

## Laju Reaksi Hidrolisis Herbisida Glifosat di Tanah Jenuh Air

Edia Rahayuningsih<sup>1</sup>, Aswati Mindaryani<sup>2</sup>, Mukti Andri<sup>3</sup>,  
dan Bostang Radjaguguk<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika 2, Yogyakarta 55281

<sup>3</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika 2, Yogyakarta 55281

<sup>4</sup> Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Kaliurang Yogyakarta, 55281

### Abstract

*The objectives of the research were to find out the parameters of the hydrolysis reaction rate ( $k_h$ ) and partition coefficient ( $K_p$ ) of glyphosate herbicide in saturated soil system, to identify the variables affecting those parameters, and to develop the empirical equations correlating those parameters to the pertinent variables.*

*The experimental work or physical simulation in laboratory was conducted in a batch reactor. The sterilized soil 5 gram put into a 1000 cm<sup>3</sup> of Erlenmeyer glass and 500 cm<sup>3</sup> of glyphosate solution with 8 g/l concentration was added. The Erlenmeyer mouth was covered with plastic film and the entire Erlenmeyer surface was covered with aluminium foil to minimize vaporization and photolysis reaction. The solution was mixed continuously with magnetic stirrer. At the initial time and selected time intervals, 5 cm<sup>3</sup> of the samples were taken with syringe. The samples were centrifuged and filtered, 1 cm<sup>3</sup> of the filtrate were analyzed its glyphosate concentration with UV-VIS. The experiments were conducted for various soil types, and the empirical correlation between the hydrolysis reaction rate ( $k_h$ ) and partition coefficient ( $K_p$ ) with the affecting variables can be developed.*

*Based on the laboratory data and the simulation of mathematical model, it could be concluded that the empirical correlation between the  $K_p$  and  $k_h$  values with the affecting variables could be represented in the equations:*

$$K_p = 11.035(\% \text{organic matter}) + 0.25(\% \text{clay mineral}) \frac{\text{mL}}{\text{gram}}$$

$$k_h = 1.0810^4 (\% \text{organic matter}) + 1.5310^5 (\% \text{clay mineral}) \text{ min}^{-1}$$

**Keywords:** *glyphosate herbicide, rate constants of hydrolysis reaction, partition coefficient, unsaturated soil system.*

### 1. Pendahuluan

Dalam menangani masalah produksi pertanian, khususnya pangan, yang selalu dituntut adalah terjadinya peningkatan produksi seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk, yang dapat dikatakan sangat sulit dicapai bila tidak digunakan pestisida. Tetapi terdapat beberapa dampak negatif pada penggunaan pestisida, di antaranya adalah (1) masalah keracunan, (2)

pencemaran lingkungan, (3) perkembangan serangga menjadi lebih resisten dan toleran terhadap pestisida, (4) terbunuhnya musuh alami (predator) serangga tersebut dan organisme bukan sasaran, dan (5) terjadinya residu pestisida (Ahmed, 1995; Laba dkk., 1998). Selain itu, pencemaran air tanah oleh pestisida merupakan hal yang perlu diperhatikan dengan serius karena air tanah banyak dikonsumsi untuk air minum (Williams *et al.*, 1988).

Banyak usaha dan kebijakan pemerintah yang telah dilakukan untuk memperkecil dampak negatif yang ditimbulkan dari penggunaan pestisida dan memperkecil jumlah penggunaan pestisida. Penelitian ini dimaksudkan melengkapi usaha-usaha yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya, yaitu dengan menganalisis secara kuantitatif mengenai perilaku pestisida selama berada di lingkungan. Informasi kuantitatif mengenai perilaku pestisida selama berada di lingkungan dapat diperkirakan bila tersedia model matematis untuk menyatakan perilaku pestisida, nilai parameter-parameter yang diperlukan dalam model matematis, dan program komputer untuk menyelesaikan persamaan diferensial. Dengan informasi ini dapat dilakukan langkah antisipasi dalam perencanaan penggunaan pestisida dan dapat ditentukan dosis yang tepat sehingga dampak negatif dapat ditekan. Selain itu, dapat pula dilakukan pengelolaan dalam penggunaan pestisida sehingga manfaat penggunaan pestisida dapat ditingkatkan.

