

Penggunaan Metode Bioassay untuk Mendeteksi Pergerakan Herbisida Pascatumbuh Paraquat dan 2,4-D dalam Tanah

Nanik Sriyani¹ dan Abdul Kadir Salam²

Makalah diterima 13 Maret 2008 / disetujui 20 Agustus 2008

ABSTRACT

Bioassay Technique to Detect Movement of Postemergence Herbicides Paraquat and 2,4-D In Soil (N. Sriyani and A.K. Salam): A simple and cheap method to detect herbicide residue in soil and water is urgently needed as the quantity and frequency of herbicide usage is steadily increasing in Indonesia which raises concern about the effects of herbicide residue in soil and water. This study is the third step from a series of studies aim to develop bioassay technique to detect the present and quantity of herbicides in soil and water. In this study, bioassay was used to detect movement of paraquat and 2,4-D herbicides in soil. Study was carried out using soil column method. Treatments were arranged factorially in a completely randomized block design with 3 replicates. Two ultisol soil types: Podsolik Merah Kuning (PMK) and Latosol Coklat (LC) and 2 post emergence herbicides: paraquat and 2,4-D, were tested. To calculate the amount of herbicide using bioassay, each standard curve for paraquat and 2,4-D were developed. Using these standard curves, the amount of paraquat and 2,4-D was calculated based on the growth rate of caisim as indicator plant. Results showed that bioassay method can be utilized to detect herbicide movement in soil. The amount and the rate of herbicide movement were determined by soil and herbicide types. In PMK, paraquat reached the depth of 20-30 cm at 2 weeks after application (WAA), however, after that the amount of paraquat found was very limited. In LC, the movement of paraquat was more limited compared to its movement in PMK. Paraquat reached soil depth of 10-20 cm at 2 WAA, afterward paraquat was only detected in soil depth of 0-10 cm. Similar pattern was observed for 2,4-D which reached soil depth of 30-40 cm at 1 WAA in PMK. In LC, 2,4-D movement was more limited. At 2 WAA, 2,4-D in LC reached soil depth of 30-40 cm in limited amount and after 12 WAA the herbicide was detected only at soil depth of 0-10 cm.

Keywords: 2,4-D, bioassay, caisim (*Brassica rapa* L.), herbicide movement, Latosol coklat, paraquat, PMK

PENDAHULUAN

Paraquat dan 2,4-D adalah dua dari beberapa jenis herbisida yang telah lama dan sampai saat ini paling banyak digunakan dalam budidaya tanaman di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Dipicu oleh semakin langkanya tenaga kerja dan tersedianya herbisida yang relatif mudah dan murah, peningkatan penggunaan pestisida di Indonesia, khususnya herbisida, semakin terlihat nyata pada 20 tahun terakhir. Saat ini, ketergantungan perkebunan, baik skala besar maupun kecil, perkebunan rakyat, perkebunan milik negara, maupun perkebunan swasta, pada herbisida sebagai alat pengendali gulma semakin tinggi karena alasan keefektifan, ekonomi, dan

kelangkaan tenaga kerja. Sebagai contoh, perkebunan tebu PT Gunung Madu Plantation (GMP) di Lampung menggunakan herbisida sebagai satu-satunya metode pengendalian gulma sejak lebih dari 20 tahun lalu. Kebutuhan herbisida PT GMP dengan luas area tanam kurang lebih 24.500 ha untuk tahun 2001 adalah sebanyak 244.000 kg, yang terdiri dari 6 jenis herbisida pra maupun pascatumbuh (Riyanto, 2002). Hal tersebut tidak jauh berbeda kondisinya dengan pengelolaan gulma di perkebunan kelapa sawit lebih dari 20 tahun lalu yang kira-kira 75% dari seluruh kegiatan pengendalian gulma pada kebun kelapa sawit juga dilakukan secara kimiawi (Tjitrosoedirdjo *et al.*, 1984).

¹Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

²Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung Jl. Sumantri Brojonegoro 1 Bandar Lampung 35145.

J. Tanah Trop., Vol. 13, No. 3, 2008: 199-208

ISSN 0852-257X

Paraquat adalah herbisida kontak pascatumbuh yang diaplikasikan langsung pada gulma yang telah tumbuh dan bersifat tidak selektif. Herbisida ini terdaftar untuk spektrum tanaman yang cukup luas, antara lain pada cengkeh, kakao, kapas, karet, kelapa sawit, kelapa hibrida, kopi, lada, padi pasang surut, tebu, teh, dan ubikayu. Paraquat diperdagangkan dengan nama Gramoxone, Paracol, Herbatop, Noxone, dan Sankuat (Komisi Pestisida Indonesia, 2005). 2,4-D adalah herbisida sistemik yang bersifat selektif untuk gulma golongan daun lebar, dapat digunakan pada tanaman padi sawah, tebu, karet, kakao, kelapa sawit, dan teh. Herbisida ini dipasarkan sebagai bentuk tunggal atau dikombinasikan dengan herbisida lain seperti glifosat dan butaklor, dengan banyak nama dagang, antara lain Hedonal 818 L, Indamin 720 HC, Keris 520 AS, serta Lindomin 865 AS, sedangkan bentuk kombinasinya dijual dengan nama dagang Bimastar, Burnout, Glidamin, Knockout, dan lain-lain (Komisi Pestisida Indonesia, 2005).

Tingginya intensitas aplikasi dan jumlah herbisida yang diaplikasikan menimbulkan kekhawatiran yang cukup beralasan mengenai bahaya pencemaran yang berasal dari residu herbisida yang tertinggal di lingkungan, khususnya dalam tanah dan air. Residu herbisida dalam tanah dan air dikhawatirkan akan menimbulkan gangguan kesehatan bagi manusia dan hewan serta dapat mengganggu pertumbuhan tanaman budidaya pada musim berikutnya, seperti telah dilaporkan oleh Foy *et al.* (1996) pada kebun buah-buahan yang telah memakai herbisida selama 23 tahun. Residu paraquat dilaporkan dapat meracuni tanaman *baby corn* dan menurunkan bobot *baby corn* pertanaman (Anwar, 2002). Kekhawatiran ini menimbulkan kebutuhan untuk dapat memonitor keberadaan herbisida dalam tanah dan air secara periodik dengan cepat dan akurat, sehingga dapat segera diambil langkah pengelolaan yang diperlukan.

