

Interaksi Herbisida dan Pupuk Kandang Sapi terhadap Efektivitas Pengendalian Gulma dan Persistensi pada Kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.)

Interaction of Herbicides and Cattle Manure on Weed Control Effectiveness and Persistence in Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.)

Irgunawan^{1*}, Baidhawi¹, Laila Nazirah¹

¹(Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Malikussaleh, Aceh Utara, Indonesia.

*corresponding author, email: baidhawi@unimal.ac.id

ABSTRAK

Pengendalian gulma dengan meminimalisasi pengolahan tanah merupakan strategi penting dalam mendukung sistem budidaya kedelai berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan menganalisis interaksi jenis herbisida dan dosis pupuk kandang sapi terhadap efektivitas pengendalian gulma, perubahan aktivitas biologis herbisida selama periode pengamatan, serta bobot biji dan hasil kedelai. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan dua faktor dan tiga ulangan. Faktor pertama adalah jenis herbisida pada tiga taraf, yaitu J0 = tanpa herbisida, J1 = metolachlor, dan J2 = pendimethalin. Faktor kedua adalah pupuk kandang sapi pada tiga taraf, yaitu P0 = 0, P1 = 10, dan P2 = 15 ton/ha, masing-masing setara dengan 0, 6, dan 9 kg/plot. Hasil menunjukkan adanya interaksi sangat nyata antara jenis herbisida dan pupuk kandang sapi terhadap populasi gulma pada 42 HST, bobot kering gulma pada 21 dan 42 HST, bobot biji per petak, dan hasil produksi per hektar, serta interaksi nyata terhadap populasi gulma pada 21 HST. Kombinasi J2P2 menghasilkan bobot biji dan hasil produksi tertinggi, masing-masing 91,60 g per petak dan 1,83 ton/ha. Efektivitas pengendalian gulma menurun dari 21 ke 42 HST pada perlakuan herbisida. Dengan demikian, perubahan aktivitas herbisida selama pengamatan ditafsirkan secara terbatas berdasarkan respons bioassay dan bukan sebagai pengukuran residu kimia secara langsung.

Kata kunci: herbisida; pupuk kandang sapi; pengendalian gulma; persistensi; kedelai

ABSTRACT

Weed control involving minimal tillage is an important strategy for supporting sustainable soybean cultivation. This study aimed to analyze the interaction between herbicide type and cattle manure rate on weed-control effectiveness, changes in herbicide biological activity during the observation period, and soybean seed weight and yield. A factorial Randomized Complete Block Design (RCBD) with two factors and three replications was used. The first factor was herbicide type at three levels: J0 = no herbicide, J1 = metolachlor, and J2 = pendimethalin. The second factor was cattle manure at three levels: P0 = 0, P1 = 10, and P2 = 15 tons/ha, equivalent to 0, 6, and 9 kg/plot, respectively. The results showed highly significant interactions between herbicide type and cattle manure rate for weed population at 42 days after planting (DAP), weed dry weight at 21 and 42 DAP, seed weight per plot, and yield per hectare, and a significant interaction for weed population at 21 DAP. The J2P2 combination produced the highest seed weight and yield, 91.60 g per plot and 1.83 tons/ha, respectively. Herbicide effectiveness declined from 21 to 42 DAP; therefore, changes in herbicide activity were interpreted cautiously from the bioassay response rather than as a direct measurement of chemical residue.

Keywords: herbicide; cattle manure; weed control; persistence; soybean

PENDAHULUAN

Kedelai merupakan salah satu komoditas pangan penting dan sumber utama protein nabati. Kebutuhan kedelai nasional belum mampu dipenuhi oleh produksi dalam negeri sehingga impor masih diperlukan (Badan Pusat Statistik, 2023). Persaingan dengan gulma merupakan salah satu faktor yang membatasi produktivitas kedelai karena gulma bersaing dengan tanaman kedelai dalam memperoleh air, unsur hara, cahaya, karbon dioksida, dan ruang tumbuh. Persaingan tersebut dapat menurunkan hasil biji secara signifikan (Herawati *et al.*, 2020).