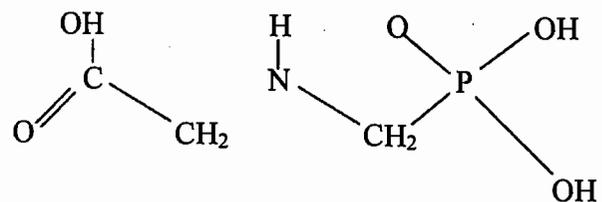
Tujuan dari penelitian ini adalah: (1) Tersedianya nilai koefisien partisi herbisida glifosat dalam berbagai jenis tanah yang jenuh dengan air. (2) Tersedianya nilai konstanta laju reaksi hidrolisis herbisida glifosat pada berbagai jenis tanah yang jenuh air. (3) Teridentifikasi variabel-variabel yang berpengaruh terhadap nilai parameter-parameter tersebut dan tersusunnya persamaan empiris yang menyatakan hubungan antara nilai koefisien partisi dan konstanta laju reaksi hidrolisis dengan variabel yang mempengaruhi.

Pestisida bila masuk ke badan tanah akan mengalami transformasi secara biotik dan abiotik yang berlangsung secara simultan (Wolfe et al., 1980). Transformasi secara abiotik terdiri dari reaksi hidrolisis dan fotolisis. Reaksi fotolisis berlangsung pada permukaan tanah yang terkena sinar matahari sehingga dapat diabaikan pengaruhnya terhadap transformasi secara keseluruhan. Reaksi hidrolisis dapat berlangsung di dua fase yaitu fase air dan fase tanah (sedimen) (Sekizawa and Eto, 1992).

Reaksi hidrolisis dalam tanah merupakan reaksi heterogen katalisis dan merupakan reaksi

permukaan. Berbagai komponen yang terdapat dalam fase tanah yaitu senyawa humat, lempung, oksida-oksida logam,  $\text{CaCO}_3$ , dan mineral yang lainnya sangat berpengaruh terhadap meningkatnya laju reaksi degradasi pestisida di tanah. (Mingelgrin 2 and Yaron, 1974). Khan (1978) menyatakan bahwa fraksi organik dalam tanah meningkatkan transformasi abiotik berbagai pestisida. Stevenson (1985) menyatakan bahwa bahan organik tanah dapat meningkatkan transformasi abiotik dalam tanah didasarkan atas dua hal yaitu, pertama fraksi organik mengandung berbagai gugus yang reaktif yang dapat meningkatkan pertukaran kimia dan yang kedua yaitu senyawa humat dalam bahan organik memiliki penurunan kapasitas yang kuat (*a strong reducing capacity*).

Berdasarkan data dari Environmental Health Criteria (EHC) 159 (1994) herbisida glifosat termasuk dalam jenis pestisida organofosfor, mempunyai rumus molekul  $\text{C}_3\text{H}_8\text{NO}_5\text{P}$  dan rumus bangunnya sebagai berikut:



Gambar 1. Rumus bangun glifosat

Waktu paruh ( $\text{DT}_{50}$ ) berkurangnya glifosat dalam air berkisar antara beberapa hari sampai dengan 91 hari dan di dalam tanah berkisar antara 3 hari sampai dengan 174 hari. Berdasarkan hasil pengamatan laboratorium koefisien sorpsi pestisida glifosat untuk sistem air-tanah berkisar antara 8 sampai dengan 377 l/kg (EHC 159, 1994). Rahayuningsih (2001) menyatakan hubungan keseimbangan antara konsentrasi pestisida organofosfor jenis sumition dalam larutan dan tanah mengikuti korelasi linier dengan koefisien partisi  $K_p$ . Nilai parameter  $K_p$  dipengaruhi oleh kandungan lempung dan bahan organik tanah.

