

DISTRIBUSI HERBISIDA GLIFOSAT DI DALAM TANAH DAN PENGARUHNYA TERHADAP CIRI TANAH SERTA PERTUMBUHAN KEDELAI

Oleh :
S. Setyo Wardoyo*, Oteng Haridjaja**, dan Widiatmaka**

ABSTRACT

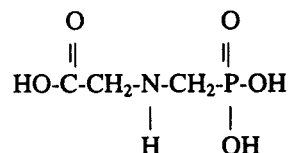
GLYPHOSATE DISTRIBUTION IN SOIL AND ITS EFFECTS ON SOIL CHARACTERISTICS AND SOYBEAN GROWTH

The study on glyphosate distribution in soil is important because it can contribute knowledge about the fate of herbicide in soil. The objectives this study were: (i) to determine the distribution pattern of glyphosate infiltrated to the soil, (ii) to determine the effects of glyphosate residues on soil characteristics and soybean growth. Five dosages of glyphosate (0, 1, 2, 3, 4 kg/ha) were applied to 15 plots on Typic Dystrudept Darmaga soil which then planted with soybean. The experiment was arranged in a randomized complete block design with three replications. The results showed that the distribution of glyphosate in soil was mostly influenced by soil texture, especially clay content. The field experiment showed that until a three-week period, on the two upper layers of clay soil, residues of glyphosate increased with the increased dosages of glyphosate. After a six-week period, residues of glyphosate on two upper layers decreased. The effects of residual glyphosate increased the P-Bray I, Mg, N-Total content, and height, shoot dry-weight, and seed dry-weight of soybean, and decreased the Fe-DTPA, Ca, total of microorganisms, Rhizobium bacteria and phospho-solubilizing bacteria in soil.

ABSTRAK

Herbisida glifosat di dalam tanah penting untuk diteliti keberadaannya, karena dapat memberikan kontribusi terhadap pengetahuan tentang nasib (*fate*) herbisida di dalam tanah. Tujuan penelitian ini ialah: (i) Mengetahui pola sebaran herbisida glifosat yang terinfiltrasi ke dalam tanah; (ii) Mengetahui pengaruh residu herbisida glifosat terhadap ciri tanah dan pertumbuhan kedelai. Percobaan lapang, menggunakan lima level dosis glifosat (0, 1, 2, 3 dan 4 kg/ha) yang diaplikasikan pada 15 petak tanah Typic Dystrudept Darmaga yang telah ditumbuhi gulma dan selanjutnya ditanami kedelai. Rancangan perlakuan yang dipergunakan adalah rancangan acak kelompok, dengan ulangan tiga kali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi glifosat di dalam tanah sangat ditentukan oleh tekstur tanah, terutama kadar liatnya. Penelitian lapang menunjukkan bahwa sampai dengan minggu ke-3, residu glifosat dalam tanah pada dua lapisan teratas semakin meningkat dengan meningkatnya dosis glifosat. Pada minggu ke-6, residu di kedua lapisan mulai menurun. Semakin tinggi penambahan dosis glifosat, P-Bray I, Mg, N-Total, tinggi tanaman kedelai, bobot basah tanaman kedelai dan bobot kering biji kedelai semakin meningkat; sebaliknya Fe-DTPA, Ca, total koloni mikroorganisme, bakteri *Rhizobium*, mikroorganisme pelarut P semakin menurun di dalam tanah.

waktu pra-tumbuh (*pre-emergence*) dan pasca-tumbuh (*post-emergence*). Rumus kimia glifosat adalah $C_3H_8NO_5P$ atau ditulis $COOH-CH_2-NH_2^+-CH_2-HPO_3^-$ (Knuuttila dan Knuuttila, 1985), yang mempunyai struktur kimia seperti Gambar 1 (Beste, 1983) dan mempunyai bobot molekul 169,07. Glifosat diserap oleh daun dan bagian-bagian tanaman lainnya, kemudian terangkut melalui floem. Cara kerja glifosat adalah menghambat kerja enzim 5-enolpyruvil-shikimate-3-phosphate sintase (EPSPS) dalam pembentukan asam amino aromatik seperti triptofan, tirosin dan fenil alanin (Karyanto, 1996). Belakangan diketahui bahwa glifosat juga dapat membunuh bakteri, karena sebagian besar dari bakteri mempunyai enzim EPSPS (Wiersema, Burns dan Hershberger, 1999).



Gambar 1. Struktur kimia glifosat (Beste, 1983)

Kata kunci: Glifosat, EPSPS, liat, ciri tanah

PENDAHULUAN

Glifosat merupakan herbisida *non-selektif* berspektrum luas yang dapat mengendalikan gulma semusim maupun tahunan di daerah tropika pada

Penggunaan herbisida glifosat terus meningkat sejak dikembangkannya program budidaya pertanian olah tanah konservasi (OTK) di lahan kering tahun 1987, sejalan dengan upaya peningkatan produksi pangan, serat dan bahan mentah hasil pertanian lainnya. Pelaksanaan program OTK di lahan kering maupun lahan basah selalu menggunakan herbisida untuk memberantas gulma, bahkan budidaya sistem OTK identik dengan budidaya pertanian menggunakan herbisida. Penggunaan herbisida dilakukan terus-menerus dua kali setiap menjelang musim tanam. Pertama, herbisida pasca-tumbuh untuk memberantas

* Staf Pengajar pada Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian UPN "Veteran" Yogyakarta.