Pengendalian gulma secara kimiawi banyak digunakan dalam budidaya kedelai karena mampu menekan pertumbuhan gulma secara efisien. Namun, penggunaan herbisida secara berulang berkaitan dengan keberadaan bahan aktif yang dapat bertahan di dalam tanah. Persistensi herbisida dipengaruhi oleh sifat kimia herbisida, kondisi lingkungan, karakteristik tanah, dan aktivitas mikroba (Purba *et al.*, 2020). Oleh karena itu, efektivitas dan persistensi perlu dibedakan. Efektivitas menggambarkan kemampuan herbisida dalam menekan gulma pada waktu pengamatan tertentu, sedangkan persistensi berkaitan dengan lamanya aktivitas biologis herbisida berlangsung.

Bahan organik tanah merupakan salah satu faktor yang dapat memengaruhi perilaku herbisida. Pupuk kandang sapi dapat memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah (Yulianti *et al.*, 2024), sedangkan perubahan kandungan bahan organik dapat memengaruhi adsorpsi, mobilitas, ketersediaan hayati, dan degradasi herbisida (Rizal, 2020; Hejazirad *et al.*, 2024). Arah dan besarnya pengaruh tersebut bergantung pada jenis herbisida, sifat tanah, dan aktivitas mikroba, sehingga peningkatan bahan organik tidak selalu menghasilkan respons yang seragam (James *et al.*, 2022).

Penelitian sebelumnya telah melaporkan adanya interaksi antara pemberian bahan organik dan metolaklor dalam budidaya kedelai serta perbedaan persistensi metolaklor dan pendimetalin pada kondisi tanah yang berbeda (Rizal, 2020; Baidhawi, 2014). Namun, informasi mengenai interaksi antara dosis pupuk kandang sapi dengan penggunaan metolaklor atau pendimetalin dalam pengendalian gulma pada tanaman kedelai masih terbatas, terutama apabila efektivitas pengendalian dievaluasi bersamaan dengan hasil kedelai. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada interaksi jenis herbisida dan dosis pupuk kandang sapi dengan mengevaluasi respons berupa populasi gulma, bobot kering gulma, efektivitas herbisida, aktivitas biologis herbisida selama periode pengamatan, bobot biji per petak, dan hasil per hektar.

Penelitian ini bertujuan menganalisis interaksi jenis herbisida dan dosis pupuk kandang sapi terhadap efektivitas pengendalian gulma, perubahan aktivitas biologis herbisida selama periode pengamatan, serta bobot biji per petak dan hasil kedelai.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di lahan percobaan SMKPP Dinas Pertanian dan Perkebunan Aceh, Desa Paya Lipah, Kecamatan Peusangan, Kabupaten Bireuen, pada ketinggian sekitar 6 m dpl. Analisis pendukung dilakukan di Laboratorium Pertanian Terintegrasi Universitas Malikussaleh dan Laboratorium Penelitian Tanah dan Tanaman Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh. Penelitian berlangsung pada April–September 2025.

Bahan dan Alat

Bahan penelitian meliputi benih kedelai varietas Kipas Merah Bireuen, herbisida metolachlor dan pendimethalin, pupuk kandang sapi, pupuk urea, SP-36, dan KCl. Insektisida deltametrin dan fungisida mankozeb digunakan untuk pengendalian hama dan penyakit. Peralatan utama meliputi knapsack sprayer, nosel biru berdiameter 1,5 mm, oven, timbangan, meteran, kuadrat 0,5 m × 0,5 m, dan peralatan pendukung lainnya.