Reaksi hidrolisis glifosat dalam larutan buffer yang steril berjalan sangat lambat dengan waktu paruh lebih dari 35 hari. Berdasarkan hasil pengamatan laboratorium, waktu paruh yang

dibutuhkan untuk reaksi biodegradasi glifosat dalam sistem sedimen (air-tanah) secara keseluruhan pada kondisi aerob adalah lebih dari 14 hari, sedangkan untuk kondisi anaerob selama 14-22 hari. Waktu paruh reaksi biodegradasi glifosat pada kondisi aerobik pada tanah selama 2-3 hari (EHC 159, 1994).

Rahayuningsih (2001) mengamati reaksi peruraian pestisida organofosfor jenis fenitrothion dalam tanah sawah dan mendapatkan hasil bahwa reaksi berlangsung secara kimia dan biokimia. Reaksi kimia lebih dominan pada waktu awal reaksi sedangkan reaksi biokimia lebih dominan pada waktu yang lebih lama. Untuk jenis pestisida dan jenis tanah jenuh air yang lain akan mempunyai mekanisme reaksi dan laju reaksi yang lain oleh sebab itu penelitian ini perlu dilakukan dengan harapan dapat melengkapi hasil penelitian sebelumnya.

## 2. Fundamental

Reaksi hidrolisis herbisida glifosat di fasa tanah dan di fasa air sama-sama berperan dalam peruraian herbisida glifosat dalam tanah jenuh air (EHC 159, 1994). Kisaran nilai parameter kecepatan reaksi hidrolisis herbisida glifosat yang tersedia sangat luas, sehingga tidak teliti dalam penggunaannya. Untuk itu persamaan empiris yang menyatakan hubungan antara nilai parameter kecepatan reaksi hidrolisis herbisida glifosat dalam tanah jenuh air dengan variabel-variabel yang mempengaruhi perlu ditentukan. Untuk menentukan nilai parameter konstante laju reaksi hidrolisis herbisida glifosat dalam tanah jenuh air dilakukan percobaan pada reaktor *batch* sehingga secara bersamaan berlangsung juga proses sorpsi pestisida dari larutan ke butir tanah. Oleh karena itu pada penelitian ini juga dapat dievaluasi nilai koefisien kesetimbangan partisi.

Untuk keperluan penyusunan model matematis diambil beberapa anggapan sebagai berikut: (1) Larutan tanah teraduk dengan sempurna, maka konsentrasi glifosat seragam pada seluruh larutan tanah. (2) Diameter butir tanah sangat kecil sehingga konsentrasi pestisida di padatan seragam

atau tidak ada distribusi konsentrasi pestisida dalam butir tanah.

Menurut studi pustaka yang telah dilakukan waktu paruh reaksi peruraian glifosat secara biotik dan abiotik pada suhu kamar berkisar antara 14 hari sampai 91 hari (EHC 159, 1994)). Oleh sebab itu, pada waktu awal percobaan (pada kisaran waktu Jam) dapat dianggap yang berperan terhadap pengurangan glifosat dalam larutan tanah adalah peristiwa sorpsi glifosat oleh padatan tanah sampai kondisi seimbang tercapai. Berdasarkan neraca massa glifosat dalam reaktor *batch* pada keadaan keseimbangan, maka dapat ditentukan kadar herbisida glifosat di fasa tanah pada keadaan keseimbangan ( $X_{equi}$ ) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$X_{equi} = \frac{(C_0 - C_{equi})V}{m} \quad (1)$$