Bioassay telah dilaporkan dapat digunakan sebagai salah satu metode deteksi herbisida paraquat dan glifosat dalam tanah dan air dengan cukup akurat seperti dilaporkan oleh Sriyani (2007). Selain itu, bioassay juga dapat digunakan untuk mendeteksi herbisida 2,4-D, ametrin, dan diuron (Sriyani, 2004 dan Sriyani *et al.*, 2005). Bioassay adalah suatu metode yang mengukur tanggap suatu organisme hidup untuk menentukan keberadaan atau konsentrasi bahan kimia pada suatu contoh. Metode bioassay ini cukup sensitif untuk mengukur keberadaan herbisida

bensulfuron dan quinclorac dalam air sampai serendah 0.5 ng ml^{-1} dan 100 ng ml^{-1} (DeBarreda *et al.*, 1993), juga dapat digunakan untuk mendeteksi herbisida imazaquin dalam tanah dengan sensitifitas deteksi mencapai $0,5 \text{ ng g}^{-1}$ (O'Bryan *et al.*, 1994).

Herbisida yang diaplikasikan untuk mengendalikan gulma, baik aplikasi pratumbuh maupun pascatumbuh, sebagian akan diserap gulma atau tanaman, sebagian akan hilang menguap, dan sebagian lagi akan tertinggal dalam tanah, atau yang sering kita sebut sebagai residu herbisida. Herbisida yang tertinggal ini sebagian akan diurai oleh mikroba tanah sedangkan sebagiannya lagi akan bergerak secara horizontal melalui aliran permukaan ataupun secara vertikal ke lapisan tanah yang lebih dalam, bahkan sampai air bawah tanah.

Bahan organik tanah diketahui sebagai komponen tanah yang memengaruhi persistensi, mobilitas, degradasi, dan ketersediaan suatu herbisida dalam tanah. Tanah dengan kandungan bahan organik tinggi umumnya mempunyai daya jerap yang tinggi terhadap herbisida, sehingga mobilitas dan ketersediaan herbisida menjadi menurun. Di sisi lain, dengan kondisi tanah yang sama, kinerja suatu herbisida akan ditentukan oleh kelarutan, tingkat jerapan, persistensi, tingkat pencucian, fotodekomposisi, dan volatilitasnya (Moomaw *et al.*, 1996). Herbisida kelompok pratumbuh seperti ametrin dan diuron umumnya mempunyai persistensi dan mobilitas yang tinggi dalam tanah, yang memang diperlukan agar kinerja herbisida tersebut optimum, sedangkan herbisida pascatumbuh seperti glifosat, paraquat, dan 2,4-D umumnya lebih cepat terdegradasi, tercuci, atau terjerap oleh partikel tanah. Walaupun paraquat terjerap kuat oleh partikel tanah ($20\text{-}3.000 \text{ mg kg}^{-1}$), paraquat sangat mudah larut dalam air (600 g l^{-1}) sehingga tetap berpotensi tinggi untuk tercuci oleh air hujan atau air irigasi sehingga dapat mencemari sistem perairan (Tomlin, 2005). Mukhtar *et al.* (2004) menyimpulkan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum bahan organik tanah terhadap paraquat adalah $7.14 \text{ cmol kg}^{-1}$ sedangkan koefisien afinitasnya adalah 9,66, yang mengindikasikan bahwa aplikasi paraquat $>7,14 \text{ cmol kg}^{-1}$ berpotensi menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan. Di lain pihak, kelarutan 2,4-D dalam air cukup rendah ($0,6 \text{ g l}^{-1}$), di samping degradasinya yang cepat dalam tanah dengan waktu paruh kurang dari 7 hari. Hal tersebut menghalangi pergerakan 2,4-D ke bawah, sehingga potensinya dalam mencemari perairan terbatas (Tomlin, 2005).

Penelitian ini merupakan penelitian tahap ke-3 dari program pengembangan metode bioassay untuk mendeteksi keberadaan herbisida dalam tanah dan air. Pada tahap ke-3 ini metode bioassay yang telah dikembangkan diujicoba penggunaannya untuk mendeteksi pergerakan ke bawah paraquat dan 2,4-D dalam PMK dan Latosol Coklat.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini merupakan penelitian tahap terakhir dari 3 tahap penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan metode untuk mendeteksi keberadaan beberapa herbisida yang paling banyak digunakan di Indonesia dalam tanah dan air menggunakan teknik bioassay yang sederhana, mudah, dan murah, namun tetap akurat. Pada tahap pertama telah dilakukan uji tapis (*screening test*) untuk menentukan tanaman indikator yang tepat dan penentuan kurva standar bagi metode bioassay yang dikembangkan (Sriyani, 2004; Sriyani *et al.*, 2005). Kurva standar adalah garis hubungan antara pertumbuhan tanaman indikator sebagai tanggap terhadap jumlah herbisida yang diaplikasikan. Pada tahap kedua telah dilakukan uji keakuratan metode bioassay dalam mendeteksi jumlah herbisida dalam tanah dan air (Sriyani, 2007). Sedangkan pada tahap ke-3 ini metode bioassay yang dikembangkan diujicoba penggunaannya untuk mendeteksi pergerakan herbisida dalam tanah. Percobaan dilaksanakan di Laboratorium Ilmu Gulma dan Laboratorium Agronomi, Fakultas Pertanian Universitas Lampung, dari bulan Juli sampai dengan November 2005.