Rancangan Penelitian

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan dua faktor dan tiga ulangan. Faktor pertama adalah jenis herbisida: J0 = tanpa herbisida, J1 = metolachlor, dan J2 = pendimethalin. Faktor kedua adalah pupuk kandang sapi: P0 = 0 ton/ha, P1 = 10 ton/ha (6 kg/plot), dan P2 = 15 ton/ha (9 kg/plot). Dosis atau konsentrasi formulasi herbisida tidak tercantum dalam dokumen sumber yang direvisi. Informasi tersebut wajib dilengkapi berdasarkan catatan pelaksanaan penelitian asli sebelum naskah dikirimkan untuk publikasi karena merupakan informasi penting untuk replikasi penelitian.

Pelaksanaan Penelitian

Analisis vegetasi gulma awal dilakukan sebelum pengolahan lahan menggunakan metode kuadrat. Kuadrat berukuran 0,5 m × 0,5 m ditempatkan secara acak untuk mengamati jenis dan jumlah gulma serta parameter vegetasi yang diperlukan. Pupuk kandang sapi diberikan sesuai dosis perlakuan, kemudian dilakukan pengolahan tanah kedua. Penanaman dilakukan denganugal sedalam sekitar 3 cm pada jarak 35 cm × 35 cm, dengan tiga benih kedelai pada setiap lubang tanam.

Herbisida diaplikasikan satu kali setelah penanaman benih kedelai pada petak sesuai perlakuan. Kalibrasi dilakukan sebelum penyemprotan dan diperoleh volume semprot 500 L/ha. Penyemprotan menggunakan knapsack sprayer Matabi dengan nosel biru berdiameter 1,5 mm pada pagi hari, dengan waktu aplikasi yang dipertahankan sama untuk seluruh perlakuan herbisida. Dosis bahan aktif atau formulasi herbisida perlu dilengkapi berdasarkan catatan pelaksanaan penelitian asli.

Peubah Pengamatan

Peubah yang diamati meliputi populasi gulma, bobot kering gulma, efektivitas pengendalian, aktivitas biologis herbisida, bobot biji per petak, dan hasil produksi per hektar. Populasi gulma diamati pada 21 dan 42 HST pada dua kuadrat contoh berukuran 0,5 m × 0,5 m per petak. Gulma dihitung dan dikelompokkan menjadi berdaun lebar, teki, dan rerumputan. Bobot kering gulma diukur pada waktu yang sama. Gulma dicabut, dipisahkan menurut kelompok, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 70 °C selama 48 jam atau sampai bobot konstan dan ditimbang. Efektivitas pengendalian dihitung dari bobot kering gulma menggunakan rumus $E = ((C - T)/C) \times 100\%$, dengan C sebagai bobot kering pada kontrol tanpa herbisida dan T sebagai bobot kering pada perlakuan herbisida. Nilai efektivitas negatif menunjukkan bahwa bobot kering gulma pada perlakuan lebih tinggi daripada kontrol. Aktivitas biologis herbisida selama periode pengamatan dievaluasi secara tidak langsung melalui respons bobot kering gulma pada 21 dan 42 HST. Pengukuran ini bukan analisis kimia residu dan tidak digunakan untuk menghitung half-life. Bobot biji per petak diperoleh dari hasil panen tanaman pada petak, sedangkan hasil produksi dikonversi ke ton/ha.

Analisis data

Data dianalisis menggunakan Analysis of Variance (ANOVA) dengan software CoStat. Apabila terdapat pengaruh nyata atau sangat nyata, perbedaan antarperlakuan diuji menggunakan Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 5%. Interpretasi interaksi didasarkan pada hasil uji lanjut dan perbandingan nilai antar-kombinasi perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Populasi Gulma

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa interaksi jenis herbisida dan pupuk kandang sapi berpengaruh nyata terhadap populasi gulma rerumputan pada 21 HST dan sangat nyata pada 42 HST. Data interaksi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Populasi gulma rerumputan pada 21 dan 42 HST akibat interaksi jenis herbisida dan pupuk kandang sapi.