Dengan mengetahui konsentrasi herbisida glifosat di air pada keadaan keseimbangan ( $C_{equi}$ ), maka dengan menggunakan persamaan (1) kadar herbisida glifosat di fasa tanah pada keadaan keseimbangan ( $X_{equi}$ ) dapat ditentukan. Selanjutnya nilai  $K_p$  dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut

$$K_p = \frac{X_{equi}}{C_{equi}} \quad (2)$$

Pada rentang waktu berikutnya reaksi hidrolisis yang berperan sedangkan reaksi biodegradasi masih dapat diabaikan pengaruhnya. Pada kondisi ini berdasarkan neraca massa glifosat pada fase larutan tanah dalam reaktor *batch* dapat disusun persamaan sebagai berikut:

$$\frac{dC}{dt} = -k_h C \quad (3)$$

Pada waktu awal ( $t = t_0$ ), nilai  $C = C_0$  (4).

Dengan cara pencocokan kurva antara nilai-nilai konsentrasi herbisida glifosat sebagai fungsi waktu hasil simulasi matematik dan hasil percobaan laboratorium dapat ditentukan nilai-nilai parameter  $K_p$  dan  $k_h$ .

### 3. Metodologi

Pestisida organofosfor yang digunakan pada penelitian ini adalah herbisida glifosat yang dilarutkan dalam air suling. Herbisida glifosat mempunyai rumus bangun  $C_3H_8NO_5P$  dan mempunyai nama kimia N-(phosphonomethyl) glycine. Pada suhu kamar glifosat berupa serbuk kristalin putih. Pada suhu  $25^\circ C$ , kelarutannya dalam air cukup tinggi yaitu 11,6 g/liter dan mempunyai tekanan uap kurang dari  $1 \times 10^{-5} Pa$ . Herbisida glifosat yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari Petrokimia Gresik dengan kemurnian 95%.

Tanah yang digunakan pada penelitian ini diambil dari 3 lokasi yaitu: Desa Donoharjo, Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul, dari Desa Suklajaja, Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman, dan dari Desa Sidoarum, Kecamatan Godean, Kabupaten Sleman. Sifat fisika dan kimia tanah-tanah tersebut dapat mewakili sifat-sifat tanah pada umumnya. Hasil analisa Kandungan Bahan organik dan lempung tanah-tanah tersebut dinyatakan dalam Tabel 1. Untuk mendapatkan tanah yang steril, tanah disinari dengan sinar radioaktif di Badan Tenaga Atom Jakarta.

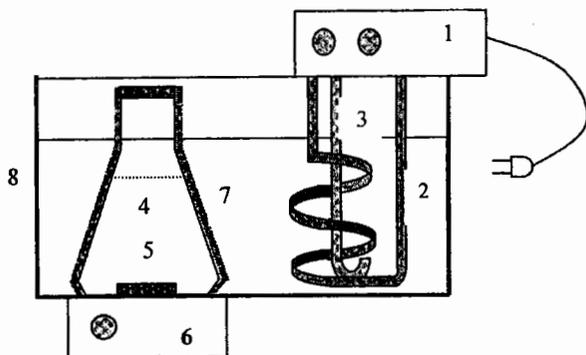
Alat yang digunakan pada penelitian ini digambarkan pada Gambar 2.

Tanah dengan berat 5 gr dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer 1000 mL kemudian ditambah larutan glifosat dalam air suling dengan konsentrasi 8 gr/L sebanyak 500 mL, pada saat ini dinyatakan sebagai waktu awal ( $t=0$ ). Pada setiap selang waktu tertentu cuplikan larutan tanah diambil sebanyak 5 mL, disentrifugasi, lalu disaring menggunakan kertas saring. Filtrat 1mL diambil dan diencerkan untuk ditentukan konsentrasi glifosat dengan menggunakan UV-VIS. Penelitian dilakukan dengan cara yang sama untuk jenis tanah yang divariasikan.