** Staf Pengajar pada Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian IPB Bogor.

gulma melalui daun, dan yang kedua herbisida pra-tumbuh untuk mematikan biji gulma baru yang sudah berkecambah di atas tanah. Ditinjau dari segi penggunaannya yang intensif, dapat diduga banyak residu herbisida yang tertinggal di dalam tanah. Oleh karena itu keberadaan herbisida di dalam tanah, yang terjepit oleh liat atau tercuci oleh air infiltrasi perlu diidentifikasi agar dapat direkapitulasi distribusi dari herbisida yang telah diaplikasikan.

Pada skala laboratorium, jerapan glifosat oleh tanah pernah diteliti oleh Hance (1976). Dalam penelitian tersebut jenis tanahnya tidak dilaporkan, tetapi tanahnya diidentifikasi sampai dengan tingkat Famili atau Seri. Pada penelitian tersebut tanah dicirikan dengan menggunakan kode disertai keterangan tentang beberapa sifat seperti distribusi ukuran zarah, pH dan bahan organik. Sprankle, Meggitt dan Penner (1975a, 1975b) juga telah meneliti glifosat dengan menitikberatkan pada jerapan, mobilisasi dan kecepatan inaktivitasnya di dalam tanah. Informasi mengenai sifat tanahnya yang dilaporkan adalah tekstur tanah yaitu berturut-turut lempung berliat, lempung berpasir, pasir kuarsa dan tanah organik (*muck soil*). Di Indonesia, penelitian glifosat dengan menggunakan tanah yang diidentifikasi sampai dengan Famili atau Seri, belum dilaporkan. Dengan demikian masih diperlukan penelitian lebih lanjut tentang perilaku glifosat pada jenis tanah tertentu di lapang mengenai pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (i) mengetahui pola distribusi herbisida glifosat yang terinfiltrasi ke dalam tanah, dan (ii) mengetahui pengaruh residu herbisida glifosat terhadap ciri tanah dan pertumbuhan tanaman kedelai.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian, IPB Cikabayan, Darmaga, Bogor dari bulan Agustus 2000 sampai dengan Januari 2001. Percobaan lapang ini menggunakan tanah subgrup Typic Dystrudept Darmaga. Herbisida glifosat dengan merk dagang POLARIS 240 AS diperoleh dari PT. Monagro Kimia, Jakarta. Selain alat-alat yang dipergunakan di laboratorium dan di lapang, alat spesifik yang dipergunakan untuk analisis kadar glifosat di laboratorium adalah seperangkat alat HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*). Spesifikasi alat ini disesuaikan untuk penetapan glifosat yaitu kolom penukar ion HITACHI GEL-3013 N (3,0x300mm), eluen (fase gerak) menggunakan H₃PO₄ 0,08 M, laju aliran 0,5 ml/menit, detektor menggunakan sinar ultra violet (UV) atau VIS dengan panjang gelombang 340 nm. Metode ekstraksi tanah mengikuti metode Spann dan Hargreaves (1994), sedangkan sistem pendeteksian glifosat dengan metode tersebut yang dimodifikasi.

Percobaan menggunakan rancangan acak kelompok berdasarkan kemiringan lereng (7 %). Dosis herbisida glifosat terdiri atas 5 taraf yaitu 0, 1, 2, 3 dan 4 kg/ha berdasarkan bahan aktif dan ulangan 3 kali sebagai kelompok. Pada setiap kelompok dibuat 5 petak perlakuan

berukuran 5 m x 4 m. Komposisi gulma sebelum dilakukan penyemprotan dengan glifosat, yang paling dominan adalah *Paspalum conjugatum* (79 %) kemudian secara berturut-turut menurun diikuti oleh *Mimosa invisa* (7 %), *Borreria alata* (6 %), *Digitaria adscendens* (5 %) dan *Brachiaria mutica* (3 %).

Gulma yang terdapat pada masing-masing petak disemprot glifosat setara dengan 0, 1, 2, 3, 4 kg/ha bahan aktif. Permukaan tanah yang terkena semprotan glifosat diambil secara acak dari beberapa tempat, untuk ditetapkan kadar glifosatnya. Dua minggu setelah perlakuan petak ditanami kedelai varietas Orba dengan cara tugal. Pada minggu ke 0 (1 jam setelah perlakuan), 3, dan 6 setiap petak diambil contoh tanahnya dengan bor pada dua lapisan teratas 0-20 cm dan 20-40 cm untuk ditetapkan kadar glifosatnya. Pada minggu ke-6 juga ditetapkan bobot isi, indeks stabilitas agregat, daya tahan terhadap penetrasi, permeabilitas tanah, pori air tersedia, pH, Fe-DTPA, P-HCl 25%, P-Bray I, N-Total, Mg-NH₄OAc, Ca-NH₄OAc, total koloni semua mikroorganisme, bakteri *Rhizobium*, dan mikroorganisme pelarut P. Selain itu, pada minggu ke-6 juga diamati tinggi tanamannya. Setelah dipanen (umur 85 hari), bobot basah tanaman dan bobot biji kering ditimbang. Curah hujan harian di daerah percobaan diamati selama percobaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi Glifosat di Dalam Tanah