		P0	P1	P2
21	J0	5,55a A		
	J1	3,06b B	3,20b B	4,90a A
42	J2	2,53c C	3,70b B	4,62a A
	J0	5,68a A	9,02b A	10,10a A
42	J1	5,29a A	5,47a B	7,36a B
	J2	4,96b A	6,08a B	6,27a B

Keterangan: Angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada baris yang sama dan huruf besar yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut uji BNT 5%. J0 = tanpa herbisida, J1 = metolachlor, J2 = pendimethalin, P0 = 0 ton/ha, P1 = 10 ton/ha (6 kg/plot), dan P2 = 15 ton/ha (9 kg/plot).

Berdasarkan Tabel 1, populasi gulma tertinggi terdapat pada J0P2, yaitu 5,55 individu/0,25 m² pada 21 HST dan 10,10 individu/0,25 m² pada 42 HST. Populasi terendah terdapat pada J2P0, yaitu 2,53 individu/0,25 m² pada 21 HST dan 4,96 individu/0,25 m² pada 42 HST. Pola ini menunjukkan bahwa tanpa herbisida, penambahan pupuk kandang dapat menyediakan kondisi tumbuh yang mendukung gulma. Peningkatan bahan organik dapat memperbaiki struktur tanah, kapasitas menahan air, dan ketersediaan hara, sehingga gulma memperoleh lingkungan tumbuh yang lebih mendukung (Roidah *et al.*, 2023).

Pada J2P0, rendahnya populasi gulma menunjukkan efektivitas pendimethalin pada kondisi tanpa tambahan pupuk kandang. Ketika pupuk kandang diberikan, populasi gulma cenderung meningkat pada perlakuan herbisida. Kondisi ini dapat berkaitan dengan perubahan adsorpsi dan bioavailabilitas herbisida akibat peningkatan bahan organik tanah. Namun, karena sifat tanah dan kadar bahan aktif tidak diukur secara langsung pada penelitian ini, mekanisme tersebut perlu dipandang sebagai penjelasan yang mungkin, bukan sebagai hasil yang diukur langsung.

Efektivitas

Interaksi jenis herbisida dan pupuk kandang sapi menunjukkan adanya perbedaan efektivitas pengendalian gulma pada 21 dan 42 HST. Nilai efektivitas yang dihitung dari bobot kering gulma disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Bobot kering gulma dan efektivitas pengendalian pada 21 dan 42 HST.

Perlakuan	Nilai Efektivitas Herbisida			
	21 HST		42 HST	
	Bobot Kering (g)	Nilai Efektivitas (%)	Bobot Kering (g)	Nilai Efektivitas (%)
J0P0	471	0,00	597	0,00
J0P1	493	-4,67	737	-23,45
J0P2	510	-8,28	1085	-81,74
J1P0	220	53,29	371	37,86
J1P1	285	39,49	537	10,05
J1P2	408	13,38	573	4,02
J2P0	218	53,72	445	25,46
J2P1	318	32,48	512	14,24
J2P2	426	9,55	529	11,39