Nilai  $K_p$  dan  $k_h$  merupakan parameter yang tidak dapat diukur langsung untuk itu penentuan nilai-nilai tersebut dilakukan dengan cara pencocokan kurva (*curve fitting*). Nilai-nilai  $K_p$  dan  $k_h$  yang memenuhi sistem yang ditinjau bila jumlah kuadrat selisih (SSE) antara nilai konsentrasi herbisida glifosat hasil perhitungan dan hasil pengukuran tersebut minimum. Dengan bervariasi jenis tanah yang memiliki kandungan lempung dan bahan organik berbeda, maka dapat disusun persamaan empiris yang menyatakan hubungan antara nilai parameter  $K_p$  dan  $k_h$  dengan variable yang mempengaruhinya.

**Table 1.** Kandungan Bahan organik dan lempung pada masing-masing tanah yang digunakan pada penelitian ini.

Tanah	Lapisan	Kandungan bahan organik (% berat)	Kandungan lempung (% berat)
Sukoharjo	I	2,572	11,44
	II	1,456	9,133
	III	1,180	8,623
	IV	0,724	6,820
Godean	I	4,066	13,76
	II	2,282	12,68
	III	1,274	10,94
	IV	0,668	-
Kretek	I	1,852	29,32
	II	0,984	37,86
	III	0,724	39,90
	IV	0,752	39,85



**Keterangan:**

1. Alat pengatur suhu
2. Koil pemanas
3. Saluran udara pengaduk
4. Campuran larutan pestisida dan tanah
5. Batang magnet
6. Pengaduk magnet
7. Gelas erlenmeyer
8. Bak kaca berisi air

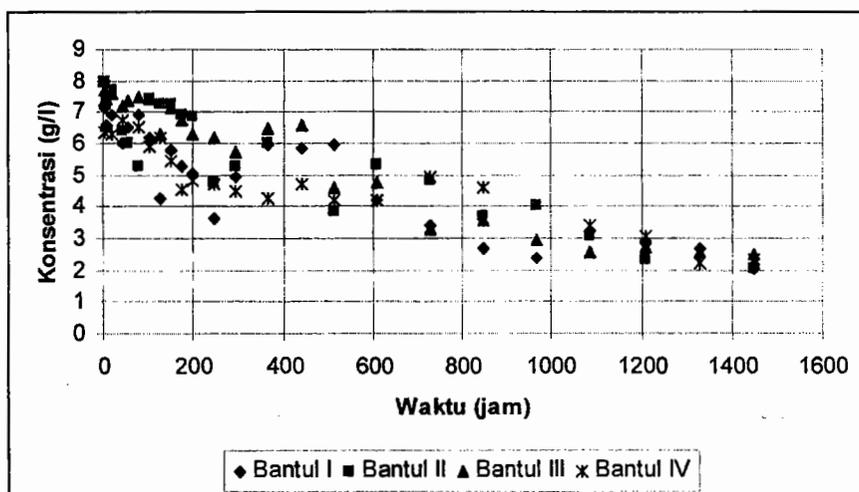
**Gambar 2.** Rangkaian alat penelitian

yaitu: (1) pada waktu awal sampai waktu sekitar 50 jam, (2) waktu 50 jam sampai sekitar waktu 500 jam (18 hari), dan (3) waktu lebih dari 500 jam. Tahap pertama memiliki kisaran waktu yang relatif singkat, perubahan konsentrasi turun menyolok kemudian konstan. Pada saat ini dapat disimpulkan proses sorpsi yang dominan sehingga nilai  $K_p$  dapat ditentukan berdasarkan data konsentrasi konstan. Tahap kedua, penurunan konsentrasi relatif tetap pada kisaran waktu yang relatif panjang, sehingga dapat disimpulkan pada tahap ini hanya reaksi hidrolisis yang berperan. Pada tahap ini nilai  $k_d$  dapat dievaluasi. Pada kisaran waktu berikutnya peruraian karena aktivitas mikroorganisme diduga sudah berperan, maka memiliki perubahan konsentrasi relatif waktu lebih cepat.