Pada Waktu Awal (1 jam setelah perlakuan). Pengukuran residu glifosat hanya dilakukan pada lapisan permukaan (0-3 cm) dengan pertimbangan bahwa pada waktu tersebut belum akan ada residu glifosat yang bergerak ke lapisan 2. Pada waktu awal, semakin tinggi dosis glifosat maka residu glifosat di lapisan 1 semakin meningkat (Tabel 1). Hal ini disebabkan karena glifosat yang telah diaplikasikan masih berhenti di permukaan tanah dan belum terbawa air hujan masuk ke dalam tanah.

Tabel 1. Distribusi glifosat pada waktu awal, minggu ke-3 dan minggu ke-6 pada lapisan 1 dan 2.

Waktu Pengamatan		Dosis glifosat (kg/ha)				
		0	1	2	3	4
		----- ppm -----				
Awal*	Lap. Perm.	0 e	1,33 d	1,68 c	2,03 b	2,23 a
Minggu ke-3	Lapisan 1	0 e	0,83 c	1,05 b	0,79 d	1,62 a
	Lapisan 2	0 d	0,69 b	0,44 c	0,79 a	0,06 d
Minggu ke-6	Lapisan 1	0 c	0,39 a	0,34 a	0,23 b	0,23 b
	Lapisan 2	0 d	0,47 a	0,23 bc	0,21 c	0,24 b

Keterangan: * 1 jam setelah perlakuan glifosat, Lap. Perm.=Lapisan permukaan (0-3cm); Lapisan 1: 0-20 cm, Lapisan 2: 20-40 cm. Huruf yang sama pada baris yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5 % (DMRT).

Pada Minggu ke-3. Total residu glifosat di lapisan 1 dan 2 pada perlakuan 1, 2, 3 dan 4 kg glifosat/ha masing-masing adalah 1,52; 1,49; 1,58 dan 1,68 ppm; sedangkan

residu glifosat tiga minggu sebelumnya kecuali kontrol berturut-turut adalah 1,33; 1,68; 2,03 dan 2,23 ppm. Bila dibandingkan antara residu pada waktu awal dan residu pada minggu ke-3 (lapisan 1 dan 2), diperoleh dua keadaan yang berbeda antar perlakuan dosis glifosat. Pada dosis 1 kg/ha terdapat selisih 0,19 ppm, dengan jumlah residu yang justru meningkat pada minggu ke-3 dibandingkan dengan residu waktu awal; sebaliknya pada dosis 2, 3 dan 4 kg/ha terjadi penurunan jumlah residu, masing-masing sebesar 0,19; 0,45 dan 0,55 ppm.

Penurunan total residu pada minggu ke-3 (lapisan 1 dan 2) pada dosis 2, 3 dan 4 kg/ha tersebut disebabkan oleh beberapa faktor: difusi dari lapisan 1 dan 2 ke lapisan di bawahnya, terdegradasi oleh mikroorganisme, tercuci ke luar daerah perakaran, diserap oleh akar tanaman dan kemungkinan berbagai proses lainnya. Residu glifosat yang dapat mudah terdegradasi oleh mikroorganisme adalah glifosat yang tidak terjerap oleh liat (Suwardji, 2001). Pemberian glifosat pada dosis yang semakin meningkat mengakibatkan glifosat yang tidak terjerap oleh liat juga semakin meningkat, karena kemampuan liat untuk menjerap glifosat terbatas. Akibatnya degradasi glifosat oleh mikroorganisme juga meningkat. Jika dihubungkan dengan fenomena tersebut maka pada dosis 2, 3 dan 4 kg/ha terjadi peningkatan degradasi glifosat oleh mikroorganisme. Dengan demikian pada dosis tersebut terdapat penurunan total residu glifosat masing-masing 0,19; 0,45 dan 0,55 ppm.

Peningkatan total residu pada minggu ke-3 (lapisan 1 dan 2) pada dosis 1 kg/ha sebagaimana tersebut di atas disebabkan karena pada waktu pengambilan sampel tanah permukaan (0-3 cm) pada waktu awal diduga sudah ada glifosat yang terdifusi ke lapisan di bawahnya. Pengambilan sampel tanah pada 3 cm bagian teratas menyebabkan glifosat yang sudah terdifusi tidak terukur. Dengan demikian glifosat yang terdeteksi pada waktu awal lebih rendah dibandingkan total residu lapisan 1 dan 2 pada minggu ke-3. Di samping itu bahwa pada konsentrasi rendah, jumlah glifosat yang tidak terjerap oleh liat hanya sedikit, sehingga kemungkinan terdegradasi oleh mikroorganisme juga lebih kecil.