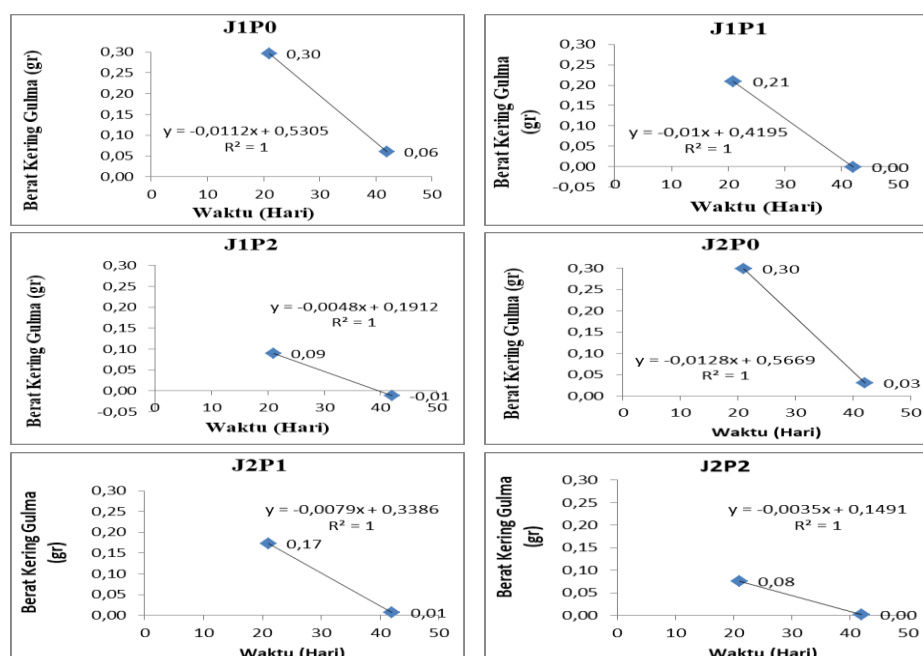
Keterangan: J0= anpa herbisida, J1=metolachlor, J2=pendimethalin, P0=0 ton/ha, P1=10 ton/ha (6 kg/plot), dan P2=15 ton/ha (9 kg/plot).

Berdasarkan Tabel 2, efektivitas J1P0 menurun dari 53,29% pada 21 HST menjadi 37,86% pada 42 HST, sedangkan J2P0 menurun dari 53,72% menjadi 25,46%. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa kemampuan pengendalian gulma yang terukur melalui bobot kering berkurang selama periode pengamatan. Pada perlakuan tanpa herbisida, pupuk kandang meningkatkan bobot kering gulma sehingga nilai efektivitas menjadi negatif. Dengan demikian, respons terhadap pupuk kandang tidak dapat dipisahkan dari keberadaan herbisida dan waktu pengamatan.

Pada 21 HST, J2P0 memberikan efektivitas tertinggi (53,72%), sedikit lebih tinggi daripada J1P0 (53,29%). Namun, pada 42 HST, J1P0 memiliki efektivitas 37,86%, sedangkan J2P0 sebesar 25,46%. Hasil ini menunjukkan bahwa pendimethalin tidak dapat dinyatakan lebih persisten daripada metolachlor hanya berdasarkan nilai efektivitas pada dua waktu pengamatan. Perbedaan respons tersebut dapat dipengaruhi oleh sifat herbisida, kondisi tanah, adsorpsi, degradasi, faktor lingkungan. Tetapi faktor-faktor tersebut tidak diukur secara langsung dalam penelitian ini.

Persistensi Herbisida

Persistensi Aktivitas Herbisida Berdasarkan Bioassay Untuk mengevaluasi perubahan aktivitas biologis herbisida selama periode pengamatan, respons bobot kering gulma pada 21 dan 42 HST digunakan sebagai indikator tidak langsung. Pendekatan ini berbeda dari analisis residu kimia, sehingga hasilnya tidak digunakan untuk menghitung half-life atau laju degradasi bahan aktif.



Gambar 1. Hubungan antara jenis herbisida dan aplikasi pupuk kandang sapi terhadap bobot kering gulma.

Pada J1P0, bobot kering gulma pada bioassay menurun dari sekitar 0,30 g menjadi 0,06 g pada periode pengamatan. Pada J1P1 dan J1P2, respons juga menurun, masing-masing dari sekitar 0,21 g menjadi 0,00 g dan dari 0,09 g menjadi sekitar -0,01 g pada grafik. Nilai negatif pada titik grafik merupakan hasil ekstrapolasi persamaan linear dan bukan bobot kering aktual; karena itu, interpretasi utama didasarkan pada arah perubahan respons, bukan nilai ekstrapolasi. Pada J2P0, bobot kering gulma pada grafik menurun dari sekitar 0,30 g menjadi 0,03 g. Pada J2P1 dan J2P2, penurunan juga terlihat dari sekitar 0,17 menjadi 0,01 g dan 0,08 menjadi 0,00 g. Pola tersebut menunjukkan perubahan respons biologis gulma terhadap aktivitas herbisida selama pengamatan. Namun, karena hanya terdapat dua titik waktu dan tidak ada pengukuran konsentrasi residu secara kimia, kemiringan garis dan nilai R^2 tidak dapat digunakan sebagai bukti kuantitatif persistensi atau degradasi bahan aktif.