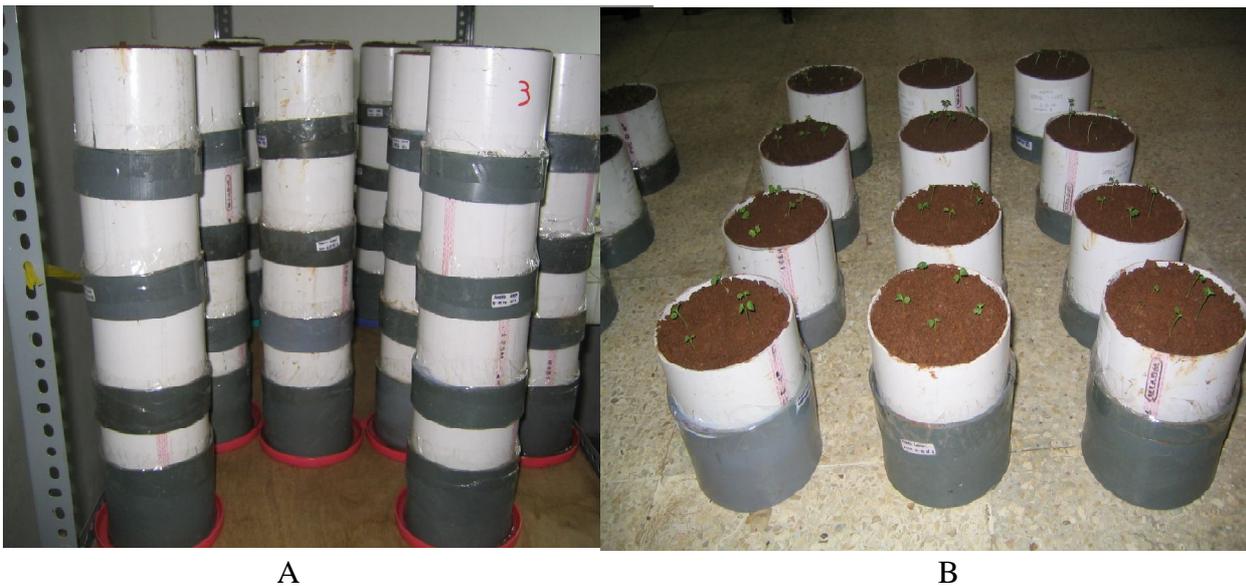
Pengukuran Pergerakan Herbisida dalam Tanah

Contoh tanah yang digunakan pada percobaan ini adalah jenis PMK (Ultisol) yang berasal dari lokasi lahan perkebunan tebu PT Gunung Madu Plantation, Terbanggi Besar, Lampung Tengah dan Latosol Coklat (Ultisol) dari lahan PTP Nusantara VII Unit Usaha Way Lima, Lampung Selatan. Contoh tanah diambil dari lokasi yang tidak pernah diaplikasi herbisida dalam kurun waktu paling sedikit 10 tahun terakhir dan diambil dari 3 titik pengambilan dengan 2 tingkat kedalaman, yaitu 0-20 cm dan 20-40 cm. Contoh tanah dari 3 titik tersebut dikomposit untuk masing-masing kedalaman, kemudian dikering-anginkan dan diayak dengan saringan berkerapatan 0,3 cm x 0,3 cm.

Percobaan dilakukan menggunakan metode kolom tanah. Kolom tersusun dari subkolom yang terbuat dari plastik fiber berbentuk silinder berdiameter 10 cm dengan tinggi 10 cm. Setiap 4 subkolom disambungkan sehingga menjadi satu kolom sepanjang 40 cm. Sambungan ini tidak bersifat permanen sehingga dapat dilepas pada waktu pengambilan contoh tanah. Bagian bawah/dasar kolom ditutup dengan saringan kawat yang dilapisi dengan kain kasa untuk mencegah turunnya contoh tanah tanpa menghalangi rembesan air ke bawah jika kondisi tanah terlalu lembab. Kolom diisi dengan contoh tanah sesuai dengan lapisannya, lapisan tanah atas (0-20 cm) menjadi 2 subkolom yang ditempatkan di atas, sedangkan lapisan tanah bawah (20-40 cm) menjadi 2 subkolom di bawahnya (Gambar 1A). Kolom dilembabkan sampai mencapai kapasitas lapang yang ditentukan dengan metode bobot.

Aplikasi herbisida dilakukan menggunakan sprayer punggung yang dikalibrasikan untuk menghasilkan volume semprot yang umum dipakai, yaitu 400 l ha⁻¹. Konsentrasi larutan semprot dihitung berdasarkan dosis per ha yang telah ditentukan. Kolom kemudian diletakkan tegak lurus dan dipertahankan dalam kondisi kapasitas lapang dengan cara ditimbang tiap dua hari untuk menentukan apakah penyiraman telah diperlukan dan untuk menetapkan jumlah air yang akan disiramkan. Hal ini berarti bahwa pergerakan herbisida yang terjadi dan diamati selama 12 minggu adalah pergerakan dalam kondisi kadar air kapasitas lapang, bukan pergerakan karena adanya proses pencucian aliran jenuh (*saturated flow*) seperti metode yang dilakukan oleh Dermiyati (2002; 2003).

Pembongkaran kolom tanah dilakukan sesuai interval waktu yang ditentukan, yaitu: 1 hari setelah aplikasi (HSA); 1 minggu setelah aplikasi (MSA); 2 MSA; 4 MSA; 8 MSA; dan 12 MSA. Masing-masing kolom yang telah dibongkar menghasilkan 4 subkolom. Prosedur bioassay kemudian dilakukan dengan menanam 5 buah tanaman indikator yaitu caisim (*Brassica rapa* L.) untuk menentukan jumlah herbisida dalam masing-masing subkolom tersebut (Gambar 1B). Pemilihan tanaman indikator caisim ini berdasarkan hasil percobaan pada tahap sebelumnya yang menunjukkan bahwa caisim merupakan tanaman indikator yang tepat untuk pengukuran herbisida menggunakan metode bioassay (Sriyani, 2005). Caisim yang dipergunakan adalah varietas Tosakan, dengan daya tumbuh 85% dan



Gambar 1. (A) Kolom tanah yang digunakan dalam percobaan pergerakan herbisida dalam tanah, terdiri dari 4 subkolom yang digabung menjadi satu; (B) subkolom yang telah dilepas dan ditanami tanaman indikator caisim dalam uji bioassay

kemurnian sebesar 98%, diproduksi oleh PT East West Seed Indonesia.