Jika ditinjau dari jumlah residu glifosat tiap lapisan, dengan semakin meningkatnya dosis glifosat, secara umum residu glifosat pada lapisan 1 juga semakin meningkat. Pada lapisan 2, dengan semakin tingginya konsentrasi glifosat yang diaplikasikan residu glifosat yang bergerak ke lapisan 2 secara umum semakin rendah. Hal ini berkaitan dengan salah satu sifat glifosat, yaitu bahwa glifosat juga memiliki sifat hidrasi (Knuutila dan Knuutila, 1985). Sifat hidrasi ini dapat menyebabkan terhambatnya aliran glifosat dari lapisan 1 ke lapisan bawahnya pada konsentrasi yang semakin tinggi. Di samping itu perbedaan perilaku pori-pori mikro tanah terhadap konsentrasi glifosat yang berbeda juga menghambat aliran glifosat. Pada konsentrasi rendah, glifosat lebih mudah terinfiltrasi, sedangkan pada konsentrasi yang lebih tinggi, sebagian dari glifosat akan tertahan oleh pori-pori tanah. Pada konsentrasi yang tinggi pergerakan glifosat dari lapisan 1 ke lapisan 2 lebih lambat.

Pada Minggu ke-6. Total residu glifosat di lapisan 1 dan 2 berturut-turut adalah 0; 0,86; 0,57; 0,44 dan 0,47 ppm,

sedangkan residu glifosat tiga minggu sebelumnya (kecuali kontrol) berturut-turut adalah 1,52; 1,49; 1,58 dan 1,68 ppm. Ini berarti bahwa dibandingkan dengan minggu ke-3, pada minggu ke-6 glifosat sudah mengalami pengurangan berturut-turut sebesar 0,66; 0,92; 1,14 dan 0,21 ppm. Pengurangan ini disebabkan oleh beberapa kemungkinan: (1) tercuci secara lateral ke samping oleh air hujan, (2) tercuci secara vertikal ke bawah, dan (3) terdegradasi oleh mikroorganisme yang tahan terhadap glifosat. Beberapa mikroorganisme seperti *Agrobacterium radiobacter* dikenal dapat mendegradasi glifosat menjadi Sarcosine (COOH-CH₂-NH-CH₃) dan membebaskan HPO₃⁻ dalam larutan (Bui dan Hershberger, 1999). Dengan semakin meningkatnya dosis perlakuan, residu glifosat pada lapisan 1 mempunyai kecenderungan yang sama dengan lapisan 2, yaitu pada dosis 3 dan 4 kg/ha, residu glifosat di dalam tanah mulai turun.

Pengaruh Curah Hujan. Pola distribusi residu glifosat di dalam tanah tidak lepas dari pengaruh curah hujan, sifat fisik, sifat kimia dan lingkungan, termasuk vegetasi gulma sebelum dan setelah perlakuan serta tanamannya sendiri. Pada selang waktu antara pengambilan contoh tanah awal sampai dengan pengambilan contoh tanah minggu ke-3, curah hujan adalah sebesar 368,7 mm, yang terdistribusi dalam 14 hari hujan (HH) dengan curah hujan terendah 0,6 mm dan tertinggi 56,0 mm/hari. Antara minggu ke-3 dan minggu ke-6 terjadi hujan sebesar 151,6 mm, yang terdistribusi menjadi 9 HH dengan hujan terendah 1,1 mm dan tertinggi 66,5 mm. Dalam penelitian Brata (1998) selama satu musim tanam jagung (September sampai dengan Desember 1992), terjadi aliran permukaan rata-rata sebesar 2,9 % dari curah hujan. Ini dapat diartikan bahwa besarnya air infiltrasi kurang lebih 97,1 % dari curah hujan (curah hujan = 1317 mm). Dalam hubungannya dengan curah hujan di daerah penelitian tersebut maka air infiltrasi selama tiga minggu, jika dihitung berdasarkan besarnya infiltrasi 97,1 % berturut-turut adalah sebesar 358,0 mm (antara minggu ke-0 - minggu ke-3) dan 147,2 mm (antara minggu ke-3 - minggu ke-6). Lebih tingginya air infiltrasi pada 3 minggu pertama dibandingkan pada 3 minggu berikutnya menyebabkan glifosat yang terbawa ke lapisan 2 juga lebih banyak. Dengan demikian residu glifosat yang ada pada lapisan 2 minggu ke-3 yaitu berturut-turut 0; 0,69; 0,44; 0,79; 0,06 ppm, secara umum lebih tinggi dibandingkan residu pada lapisan 2 minggu ke-6 (berturut-turut 0; 0,47; 0,23; 0,21; 0,24 ppm). Akibatnya residu glifosat semakin menurun dengan bertambahnya waktu pengamatan.

Ciri Fisik Tanah

Dari kelima ciri fisik tanah yang diamati, hanya stabilitas agregat yang berbeda nyata (Tabel 2). Meningkatnya dosis glifosat, juga meningkatkan stabilitas agregat secara linear. Meskipun demikian, peningkatan ini tidak sampai mengubah harkat indeks stabilitas agregat, yaitu pada kisaran 60 - 80 (stabil). Hal ini disebabkan karena glifosat yang berfungsi sebagai jembatan anion antara zarah tanah satu dengan zarah tanah lainnya tidak terlalu kuat. Di samping itu, bahan organik dari vegetasi gulma yang sudah mati belum mengalami perombakan,

sehingga belum berperan dalam pembentukan agregat. Alasan ini pula yang menyebabkan ciri fisik tanah yang lain tidak terpengaruh oleh perlakuan dosis glifosat.