Perbandingan antarperlakuan menunjukkan bahwa besarnya penurunan bobot kering gulma tidak identik dengan lamanya residu herbisida di dalam tanah. Karena itu, pernyataan sebelumnya bahwa pendimethalin memiliki persistensi paling lama berdasarkan persamaan regresi tidak dipertahankan. Hasil penelitian hanya mendukung kesimpulan bahwa aktivitas pengendalian gulma berubah selama periode pengamatan dan respons tersebut dipengaruhi oleh kombinasi jenis herbisida dan pupuk kandang. Pengaruh bahan organik terhadap adsorpsi dan degradasi herbisida secara teoritis dapat menjelaskan perbedaan respons antarperlakuan. Namun, penelitian ini tidak mengukur kadar bahan aktif dalam tanah, Koc, KTK, atau laju degradasi secara langsung. Oleh sebab itu, mekanisme adsorpsi, pelepasan, dan biodegradasi dibahas sebagai kemungkinan yang didukung literatur, bukan sebagai temuan yang diukur langsung.

Dengan demikian, Gambar 1 digunakan untuk memperlihatkan perubahan respons bioassay dari waktu ke waktu, bukan sebagai kurva konsentrasi residu herbisida. Nilai $R^2 = 1$ yang tercantum pada grafik tidak dijadikan dasar penetapan persistensi karena jumlah titik pengamatan yang terbatas tidak cukup untuk mengestimasi parameter kinetika. Pendekatan bioassay memberikan informasi mengenai aktivitas biologis yang masih dapat terdeteksi, tetapi belum dapat menentukan half-life atau persistensi kimia secara definitif. Penelitian lanjutan dengan lebih banyak titik waktu dan analisis residu bahan aktif di tanah diperlukan untuk menentukan laju degradasi dan half-life secara kuantitatif.

Bobot Biji per Petak dan Hasil Produksi per Hektar

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa interaksi jenis herbisida dan pupuk kandang sapi berpengaruh sangat nyata terhadap bobot biji per petak dan hasil produksi per hektar. Data interaksi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Bobot biji per petak dan hasil produksi per hektar akibat interaksi jenis herbisida dan pupuk kandang sapi.

Jenis Herbisida (J)	Pupuk Kandang Sapi (P)		
	P0	P1	P2
J0	49,32b A	50,70b B	53,80a C
J1	61,56a A	67,70a A	75,00a B
J2	59,50c A	70,40b A	91,60a A
J0	0,99a C	1,01a C	1,08a C
J1	1,23b A	1,35a B	1,50a B
J2	1,19c B	1,41b A	1,83a A

Keterangan: Berdasarkan sidik ragam, $J \times P$ teruji sangat nyata. Angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada baris yang sama dan huruf besar yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut uji BNT 5%. J0 = tanpa herbisida, J1 = metolachlor, J2 = pendimethalin, P0 = 0 ton/ha, P1 = 10 ton/ha (6 kg/plot), dan P2 = 15 ton/ha (9 kg/plot).

Tabel 3 menunjukkan bahwa J2P2 menghasilkan bobot biji per petak tertinggi, yaitu 91,60 g, dan hasil produksi tertinggi, yaitu 1,83 ton/ha. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan J1P2 (75,00 g dan 1,50 ton/ha) serta J0P2 (53,80 g dan 1,08 ton/ha). Peningkatan hasil pada kombinasi J2P2 konsisten dengan rendahnya populasi dan bobot kering gulma pada perlakuan pendimethalin, sehingga kompetisi gulma terhadap tanaman kedelai dapat ditekan.