Tiap set percobaan dilakukan menggunakan rancangan kelompok teracak lengkap dengan 3 ulangan, dengan dua jenis tanah yaitu PMK dan Lato-sol Coklat. Waktu inkubasi kolom tanah sebelum dibongkar adalah 1 HSA; 1 MSA; 2 MSA; 4 MSA; 8 MSA; dan 12 MSA.

Perhitungan Jumlah Herbisida dengan Metode Bioassay

Untuk melakukan penghitungan jumlah herbisida dalam suatu media menggunakan metode bioassay, dilakukan 2 set percobaan secara bersamaan. Percobaan pertama adalah percobaan pembuatan kurva standar untuk herbisida yang diuji, yaitu kurva standar untuk paraquat dan kurva standar untuk 2,4-D, sedangkan percobaan kedua adalah mengukur pertumbuhan tanaman indikator dalam subkolom yang diambil pada interval waktu yang telah ditentukan, seperti telah disebut di atas. Pertumbuhan tanaman indikator pada masing-masing subkolom diamati, meliputi panjang akar, panjang tajuk, bobot kering akar, dan bobot kering tajuk. Kurva standar adalah garis hubungan antara pertumbuhan tanaman indikator caisim sebagai tanggap terhadap jumlah paraquat yang diaplikasikan. Dengan menggunakan kurva standar yang telah diperoleh dapat dihitung jumlah herbisida yang ada dalam masing-masing

subkolom berdasarkan laju pertumbuhan tanaman indikatornya.

Pembuatan Kurva Standar

Contoh tanah kering udara sebanyak 300 g yang telah diayak diisikan ke dalam pot plastik berdiameter 8 cm. Tanah kemudian dilembabkan dengan larutan herbisida sebanyak 150 ml yang mengandung jumlah bahan aktif herbisida sesuai dengan perlakuan. Untuk paraquat, digunakan 11 seri konsentrasi herbisida dalam pembuatan kurva standar, yaitu: 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, dan 1.000 mg kg⁻¹. Untuk 2,4-D, 6 seri konsentrasi herbisida digunakan, yaitu: 0; 0,001; 0,01; 0,1; 1,0; dan 10 mg kg⁻¹. Konsentrasi herbisida dihitung berdasarkan bobot herbisida per bobot tanah kering udara (b/b). Perbedaan konsentrasi untuk pembuatan kurva standar dua herbisida tersebut didasarkan pada daya jerap koloid tanah terhadap molekul herbisida. Tanah menjerap paraquat jauh lebih banyak dan lebih kuat dibanding 2,4-D, sehingga konsentrasi paraquat yang dapat dideteksi melalui metode bioassay juga akan berbeda dibanding dengan konsentrasi 2,4-D.

Sebanyak 5 benih tanaman indikator ditanam per pot. Pot diletakkan pada ruang pertumbuhan pada suhu ruang. Untuk memastikan bahwa benih tanaman seragam pertumbuhannya, benih dikecambahkan dahulu. Begitu benih 'pecah', yang memerlukan

waktu 2 hari setelah sebar (HSS) untuk tanaman indikator caisim, dipilih benih yang seseragam mungkin untuk ditanam ke dalam pot tanah. Pada 6 hari setelah tanam (HST) kecambah dipanen, kemudian panjang tajuk, panjang akar, bobot kering tajuk, dan bobot kering akarnya diukur. Bobot kering didapatkan setelah tanaman dikeringkan dalam oven bersuhu 70 C selama 48 jam.

Kurva standar didapatkan dengan membuat regresi linier hubungan antara jumlah herbisida sebagai aksis (x) dan pertumbuhan tanaman indikator (dalam % terhadap kontrol) sebagai ordinat. (y). Dengan demikian didapatkan persamaan garis $y = a + bx$ (a adalah intersep dan b kemiringan/slope) dan nilai koefisien determinasi (R^2) dari hubungan linier tersebut. Semakin tinggi nilai R^2 maka semakin baik kurva tersebut menjelaskan hubungan antara jumlah/konsentrasi herbisida dan pertumbuhan tanaman. Dalam penelitian ini, kurva regresi dengan nilai $R^2 \geq 0,90$ yang akan dipakai sebagai kurva standar dalam metode bioassay untuk mendeteksi herbisida (Hollaway *et al.*, 1999).

Tiap set percobaan untuk mendapatkan kurva standar dilakukan menggunakan rancangan kelompok teracak lengkap dengan 4 ulangan, kemudian semua percobaan diulang 2 kali, dan data yang diperoleh dirata-ratakan. Karena terdapat 2 jenis tanah dan 2 jenis herbisida yang dideteksi, maka kurva standar

dibuat untuk masing-masing kombinasi jenis tanah dan herbisida, yaitu: kurva standar untuk paraquat dalam PMK; kurva standar untuk paraquat dalam Latosol Coklat; kurva standar untuk 2,4-D dalam PMK; dan kurva standar untuk 2,4-D dalam Latosol Coklat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Herbisida Paraquat

Pembuatan Kurva Standar untuk Paraquat

Persamaan regresi linier kurva standar untuk paraquat beserta nilai koefisien determinasi (R^2) untuk tanah PMK dan Latosol Coklat pada masing-masing kedalaman dan peubah pertumbuhan ditampilkan dalam Tabel 1. Dari Tabel 1 terlihat bahwa R^2 untuk masing-masing peubah pertumbuhan sebagian besar bernilai $\geq 0,90$. Ini menunjukkan bahwa caisim cukup sensitif digunakan sebagai tanaman indikator untuk mendeteksi paraquat dalam tanah. Berdasar nilai R^2 dalam Tabel 1 tersebut, bobot kering tajuk dipilih sebagai peubah yang digunakan dalam perhitungan jumlah herbisida dalam PMK. Terpilihnya bobot kering tajuk sebagai indikator dapat dimengerti karena sebagai herbisida penghambat aliran elektron dalam fotosintesis, paraquat bekerja cepat dengan merusak

Tabel 1. Persamaan regresi linier dan nilai koefisien determinasi (R^2) kurva standar bioassay untuk herbisida paraquat pada PMK dan Lotosol Coklat.