Tabel 2. Ciri fisik tanah setelah perlakuan glifosat pada minggu ke-6.

Dosis Glifosat (kg/ha)	BI (g/cm ³)	PAT (% bobot)	Permeab. (cm/jam)	St.Agr.	DTP (kg/cm ²)
0	1,02 a	18,06 a	1,48 a	59,97 d	4,78 a
1	1,05 a	20,32 a	2,22 a	62,38 c	5,20 a
2	1,02 a	22,68 a	3,80 a	63,10 c	4,82 a
3	0,96 a	24,69 a	1,75 a	70,25 b	3,69 a
4	1,07 a	23,55 a	0,69 a	72,38 a	4,00 a

Keterangan: BI=Bobot isi, PAT=Pori air tersedia, St.Agr=Stabilitas agregat, DTP=Daya tahan terhadap penetrasi. Huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5 % (DMRT).

Ciri Kimia Tanah

Penambahan dosis glifosat tidak berpengaruh nyata terhadap P-HCl 25% pada lapisan 1 dan 2 (Tabel 3). Tidak meningkatnya P-HCl 25% pada lapisan 1 dan 2 ini disebabkan karena tanah tersebut hanya mendapatkan sedikit tambahan P dari glifosat yang diaplikasikan (kadar P dalam senyawa glifosat hanya sebesar 18 %). P-glifosat tersebut ikut terekstrak pada waktu analisis di laboratorium, namun jumlahnya masih terlalu rendah. Dengan demikian kadar P-HCl 25% tanah pada lapisan 1 dan 2 tidak meningkat.

Secara umum, P-Bray I di lapisan 1 meningkat dengan bertambahnya dosis glifosat, sedangkan di lapisan 2 menurun (Tabel 3). Bila dilihat secara detil, P-Bray I di lapisan 1 memang berfluktuasi, tetapi kisarannya masih terlalu kecil (< 2 ppm). Diduga fluktuasi ini lebih disebabkan karena besarnya variabilitas di lapang. Meningkatnya P-Bray I disebabkan karena semakin tinggi dosis, konsentrasi gugus fosfonik dan karboksil dari glifosat dalam kompleks jerapan tanah meningkat. Jika secara kuantitatif anion dari glifosat lebih banyak dari anion fosfat dalam kompleks jerapan tanah, maka anion dari glifosat bisa mengganti anion fosfat sehingga fosfat berpindah ke larutan tanah. Demikian juga sebaliknya bila P-Bray I turun. Dengan demikian keberadaan P-Bray I juga berhubungan erat dengan residu glifosat yang terjerap oleh liat.

Kadar Fe-DTPA lapisan 1 tidak berbeda nyata oleh perlakuan dosis glifosat (Tabel 3), sedangkan pada lapisan 2 Fe-DTPA berbeda nyata menurun. Hal ini disebabkan karena Fe mempunyai fungsi ganda dalam proses fisiko-kimia. Pertama Fe sebagai jembatan kation antara glifosat dengan liat dalam proses terjerapnya glifosat oleh liat. Kedua bila kapasitas erapan dari liat sudah maksimum maka kelebihan glifosat juga masih bisa membentuk kelat bersama Fe dan selanjutnya diendapkan (Sprankle *et al.*, 1975b; Moshier dan Penner, 1978). Dengan demikian konsentrasi Fe dalam larutan menurun, akibatnya Fe-DTPA menurun. Khusus pada lapisan 1, interaksi antara glifosat dengan liat belum membutuhkan Fe sebagai jembatan kation, tetapi langsung melalui ikatan hidrogen dari OH liat pada ujung oktahedral dengan gugus karboksil atau fosfonik glifosat, karena kapasitas erapan glifosat masih tersedia banyak.

Dengan demikian jumlah Fe dalam larutan tetap.

Kadar Mg berbeda nyata pada lapisan 1 dan 2 (Tabel 3). Semakin tinggi dosis glifosat maka kadar Mg secara umum meningkat. Mg²⁺ merupakan kation yang paling kuat menjerap glifosat (sebagai jembatan kation) dibandingkan dengan deret kation bervalensi dua lainnya (Zn²⁺, Mn²⁺ dan Ca²⁺). Meningkatnya kadar Mg ini berhubungan dengan residu glifosat pada minggu ke-6, dimana pada saat residu glifosat naik (dosis 1 dan 2 kg/ha) maka kadar Mg turun. Demikian sebaliknya residu glifosat turun (dosis 3 dan 4 kg/ha) maka kadar Mg meningkat. Hasil ini juga mendukung hasil penelitian Sprankle *et al.* (1976b), bahwa pada liat bentonit yang dijenuhi dengan kation, jerapan liat tersebut terhadap glifosat semakin meningkat dengan urutan sebagai berikut Ca²⁺ < Mn²⁺ < Zn²⁺ < Mg²⁺ < Fe³⁺ < Al³⁺. Dengan demikian dibandingkan dengan kation bervalensi dua lainnya, kation Mg merupakan kation yang paling kuat menjerap glifosat.

