pengendalian gulma, persistensi herbisida, pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai?
2. Bagaimana pengaruh aplikasi pupuk kandang sapi terhadap efektivitas pengendalian gulma, persistensi herbisida, pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai?
3. Apakah terdapat interaksi antara herbisida metolachlor dan pendimethalin dengan aplikasi pupuk kandang sapi terhadap efektivitas pengendalian gulma dan persistensi herbisida di tanah?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh pupuk kandang sapi terhadap efektivitas herbisida metolachlor dan pendimethalin dalam mengendalikan gulma pada tanaman kedelai dan mengkaji pengaruh pupuk kandang sapi terhadap persistensi herbisida di dalam tanah serta menganalisis interaksi antara jenis herbisida dan dosis pupuk kandang sapi terhadap efektivitas pengendalian gulma serta persistensi herbisida di tanah.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi ilmiah kepada penulis dan pembaca tentang pengaruh pupuk kandang sapi terhadap efektivitas dan persistensi herbisida dalam pengelolaan gulma pada budidaya kedelai berbasis pertanian berkelanjutan.

1.5. Kerangka Pemikiran

Penggunaan herbisida pratumh seperti metolachlor dan pendimethalin merupakan strategi yang umum digunakan dalam pengendalian gulma pada tanaman kedelai, terutama pada fase awal pertumbuhan yang kritis terhadap kompetisi. Kedua herbisida ini bekerja secara selektif dengan mekanisme yang berbeda, namun memiliki tujuan yang sama, yaitu menekan perkecambahan dan pertumbuhan awal gulma sehingga mengurangi kompetisi terhadap tanaman utama (Soltani *et al.*, 2019). Efektivitas herbisida dalam pengendalian gulma sangat ditentukan oleh kemampuan bahan aktif dalam mencapai target biologisnya, yang pada akhirnya dipengaruhi oleh dinamika herbisida di dalam tanah (Handasari *et al.*, 2023).

Di dalam tanah, herbisida mengalami berbagai proses seperti adsorpsi, desorpsi, degradasi kimia dan biodegradasi oleh mikroorganisme. Proses adsorpsi pada partikel tanah, terutama fraksi liat dan bahan organik, berperan dalam mengurangi mobilitas herbisida tetapi juga dapat menurunkan ketersediaan hayati (*bioavailability*) bagi gulma (Hejazirad *et al.*, 2024). Proses degradasi, baik secara kimia maupun biologis, menentukan lamanya herbisida bertahan di dalam tanah yang dikenal sebagai persistensi (Kouame *et al.*, 2022).

Persistensi herbisida memiliki hubungan yang kompleks dengan efektivitas pengendalian gulma. Persistensi yang cukup diperlukan agar herbisida dapat memberikan efek pengendalian optimal pada periode kritis tanaman. Namun, persistensi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan akumulasi residu dan potensi fitotoksisitas, sedangkan persistensi yang terlalu rendah menyebabkan herbisida terdegradasi sebelum efektif menekan gulma (Silva *et al.*, 2019).

Peran pupuk kandang sapi sebagai sumber bahan organik menjadi sangat penting karena mampu meningkatkan kandungan bahan organik tanah, memperbaiki

struktur tanah serta meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah (Tanzil *et al.*, 2024). Peningkatan aktivitas mikroba ini berperan dalam mempercepat biodegradasi herbisida sehingga berpotensi menurunkan tingkat persistensinya (Roidah *et al.*, 2023).

Pengaruh pupuk kandang sapi terhadap dinamika herbisida tidak bersifat linear. Selain meningkatkan degradasi, bahan organik juga meningkatkan kapasitas adsorpsi tanah terhadap herbisida, yang dapat menurunkan ketersediaan hayati herbisida bagi gulma (Handasari *et al.*, 2023). Kondisi ini menunjukkan adanya *trade-off* antara persistensi dan efektivitas herbisida.

Interaksi antara herbisida dan pupuk kandang sapi mempengaruhi hubungan antara persistensi dan pertumbuhan tanaman kedelai. Persistensi yang tinggi berisiko menyebabkan fitotoksisitas, sedangkan persistensi yang rendah dapat menyebabkan kegagalan pengendalian gulma. Pertumbuhan dan hasil kedelai merupakan hasil keseimbangan antara efektivitas pengendalian gulma dan tingkat residu herbisida di dalam tanah (Silva *et al.*, 2019). Selain itu, pupuk kandang sapi juga dapat mempengaruhi dinamika gulma secara tidak langsung melalui peningkatan ketersediaan unsur hara dan potensi penambahan bank benih gulma di dalam tanah (Sumbayak *et al.*, 2020).

Secara keseluruhan, interaksi antara herbisida, tanah, dan pupuk kandang sapi menunjukkan bahwa pengendalian gulma merupakan sistem yang kompleks dan saling terintegrasi. Oleh karena itu, pendekatan yang integratif diperlukan untuk memahami hubungan antara efektivitas dan persistensi herbisida, sehingga dapat dihasilkan strategi pengelolaan gulma yang lebih efektif dan berkelanjutan.

1.6. Hipotesis

1. Herbisida metolachlor dan pendimethalin berpengaruh terhadap efektivitas pengendalian gulma pada budidaya tanaman kedelai.
2. Aplikasi pupuk kandang sapi berpengaruh terhadap efektivitas pengendalian gulma dan persistensi herbisida pada budidaya tanaman kedelai.
3. Terdapat interaksi antara herbisida metolachlor dan pendimethalin dengan aplikasi pupuk kandang sapi terhadap efektivitas pengendalian gulma dan persistensi herbisida dalam tanah pada budidaya kedelai.