Kedalaman (cm)	Peubah Pertumbuhan	Persamaan	R^2
PMK			
0-20	Panjang Tajuk	$y = 104 - 0,20 x$	0,94
	Panjang Akar	$y = 110 - 0,22 x$	0,90
	Bobot Kering Tajuk*	$y = 99 - 0,04 x$	0,81
	Bobot Kering Akar	$y = 101 - 0,06 x$	0,91
20-40	Panjang Tajuk	$y = 120 - 0,24 x$	0,88
	Panjang Akar	$y = 99 - 0,20 x$	0,95
	Bobot Kering Tajuk*	$y = 101 - 0,06 x$	0,95
	Bobot Kering Akar	$y = 109 - 0,11 x$	0,87
Latosol Coklat			
0-20	Panjang Tajuk	$y = 108 - 0,07 x$	0,72
	Panjang Akar	$y = 101 - 0,07 x$	0,74
	Bobot Kering Tajuk*	$y = 102 - 0,03 x$	0,94
	Bobot Kering Akar	$y = 104 - 0,02 x$	0,62
20-40	Panjang Tajuk	$y = 115 - 0,10 x$	0,81
	Panjang Akar	$y = 91 - 0,09 x$	0,89
	Bobot Kering Tajuk*	$y = 99 - 0,04 x$	0,96
	Bobot Kering Akar	$y = 102 - 0,04 x$	0,97

Keterangan: * peubah bobot kering tajuk digunakan untuk menghitung jumlah herbisida dalam bioassay.

membran, utamanya membran khloroplas yang ada dalam daun. Dengan demikian, pengaruh paraquat akan segera terlihat dalam menghambat pertumbuhan daun/tajuk, bukan pada pertumbuhan akar, walaupun dalam proses bioassay ini paraquat ada dalam tanah dan diserap melalui akar.

Sensitifnya tanggap tanaman caisim terhadap keberadaan paraquat dalam tanah cukup menggembirakan, karena secara umum diketahui bahwa jerapan partikel liat tanah dan bahan organik terhadap molekul paraquat cukup kuat, sehingga dapat menyebabkan inaktivasi paraquat secara cepat dalam tanah. Kapasitas adsorpsi ini berkisar antara 20 sampai 3000 mg kg⁻¹ tanah tergantung dari komposisi liat dan bahan organik dalam tanah (Tomlin, 1997). Dalam praktik di lapang, paraquat memang tidak pernah diaplikasikan langsung ke tanah sebagai herbisida pratumbuh, tetapi diaplikasikan langsung ke gulma yang telah tumbuh sebagai herbisida pascatumuh, sehingga molekul paraquat langsung diabsorpsi oleh permukaan daun.

Pergerakan Paraquat dalam Tanah

Berdasarkan persamaan regresi kurva standar yang diperoleh dan pertumbuhan tanaman indikator pada subkolom, maka dapat dihitung jumlah paraquat yang terdapat dalam masing-masing subkolom, seperti ditampilkan dalam Tabel 2. Dari Tabel 2 terlihat bahwa pada PMK, kira-kira 20% dari paraquat telah bergerak sampai kedalaman 20-30 cm dalam waktu 1 HSA. Paraquat terdeteksi pada kedalaman 20-30 cm

tersebut sampai 2 MSA. Pada 4 sampai 12 MSA, jumlah paraquat yang bergerak ke bawah sangat sedikit, hampir seluruh paraquat masih tetap berada pada lapisan teratas (0-10 cm). Oleh karena itu, jika dilihat per lapisan kolom tanah, maka sebagian terbesar paraquat berada pada lapisan 0-10 cm dari 1 HSA sampai 12 MSA. Pergerakan paraquat mencapai lapisan 10-20 cm dan 20-30 cm hanya sampai 2 MSA, setelah itu tidak ada lagi paraquat yang terdeteksi pada lapisan tersebut. Untuk lapisan terbawah (30-40 cm), paraquat bahkan tidak ditemui dari awal sampai akhir percobaan (Tabel 2). Data ini menunjukkan bahwa walaupun sejumlah besar molekul paraquat masih ada dalam PMK sampai 12 MSA, tetapi pergerakan herbisida paraquat ke lapisan tanah yang lebih dalam jumlahnya sangat terbatas. Seperti telah dikemukakan terdahulu, hal ini disebabkan karena jerapan (adsorpsi) partikel liat tanah dan bahan organik terhadap molekul paraquat cukup kuat, berkisar antara 20 sampai 3000 mg kg⁻¹ tanah tergantung dari komposisi liat dan bahan organik dalam tanah (Tomlin, 2005). Karena alasan tersebut, di lapang paraquat tidak diaplikasikan ke tanah sebagai herbisida pratumbuh, tetapi diaplikasikan langsung ke gulma yang telah tumbuh sebagai herbisida pascatumuh.

Dibandingkan pergerakannya pada PMK, pergerakan paraquat pada Latosol Coklat terlihat lebih terbatas (Tabel 2). Paraquat hanya bergerak sampai lapisan 10-20 cm pada 1 HSA sampai dengan 2 MSA, setelah itu paraquat hanya ditemui pada lapisan teratas

Tabel 2. Nilai perhitungan konsentrasi herbisida paraquat pada beberapa waktu inkubasi untuk PMK dan Latosol Coklat.