Kadar Ca dalam tanah lapisan 1 dan 2 juga berbeda nyata dengan perlakuan dosis glifosat (Tabel 3). Dengan semakin meningkatnya dosis glifosat maka kadar Ca semakin menurun pada lapisan 1 dan berfluktuasi rendah pada lapisan 2. Menurunnya kadar Ca selama penelitian ini diduga berlangsung melalui proses kebalikan dengan meningkatnya kation Mg. Artinya apabila residu glifosat pada lapisan 1 minggu ke-6 meningkat, maka kadar Ca menurun, begitu sebaliknya apabila residu glifosat menurun maka kadar Ca meningkat (pada dosis 4 kg/ha). Kation Ca merupakan urutan terakhir dalam kemampuan menjerap glifosat sebagai jembatan kation. Khusus pada lapisan 2, walaupun secara statistik berbeda nyata, tetapi kadar Ca berfluktuasi sangat rendah (<2 cmol/kg) sehingga tidak mengubah harkatnya. Penetapan kation Ca dalam penelitian ini sebagai indikator, apakah tanah tersebut kekurangan unsur Ca, karena kedelai membutuhkan kadar Ca yang tinggi.

Tabel 3. Ciri kimia tanah lapisan 1 dan 2 setelah perlakuan glifosat minggu ke-6.

Ciri Kimia Tanah	Dosis glifosat (kg/ha)				
	0	1	2	3	4
pH tanah	Lapisan 1 6,37 a	6,37 a	6,40 a	6,33 a	6,33 a
PHCl25%(%)	Lapisan 1 0,05 a	0,05 a	0,05 a	0,05 a	0,05 a
	Lapisan 2 0,04 a	0,04 a	0,04 a	0,04 a	0,04 a
P-BrayI(ppm)	Lapisan 1 5,87 c	5,70 d	7,37 b	5,73 d	8,47 a
	Lapisan 2 3,07 a	2,73 b	2,37 c	2,30 c	2,03 d
Fe-DTPA(%)	Lapisan 1 4,87 a	5,01 a	5,12 a	5,41 a	4,94 a
	Lapisan 2 5,97 a	5,24 b	5,27 b	4,49 c	5,24 b
Mg-NH ₄ OAc (cmol/kg)	Lapisan 1 0,45 c	0,26 d	0,64 b	1,07 a	1,08 a
	Lapisan 2 0,26 c	0,21 d	0,26 c	0,91 a	0,51 b
Ca-NH ₄ OAc (cmol/kg)	Lapisan 1 8,25 a	5,74 b	5,56 c	3,75 e	4,77 d
	Lapisan 2 1,82 e	2,40 b	1,91 d	2,43 a	2,15 c
N-Total (%)	Lapisan 1 0,22 ab	0,19 c	0,22 ab	0,23 a	0,22 ab
	Lapisan 2 0,13ab	0,12 bc	0,14 a	0,13 ab	0,12 bc

Keterangan: huruf yang sama pada baris yang sama tidak berbeda nyata pada level 5 % (DMRT).

N-Total tanah dalam penelitian ini secara umum berfluktuasi rendah (Tabel 3) baik pada lapisan 1 maupun

lapisan 2. Pada dosis glifosat 1 kg/ha, kadar N-Total menurun kemudian meningkat lagi pada dosis berikutnya yang lebih besar. Berfluktuasinya kadar N-Total ini masih terlalu kecil (0,01 – 0,04 %), sehingga tidak merubah harkat N-Total tanah. N-Total pada lapisan 1 dan lapisan 2 tersebut masih pada kriteria rendah (0,1 – 0,2 %).

Ciri Biologi Tanah

Total koloni semua mikroorganisme pada lapisan 1 semakin menurun dengan semakin bertambahnya level dosis glifosat (Tabel 4). Berarti, perlakuan glifosat menurunkan populasi total mikroorganisme dalam tanah. Meskipun demikian, total mikroorganisme tanah pada lapisan 2 berfluktuasi. Pada dosis 1 kg/ha populasi mikroorganisme meningkat, tetapi pada dosis 2 kg/ha populasi turun drastis, baru pada dosis berikutnya populasi naik secara perlahan. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada dosis 1 kg/ha, residu glifosat di lapisan 2 belum berada pada tingkat yang menghambat mikroorganisme, setelah dosis ditingkatkan glifosat mulai menghambat mikroba pada lapisan 2.

Tabel 4. Ciri biologi tanah lapisan 1 dan 2 setelah perlakuan glifosat minggu ke-6.