Pupuk kandang sapi dapat memperbaiki kondisi fisik dan kimia tanah serta meningkatkan ketersediaan unsur hara. Dalam penelitian ini, peningkatan hasil pada P2 menunjukkan bahwa pemberian 15 ton/ha pupuk kandang sapi memberikan respons hasil tertinggi ketika dikombinasikan dengan pendimethalin. Mekanisme seperti peningkatan kapasitas tukar kation, aktivitas mikroba, dan ketersediaan hara dapat berkontribusi terhadap respons tersebut, tetapi parameter-parameter tersebut tidak seluruhnya diukur secara langsung sehingga interpretasinya perlu dibatasi sebagai penjelasan yang mungkin (Hanafiah, 2019; Nurhayati *et al.*, 2021).

Hasil yang lebih tinggi pada J2P2 juga dapat dikaitkan dengan berkurangnya kompetisi gulma terhadap cahaya, air, dan unsur hara selama pertumbuhan kedelai. Secara fisiologis, kondisi kompetisi yang lebih rendah dapat mendukung pembentukan dan translokasi fotosintat ke organ reproduktif (Lakitan, 2020). Namun, laju fotosintesis dan translokasi fotosintat tidak diukur secara langsung dalam penelitian ini, sehingga mekanisme tersebut tidak dapat dinyatakan sebagai hasil pengukuran.

Ketersediaan N, P, dan K dari pupuk kandang dan pupuk anorganik juga dapat mendukung pertumbuhan dan pembentukan hasil. Fosfor berperan dalam transfer energi, sedangkan kalium berperan dalam berbagai proses fisiologis dan translokasi hasil fotosintesis. Pembahasan ini digunakan untuk menjelaskan kemungkinan mekanisme peningkatan hasil dan tidak dimaksudkan sebagai bukti langsung perubahan kadar hara tanaman.

KESIMPULAN

Interaksi jenis herbisida dan pupuk kandang sapi memengaruhi populasi gulma, bobot kering gulma, bobot biji per petak, dan hasil kedelai. Kombinasi J2P2, yaitu pendimethalin dan pupuk kandang sapi 15 ton/ha (9 kg/plot), menghasilkan bobot biji per petak tertinggi sebesar 91,60 g dan hasil produksi tertinggi sebesar 1,83 ton/ha. Efektivitas pengendalian gulma pada perlakuan herbisida menurun dari 21 ke 42 HST, menunjukkan bahwa aktivitas pengendalian yang terukur melalui bobot kering gulma berkurang selama periode pengamatan. Berdasarkan metode bioassay yang digunakan, penelitian ini belum dapat menetapkan half-life atau persistensi kimia metolachlor dan pendimethalin secara definitif. Penelitian ini juga tidak melakukan analisis ekonomi, sehingga efisiensi ekonomi kombinasi perlakuan belum dapat disimpulkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayuningtyas, S., Respatie, D. W., Kastono, D. (2024). Pengaruh Dosis Herbisida Pratumbuh pendimethalin terhadap Gulma dan Hasil Kedelai. *Vegetalika*, 13 (4): 308–318.
- Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia. (2023). Press Release Angka Ramalan (ARAM) IX Produksi Padi, Jagung dan Kedelai Tahun 2021. Badan Pusat Statistik, Jakarta.
- Baidhawi. (2014). Persistensi Herbisida metolachlor pada Tanah yang Berbeda Kandungan Bahan Organik. *Jurnal Budidaya Pertanian*. 10 (1): 59 – 65.
- Hanafiah, K. A. (2019). *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Hejazirad, S. P., de Abreu, C. M., Carneiro, G. H. F., Gomes, C. R., Spinola Filho, P. R. C., da Costa, M. R., dos Santos, J. B. (2024). The impact of metolachlor applications and phytoremediation processes on soil microorganisms: Insights from functional metagenomics analysis. *Journal of Xenobiotics*, 14 (3), 970–988.
- Herawati, Jajuk, Indarwati, I., Thohiron, M., Prasetyo, H. (2020). The Impact of Road Light on Growth and Result of Soybean Plant. *Agrotech Journal*, 5 (2), 107–114.
- James, T. K., Ghanizadeh, H., Harrington, K. C., Bolan, N. S. (2022). The leaching behaviour of herbicides in cropping soils amended with forestry biowastes. *Environmental Pollution*, 307, 119466.
- Lakitan, B. (2020). *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Luks, A. K., Zegarski, T., Nowak, K. M., Miltner, A., Kästner, M., Matthies, M., Schmidt, B., Schäffer, A. (2021). Fate of pendimethalin in Soil and Characterization of Non-Extractable Residues (NER). *Science of The Total Environment*, 753:141870.
- Mayendra, M., Lubis, K.S., Hidayat, B. (2019). Ketersediaan Hara Fosfor Akibat Pemberian Biochar Sekam Padi dan Pupuk Kandang Sapi pada Inceptisol Kuala Bekala. *Jurnal Pertanian Tropik*, 6 (2): 287–293.
- Nugroho, A., Widaryanto, E., Sebayang, H. T. (2022). Persistensi Herbisida pada Berbagai Tekstur Tanah dan Pengaruhnya terhadap Tanaman Kedelai. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 9 (2): 311–320.