Kedalaman (cm)	Konsentrasi Herbisida (mg kg ⁻¹)					
	1 HSA	1 MSA	2 MSA	4 MSA	8 MSA	12 MSA
PMK						
0-10	1.309	1.151	873	720	703	649
10-20	337	236	302	2,4	0,3	tt
20-30	43	tt	332	tt	tt	tt
30-40	tt	tt	tt	tt	tt	tt
Total	1.689	1.387	1.507	722,4	703,3	649
Latosol Coklat						
0-10	1.654	1.623	1.589	1.557	1.258	927
10-20	47	21	203	tt	tt	tt
20-30	tt	tt	tt	tt	tt	tt
30-40	tt	tt	tt	tt	tt	tt
Total	1.701	1.644	1.792	1.557	1.258	927

Keterangan: * peubah bobot kering tajuk digunakan untuk menghitung jumlah herbisida dalam bioassay.

Tabel 3. Beberapa sifat fisik dan kimia tanah Podsolik Merah Kuning dan Latosol Coklat.

Sifat tanah	Podsolik Merah Kuning (PMK)		Latosol Coklat	
	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm
Pasir (%)	72,0	40,0	31,0	28,0
Debu (%)	9,5	46,2	12,2	34,7
Liat (%)	18,5	13,8	56,8	37,3
pH H ₂ O	5,0	4,7	4,3	4,9
pH KCl	4,0	3,9	4,0	4,2
Total N (g kg ⁻¹)	1,3	0,5	1,2	0,7
KTK (cmol kg ⁻¹)	4,8	4,5	6,5	6,6
C Organik(g kg ⁻¹)	14,9	6,0	8,9	8,7

(0-10 cm). Jika dilihat per lapisan kolom tanah, ternyata jumlah paraquat pada lapisan teratas relatif konstan sampai 4 MSA, baru mulai menurun pada 8 MSA. Pada lapisan 10-20 cm, paraquat hanya ditemui sampai 2 MSA dengan jumlah yang sangat kecil dibandingkan dengan jumlahnya pada lapisan 0-10 cm. Herbisida ini juga tidak bergerak mencapai lapisan 20-30 cm dan 30-40 cm. Terbatasnya pergerakan paraquat pada Latosol Coklat dibandingkan dengan pada PMK dikarenakan kandungan liat yang lebih tinggi dan kandungan pasir yang lebih rendah pada Latosol Coklat dibandingkan dengan PMK. Komposisi pasir contoh tanah PMK sebesar 72% dan liat 18,5% pada lapisan 0-20 cm, sementara lapisan 20-40 cm mengandung pasir sebesar 40% dan liat 13,8%. Latosol Coklat mengandung pasir yang lebih sedikit (31%) dan liat yang lebih tinggi (56,8%) pada lapisan 0-20 cm, sementara lapisan 20-40 cm mengandung pasir sebesar 28% dan liat 37,3% (Tabel 3).

Data di atas memperlihatkan bahwa paraquat adalah herbisida yang terjerap sangat kuat oleh koloid tanah, baik pada PMK dan terutama pada Latosol Coklat. Jerapan paraquat yang kuat tersebut mengakibatkan pergerakannya ke lapisan tanah yang lebih dalam sangat terbatas. Kemungkinan lain yang dapat terjadi adalah berlangsungnya degradasi herbisida oleh mikroba tanah. Namun demikian, Tomlin (2005) menyatakan bahwa peran degradasi mikroba tanah terhadap hilangnya paraquat dari tanah dalam waktu singkat sangat kecil dibandingkan dengan kuatnya jerapan koloid tanah terhadap herbisida tersebut.

Herbisida 2,4-D

Pembuatan Kurva Standar untuk 2,4-D

Persamaan regresi linier kurva standar untuk 2,4-D beserta nilai koefisien determinasi (R^2) untuk masing-masing kedalaman tanah dan peubah pertumbuhan ditampilkan pada Tabel 4. Dari Tabel 4 terlihat bahwa R^2 sebagian besar bernilai $\geq 0,90$. Ini menunjukkan bahwa caisim cukup sensitif digunakan sebagai tanaman indikator untuk mendeteksi 2,4-D dalam tanah. Berdasar nilai R^2 tersebut, baik bobot kering tajuk maupun bobot kering akar dapat dipergunakan sebagai peubah yang akan digunakan dalam perhitungan jumlah 2,4-D dalam tanah. Akan tetapi, seperti halnya untuk paraquat, bobot kering tajuk dipilih sebagai peubah yang digunakan dalam perhitungan jumlah 2,4-D, baik dalam PMK maupun Latosol Coklat.

Dalam percobaan ini ternyata caisim mempunyai sensitifitas yang sama baiknya, baik untuk mendeteksi paraquat maupun 2,4-D. Ini menggembirakan karena sebetulnya perbedaan sensitifitas tanaman indikator tertentu dalam mendeteksi jenis maupun kisaran konsentrasi herbisida yang berbeda merupakan hal yang sering dijumpai karena adanya perbedaan respon fisiologis tanaman dan telah banyak dilaporkan sebelumnya. De Barreda *et al.* (1993) menggunakan tomat sebagai tanaman indikator untuk mendeteksi herbisida bensulfuron dan quinclorac, sementara O'Bryan *et al.* (1994) menggunakan jagung sebagai tanaman indikator untuk mendeteksi herbisida imazaquin. Hollaway *et al.* (1999) melaporkan bahwa untuk mendeteksi herbisida sulfonil-urea pada kisaran 0,1-1,3 ug kg⁻¹ dapat dipergunakan kacang kapri,

Tabel 4. Persamaan regresi linier dan nilai koefisien determinasi (R^2) kurva standar bioassay untuk herbisida 2,4-D pada PMK dan Latosol Coklat.