Peubah Ciri Biologi	Dosis glifosat (kg/ha)				
	0	1	2	3	4
Total mo (x10 ⁶ SPK/g)					
Lapisan 1	755,884 a	679,517 b	606,086 c	518,663 d	448,163 e
Lapisan 2	198,590bc	341,900 a	108,580 d	179,630 c	218,260 b
Bak Rhizobium (x10 ³ SPK/g)					
Lapisan 1	197,079 a	198,714 a	177,233 b	128,853 c	182,108 b
Lapisan 2	244,070 a	172,050bc	157,930 b	116,640 c	151,840bc
Mopelarut (x10 ³ SPK/g)					
Lapisan 1	172,130 a	101,010b	60,560cd	54,390 d	38,490e
Lapisan 2	63,081ab	73,230 a	66,627ab	53,323bc	43,173 c

Keterangan: SPK=satuan pembentuk koloni, mo=mikroorganisme; huruf yang sama pada baris yang sama tidak berbeda nyata pada level 5 % (DMRT).

Bakteri *Rhizobium* pada lapisan 1 dan 2 juga berbeda nyata (Tabel 4) dengan uji DMRT 5 %. Penambahan dosis glifosat yang semakin tinggi menurunkan populasi bakteri *Rhizobium*, dengan pola seperti penurunan total mikroorganisme pada lapisan 1. Menurut Cole (1985), *Rhizobium* yang umumnya ditemukan pada kedelai adalah *Rhizobium japonicum*. Bakteri tersebut juga mempunyai enzim EPSPS seperti bakteri lainnya, yang bisa terbunuh lewat penghambatan enzim tersebut.

Mikroorganisme pelarut P pada lapisan 1 dan 2 secara umum menurun pada semua level dosis (Tabel 4). Pola ini sejalan dengan pola penurunan total mikroorganisme dan bakteri *Rhizobium*. Umumnya, mikroorganisme pelarut P di tanah mineral daerah tropika didominasi oleh bakteri *Pseudomonas sp.* Bakteri ini juga mempunyai enzim EPSPS seperti halnya *Rhizobium*, yang bisa terbunuh oleh glifosat.

Ciri Agronomik Kedelai

Sifat agronomik yang diamati adalah tinggi tanaman, bobot basah tanaman dan bobot kering biji kedelai.

Perlakuan dosis glifosat mempunyai respon yang berbeda antara dosis 0 kg/ha dengan dosis lainnya terhadap tinggi tanaman pada minggu ke-6 dan ke-9 (Tabel 5). Tinggi tanaman pada minggu ke-6 secara umum meningkat sesuai dengan penambahan dosis glifosat, tetapi yang berbeda nyata hanya dosis 0 kg/ha (kontrol) dibandingkan dengan dosis lainnya. Demikian juga tinggi tanaman pada minggu ke-9.

Tabel 5. Ciri agronomik kedelai selama penelitian

Peubah ciri agronomik	Dosis glifosat (kg/ha)				
	0	1	2	3	4
Tinggi tanaman (cm)					
Minggu-6	46,07 b	59,53 a	57,67 a	58,13 a	62,20 a
Minggu-9	53,60 b	69,00 a	67,40 a	68,60 a	72,00 a
Bobot basah tanaman (kg/petak)*	6,08 c	12,25 b	13,67 ab	16,25 a	11,92 b
Bobot kering biji kedelai (kg/petak)*	0,08 c	0,50ab	0,54 ab	0,63 a	0,45 b

Keterangan: huruf yang sama pada baris yang sama tidak beda nyata pada level 5 % (DMRT). *) ukuran petak 4 m x 5 m.

Meningkatnya tinggi tanaman dapat dijelaskan bahwa pada dosis 0 kg/ha, gulma masih tetap hidup seperti sebelum diperlakukan, sehingga menjadi pesaing tanaman pokok dalam hal unsur hara, air dan sinar matahari. Penambahan dosis 1 kg/ha menyebabkan gulma mati sebagian, pada dosis 2 – 4 kg/ha menyebabkan gulma mati 100 % dan mengering selanjutnya menjadi mulsa; sehingga perlakuan dosis 1 sampai 4 kg/ha berbeda nyata dibandingkan kontrol.

Bobot basah tanaman yang dimaksud adalah bobot basah tanaman di atas tanah termasuk polong dan daun tua yang masih melekat di batangnya. Berdasarkan analisis ragam, bobot basah berbeda nyata dan setelah uji nyata DMRT, terlihat bahwa bobot basah tanaman secara umum meningkat dengan bertambahnya dosis glifosat (Tabel 5). Hal ini berkaitan dengan unsur hara, selain dengan gulma seperti pada kasus tinggi tanaman. Perubahan pada unsur hara yang mendukung peningkatan bobot basah tanaman adalah peningkatan P-Bray I, P-HCl 25%, kadar Mg dan N-Total, dan penurunan Fe-DTPA. Dengan demikian secara tidak langsung terlihat bahwa perlakuan glifosat dapat memperbaiki komposisi unsur hara bagi pertumbuhan tanaman.