- Nurhayati, N., Hasanuddin, Arabia, T. (2021). Pengaruh Bahan Organik terhadap Aktivitas Mikroba dan Kesuburan Tanah. *Jurnal Agrista*, 25 (3): 150–159.
- Purba, E., Chairani, E., Hidayat, R. (2020). Respons Gulma dan Kedelai terhadap Aplikasi Herbisida Pra-Tanam. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 48 (1): 75-82.
- Qaimah, Z., Hafsa, S., Hasanuddin. (2022). Efektivitas pendimethalin dan Sulfentrazone pada Berbagai Taraf Dosis terhadap Pertumbuhan dan Perubahan Komposisi Gulma pada Tanaman Kedelai (*Glycine max* L. Merrill). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7 (4): 260-266.
- Rao, V. S. 2022. Principle Of Weed Science 5nd Eds. Science Publisher, Inc. USA.
- Rivard, L. (2019). Environmental fate of metolachlor. Environmental Monitoring Branch. Department of Pesticide Regulation. Sacramento.
- Rizal, A. (2020). Pengaruh berbagai bahan organik dan aplikasi herbisida metolachlor terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai. *Agroland: Jurnal Ilmu-ilmu Pertanian*, 13 (3), 228–233.
- Roidah, I.S., Suryanto, A., Wicaksono, K.P. (2023). Peranan Pupuk Organik dalam Meningkatkan Kesuburan Tanah dan Pertumbuhan Tanaman. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 10 (1): 77–86.
- Singh, R., and Singh, G. (2020). Effect of pendimethalin on Development of Soil Microorganisms and Herbicide Persistence. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 102 (9): 439–454.
- Sutrisno, A., and Ardiansyah, R. (2020). Efektivitas Herbisida Pra-tumbuh dalam Pengendalian Gulma pada Lahan Kedelai. *Jurnal Agroteknologi Tropika*, 8 (1), 22–29.
- Tursina, R., Prawoto, D., Nurhayati, E. (2018). Pengaruh Kandungan Bahan Organik terhadap Efektivitas Herbisida Pra-tumbuh. *Agrivita*, 40 (3), 415–422.
- Yulianti, N. D., Ariessandi, A. L., Purwanti, N. K. D., Meidina, A. A., Erika. (2024). Kompos dan pupuk kandang memperbaiki karakteristik subsoil di kebun lemon BSIP Jestro, Desa Tlekung, Kota Batu. *Agroinotek: Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*, 6 (1): 73-89.
- Zhang, H., Li, Y., Wang, L., Chen, J. (2022). Influence of soil texture on the environmental behavior and fate of hydrophobic pesticides. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 45177–45192.