Kedalaman (cm)	Peubah Pertumbuhan	Persamaan	R^2
PMK			
0-20	Panjang Tajuk	$y = 74 - 8,7 x$	0,86
	Panjang Akar	$y = 85 - 6,4 x$	0,90
	Bobot Kering Tajuk*	$y = 47 - 7,4 x$	0,99
	Bobot Kering Akar	$y = 47 - 7,4 x$	0,87
20-40	Panjang Tajuk	$y = 65 - 8,6 x$	0,99
	Panjang Akar	$y = 87 - 4,8 x$	0,95
	Bobot Kering Tajuk	$y = 64 - 4,7 x$	0,99
	Bobot Kering Akar	$y = 56 - 6,5 x$	0,81
Latosol Coklat			
0-20	Panjang Tajuk	$y = 63 - 8,3 x$	0,72
	Panjang Akar	$y = 63 - 6,6 x$	0,93
	Bobot Kering Tajuk*	$y = 68 - 6,6 x$	0,88
	Bobot Kering Akar	$y = 58 - 5,5 x$	0,81
20-40	Panjang Tajuk	$y = 73 - 5,8 x$	0,81
	Panjang Akar	$y = 76 - 2,8 x$	0,83
	Bobot Kering Tajuk	$y = 73 - 8,2 x$	0,99
	Bobot Kering Akar	$y = 68 - 4,2 x$	0,96

tetapi pada kisaran yang lebih rendah 0,02-0,25 ug kg⁻¹ harus dipergunakan lentil sebagai tanaman indikator karena kapri tidak lagi sensitif pada konsentrasi herbisida yang rendah.

Pergerakan 2,4-D dalam Tanah

Berdasarkan persamaan regresi kurva standar yang ada dan pertumbuhan tanaman indikator, maka jumlah 2,4-D yang terdapat dalam masing-masing subkolom dapat dihitung. Jumlah 2,4-D untuk

masing-masing subkolom dan masa inkubasi ditampilkan dalam Tabel 5.

Dari Tabel 5 terlihat bahwa pada PMK, 2,4-D telah bergerak dalam jumlah yang cukup besar sampai kedalaman 30-40 cm pada 1 MSA, dan herbisida ini masih terdeteksi pada kedalaman 30-40 cm tersebut sampai 4 MSA. Pada 8 dan 12 MSA, hanya sedikit 2,4-D yang bergerak ke bawah, itupun terbatas pada lapisan 0-10 cm dan 10-20 cm. Jika dilihat per lapisan kolom tanah, maka terlihat bahwa jumlah 2,4-D pada lapisan teratas (0-10 cm) menurun pada 1 MSA, tetapi setelah itu jumlah 2,4-D pada lapisan tersebut relatif

Tabel 5. Nilai perhitungan konsentrasi herbisida 2,4-D pada beberapa waktu inkubasi untuk PMK dan Latosol Coklat.

Kedalaman (cm)	Konsentrasi (mg kg ⁻¹)					
	1 HSA	1 MSA	2 MSA	4 MSA	8 MSA	12 MSA
PMK						
0-10	4,24	2,60	2,72	2,70	2,54	2,37
10-20	3,48	1,52	2,36	2,50	1,80	tt
20-30	1,26	1,91	tt	1,94	tt	tt
30-40	0,88	1,69	tt	1,98	tt	tt
Total	9,86	7,72	5,08	9,12	4,34	2,37
Latosol Coklat						
0-10	4,69	1,80	2,23	2,88	1,81	2,26
10-20	tt	2,41	1,80	1,24	0,62	tt
20-30	tt	tt	1,13	tt	tt	tt
30-40	tt	tt	0,34	tt	tt	tt
Total	4,69	4,21	5,50	4,12	2,43	2,26

Keterangan : HSA = hari setelah aplikasi; MSA = minggu setelah aplikasi; tt = tidak terdeteksi

konstan sampai 12 MSA. Untuk lapisan di bawahnya, jumlah 2,4-D secara umum menurun dengan berlalunya waktu, bahkan pada lapisan 20-30 cm dan 30-40 cm, 2,4-D hanya terdeteksi sampai 4 MSA.

Dalam Latosol Coklat, pergerakan herbisida 2,4-D terlihat sangat terbatas. Pada 1 HSA, tidak ada 2,4-D yang bergerak dari lapisan 0-10 cm, dan pada 1 MSA herbisida hanya bergerak sampai kedalaman 10-20 cm (Tabel 5). Herbisida 2,4-D mulai bergerak sampai lapisan terbawah (30-40 cm) setelah 2 MSA, itupun dalam jumlah yang terbatas. Pada 4 sampai dengan 12 MSA, jumlah 2,4-D yang dideteksi pada lapisan 10-40 cm juga terbatas, konsentrasi tertinggi masih tetap ditemui pada lapisan 0-10 cm. Jika dilihat per lapisan kolom tanah, ternyata jumlah 2,4-D pada lapisan 0-10 cm menurun dengan cepat pada 1 MSA, sementara pada kolom di bawahnya, jumlah 2,4-D sangat terbatas.

Seperti telah dikemukakan sebelumnya, perbedaan pola pergerakan 2,4-D antara PMK dan Latosol Coklat sangat dipengaruhi oleh perbedaan sifat tanah, terutama daya jerap koloid tanah terhadap molekul 2,4-D, serta perbedaan sifat kimia tanah lain antara PMK dan Latosol Coklat, seperti KTK, kadar bahan organik (nisbah C/N), serta perbedaan tekstur tanah. PMK yang mempunyai KTK dan kandungan liat lebih rendah serta kandungan pasir lebih tinggi dibandingkan Latosol Coklat (Tabel 3) akan mempunyai daya jerap terhadap molekul herbisida lebih rendah, sehingga molekul herbisida akan lebih mudah bergerak ke bawah dalam PMK dibanding dalam Latosol Coklat.