Penambahan dosis glifosat yang lebih tinggi (4 kg/ha) menyebabkan penurunan bobot basah dan bobot biji kering tanaman kedelai. Hal ini disebabkan karena glifosat yang terjerap oleh liat sudah melebihi kapasitas erapan glifosat, sehingga glifosat aktif di dalam larutan tanah meningkat dan akhirnya diserap tanaman lewat akar. Penyerapan glifosat oleh kedelai ini tidak sampai mematikan tanaman. Menurut penelitian Sprankle *et al.* (1975a), tanaman kedelai menyerap glifosat lewat sistem perakaran hanya sebesar 0,11 % pada akar dan 0,55 % pada daun dari total glifosat yang diaplikasikan lewat permukaan tanah. Rendahnya persentase glifosat yang diserap oleh kedelai lewat akar disebabkan oleh kombinasi faktor: tingginya penyerapan glifosat oleh liat, rendahnya degradasi glifosat secara kimia dan biologi, serta toksisitas intrinsik glifosat yang rendah (Sprankle *et al.*, 1975a; Hance, 1976).

KESIMPULAN

1. Distribusi glifosat di dalam tanah sangat ditentukan oleh kadar liat, dalam kemampuannya berinteraksi dengan glifosat, maupun daya menahan dan menginfiltrasikan air hujan. Penelitian di lapangan menunjukkan bahwa sampai dengan minggu ke-3, residu glifosat dalam tanah pada dua lapisan teratas semakin meningkat dengan meningkatnya dosis glifosat. Pada minggu ke-6, residu di kedua lapisan mulai menurun. Dinamika naik dan turunnya residu glifosat dalam tanah di lokasi penelitian berkaitan erat dengan distribusi hujan yang tidak merata dan tingginya air infiltrasi ke dalam tanah.
2. Perlakuan glifosat mampu memperbaiki beberapa sifat tanah. Penambahan dosis glifosat meningkatkan P-Bray I, kadar Mg dan N-Total; sebaliknya perlakuan glifosat juga menyebabkan penurunan jumlah total koloni mikroorganisme, bakteri *Rhizobium*, mikroorganisme pelarut P dan kadar Ca.
3. Perlakuan glifosat secara umum meningkatkan pertumbuhan tanaman kedelai. Dosis yang paling baik dari segi tingginya hasil kedelai adalah dosis 2,5 kg/ha. Peningkatan pertumbuhan kedelai tersebut tidak semata-mata disebabkan oleh perbaikan sifat tanahnya, tetapi juga akibat faktor pengendalian gulma pada dosis yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada: (1) Rektor UPN "Veteran" Yogyakarta yang telah membantu membiayai penelitian ini; (2) Ketua Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian IPB yang telah memberi ijin menggunakan fasilitas laboratorium dan rumah kaca untuk pelaksanaan selama penelitian; dan (3) Kepala Balitbio yang telah memberi ijin menggunakan fasilitas laboratorium untuk analisis HPLC.

DAFTAR PUSTAKA

- Beste, C. E. 1983. *Herbicide Handbook of the Weed Science Society of America*. WSSA. Illinois.
- Brata, K. R. 1998. Pemanfaatan jerami padi sebagai mulsa vertikal untuk mengendalikan aliran permukaan, erosi dan kehilangan unsur hara dari Pertanian lahan kering. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan* 1(1):21-27
- Bui, T dan D. Hershberger, 1999. *Glyphosate Graphical Pathway Map*. BBD Master@email.labmed.umn.edu. Univ. of Minnesota.
- Cole, D. J. 1985. Mode of Action of Glyphosate - A Literature Analysis. pp. 48-74. In: E. Grossbard and D. Atkinson. *The herbicide glyphosate*. Butterworths Co. London.
- Hance, R. J. 1976. Adsorption of Glyphosate by Soils. *Pestic. Sci.* 7: 363-366.
- Karyanto, A. 1996. *Rekayasa Tanaman Resisten terhadap Herbisida: Konsep, Masalah dan Prospek*. Prosiding Konferensi XIII dan Seminar Ilmiah HIGI: 531-539. Bandar Lampung, 5-7 Nov. 1996.
- Knuutila, P. and H. Knuutila. 1985. Molecular and Crystalline Structure Glyphosate. pp. 18-22. In: E. Grossbard and D. Atkinson. *The herbicide glyphosate*. Butterworths Co. London.
- Moshier, L. J. and D. Penner. 1978. Factors influencing microbial degradation of ^{14}C -Glyphosate to $^{14}\text{CO}_2$ in soil. *Weed Sci.* 26: 686-691
- Spann, K. P. and P. A. Hargreaves. 1994. The determination of glyphosate in soils with moderate to high clay content. *Pestic. Sci.* 40: 41-48.
- Sprankle, P., W. F. Meggitt and D. Penner. 1975a. Rapid inactivation of glyphosate in the soil. *Weed Sci.* 23: 224-228
- Sprankle, P., W. F. Meggitt and D. Penner. 1975b. Adsorption, mobility, and microbial degradation of glyphosate in the soil. *Weed Sci.* 23: 229-234
- Suwardji, 2001. Penerapan Olah Tanah Konservasi dalam Mendukung Agribisnis. Makalah Seminar Nasional Sehari OTK. Faperta UPNV Yogyakarta. 3 Juli 2001.
- Wiersema, R., M. Burns and D. Hershberger. 1999. *Glyphosate Pathway Map*. BBD Master@email.labmed.umn.edu. Univ. of Minnesota