KESIMPULAN

Metode bioassay dapat digunakan untuk memonitor/mendeteksi pergerakan herbisida dalam tanah dengan cukup akurat meskipun sederhana dan mudah dalam pelaksanaannya. Jumlah dan kecepatan pergerakan herbisida dipengaruhi oleh jenis herbisida dan jenis tanah. Dalam PMK, paraquat ditemui pada kedalaman 20-30 cm sampai dengan 2 MSA, tetapi pada 4 sampai 12 MSA, jumlah paraquat yang bergerak ke bawah sangat sedikit, hampir seluruh paraquat masih tetap berada pada lapisan teratas (0-10 cm). Dalam Latosol Coklat, pergerakan paraquat lebih terbatas dan lambat dibandingkan pergerakannya pada PMK. Paraquat hanya ditemui sampai lapisan 10-20 cm pada 1 HSA sampai dengan 2 MSA, setelah itu paraquat hanya ditemui pada

lapisan 0-10 cm. Herbisida 2,4-D bergerak dalam jumlah yang cukup besar sampai kedalaman 30-40 cm pada 1 MSA dalam PMK. Pada 8 dan 12 MSA, hanya sedikit 2,4-D yang ada di lapisan bawah, itupun terbatas pada lapisan 20 cm. Pada Latosol Coklat, pergerakan herbisida 2,4-D lebih terbatas. Pada 1 MSA, 2,4-D hanya ditemui sampai kedalaman 10-20 cm. Setelah 2 MSA, 2,4-D dideteksi sampai lapisan 30-40 cm dalam jumlah yang terbatas, tetapi setelah 12 MSA, 2,4-D hanya dijumpai pada lapisan 0-10 cm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada Ditjen Dikti yang telah memberikan dana untuk penelitian ini melalui Proyek Hibah Bersaing Perguruan Tinggi XI tahun 2005. Penghargaan dan terimakasih juga disampaikan kepada Saudara Operandy Siahaan dan Hermica Purba atas kerja keras dan dedikasinya dalam membantu pelaksanaan penelitian ini. Kepada rekan satu tim pembimbing dan penguji mahasiswa: Dr. Paul B. Timotiwu, Ir. Dad R. J. Sembodo, M. S., Ir. Sunyoto, M. Agr., dan Ir. Darmaisam Mawardi, M.S., terimakasih atas kerjasama, bantuan dan sarannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, R. 2002. Pengaruh residu herbisida paraquat+diuron terhadap pertumbuhan dan hasil *baby corn*. *Akta Agrosia* 5(1): 35-40.
- DeBarreda, D. G., E. Lorenzo, E. A. Carbonell, B. Cases, and N. Munoz. 1993. Use of tomato seedlings to detect bensulfuron and quinclorac residues in water. *Weed Technology* 7 (2): 376-381.
- Dermiyati. 2002. Pencucian herbisida pada beberapa jenis tanah tropika Lampung: I. Atrazin. *J. Tanah Trop.* 15: 35-41.
- Dermiyati. 2003. Pencucian herbisida pada beberapa jenis tanah tropika Lampung: II. Diuron. *J. Tanah Trop.* 16: 97-102.
- Foy, C. L., C. R. Drake, and C. L. Pirkey. 1996. Impact of herbicides applied annually for 23 years in a deciduous orchard. *Weed Technology* 10 (3): 587-591.
- Hollaway, K. L., R. S. Kookana, D. J. McQuinn, M. R. Moerkerk, D. M. Noy, and M. A. Smal. 1999. Comparison of sulfonyleurea herbicide residue detection in soil by bioassay, enzyme-linked immunosorbent assay and HPLC. *Weed Research* 39: 383-397.

N. Sriyani dan A.K. Salam: Metode Bioassay untuk Mengukur Herbisida dalam Tanah

- Komisi Pestisida Indonesia. 2005. Pestisida untuk Pertanian dan Kehutanan. Komisi Pestisida Departemen Pertanian, Jakarta. 256 halaman.
- Moomaw, R. S., R. N. Klein, A. R. Martin, F. W. Roeth, P. J. Shea, G. A. Wicks, and R. G. Wilson. 1996. Factors that affect soil-applied herbicides. Pesticides, General (electronic version), file G1081. Diakses 14 Juni 2006.
- Muktamar, Z., Sukisno, dan N. Setyowati. 2004. Adsorpsi dan desorpsi herbisida paraquat pada Histosol. *J. Agrotrop*. IX(1): 1-7.
- O'Bryan, K. A., B. J. Brecke, D. N. Shilling, and D. L. Colvin. 1994. Comparison of bioassay techniques for detecting imazaquin in soil. *Weed Technology* 8 (2): 203-206.
- Riyanto, H. 2002. Pengelolaan Gulma di Gunung Madu. Makalah disampaikan pada Kunjungan Lapang Mahasiswa Universitas Lampung, 14 Februari 2002.
- Sriyani, N. 2004. Penggunaan teknik bioassay untuk mendeteksi herbisida 2,4-D dalam tanah dan air. *J. Agrotrop*. IX (1): 8-12.
- Sriyani, N., S. Ramadiana, dan A. K. Salam. 2005. Penggunaan teknik bioassay untuk mendeteksi herbisida pratumbuh diuron dan ametrin dalam tanah dan air. *J. Stigma* XIII(1): 1-6.
- Sriyani, N. 2007. Keakuratan metode bioassay untuk mendeteksi herbisida pascatumbuh paraquat dan glifosat dalam tanah dan air. *J. Tanaman Trop*. 10 (1): 11-20.
- Tomlin, C. D. S. 2005. *A World Compendium. The e-Pesticide Manual. Version 3.1, Thirteenth Edition.* British Crop Protection Council (BCPC), Surrey, United Kingdom.
- Tjitrosoedirdjo, S., I. H. Utomo, dan J. Wiroatmodjo. 1984. *Pengelolaan Gulma di Perkebunan.* PT Gramedia, Jakarta. 209 halaman.