Nilai koefisien partisi ( $K_p$ ) dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (1) dan (2) dan data konsentrasi glifosat pada daerah kisaran waktu pertama. Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 2, Gambar 4, dan Gambar 5 terlihat nilai  $K_p$  sangat dipengaruhi oleh kandungan lempung dan kandungan bahan organik dalam tanah. Hubungan antara nilai  $K_p$  dengan kandungan lempung dan kandungan bahan organik dalam tanah dapat dinyatakan dalam persamaan empiris sebagai berikut:

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Gambar 3 menyatakan contoh data hasil pengamatan laboratorium perubahan konsentrasi herbisida glifosat dalam larutan (C) sebagai fungsi waktu (t) pada 4 lapisan tanah dari Bantul. Pada Gambar 3 terlihat konsentrasi glifosat dalam larutan (C) sebagai fungsi waktu (t) mempunyai tiga daerah dengan kecenderungan yang berbeda,



**Gambar 3.** Konsentrasi glifosat dalam larutan tanah sebagai fungsi waktu hasil pengamatan laboratorium pada 4 lapisan tanah Bantul.

$$K_p = 11,035(\%B.Organik) + 0,25(\%Lempung) \quad (5)$$

dengan ralat rerata sebesar 20%.

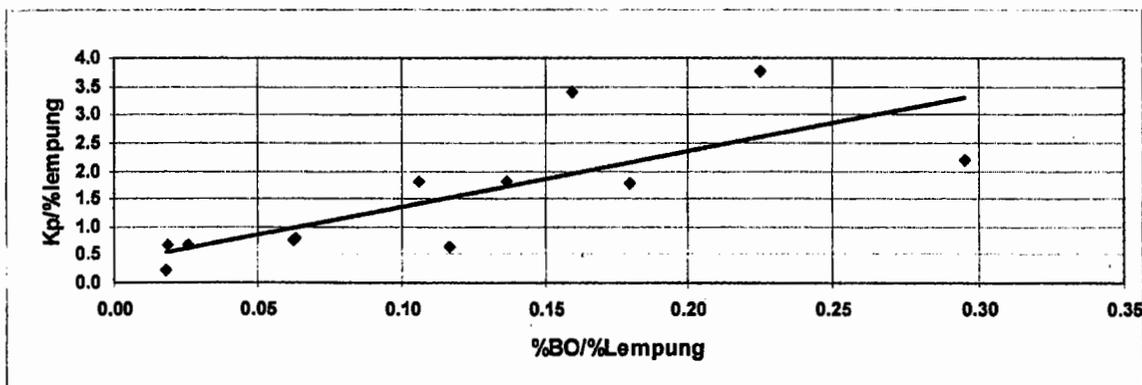
Hasil penelitian ini sesuai dengan hasil-hasil penelitian sebelumnya yaitu dalam tanah dengan kandungan lempung dan bahan organik yang tinggi akan mempunyai daya jerap semakin tinggi (Cheng, 1990; Rahayuningsih, 2001). Tetapan dalam Persamaan (5) untuk kandungan bahan organik mempunyai nilai 44,2 kali lebih besar bila dibandingkan dengan tetapan untuk kandungan lempung. Nilai ini sesuai dengan hasil penelitian Rahayuningsih (2001) untuk pestisida Fenitrothion dalam system tanah sawah yaitu kandungan bahan organik mempunyai nilai tetapan 47,5 kali lebih besar dari tetapan untuk kandungan lempung. Juga sesuai dengan pernyataan Cheng (1990), bahwa

kontribusi kandungan bahan organik tanah lebih tinggi dari pada kandungan lempung tanah, kandungan lempung berperan bila ratio kandungan lempung tanah terhadap bahan organik lebih dari 40. Menurut Karickhoff (1981), bila ratio kandungan lempung tanah terhadap bahan organik kurang 30, maka kontribusi kandungan lempung terhadap peristiwa sorpsi dapat diabaikan.

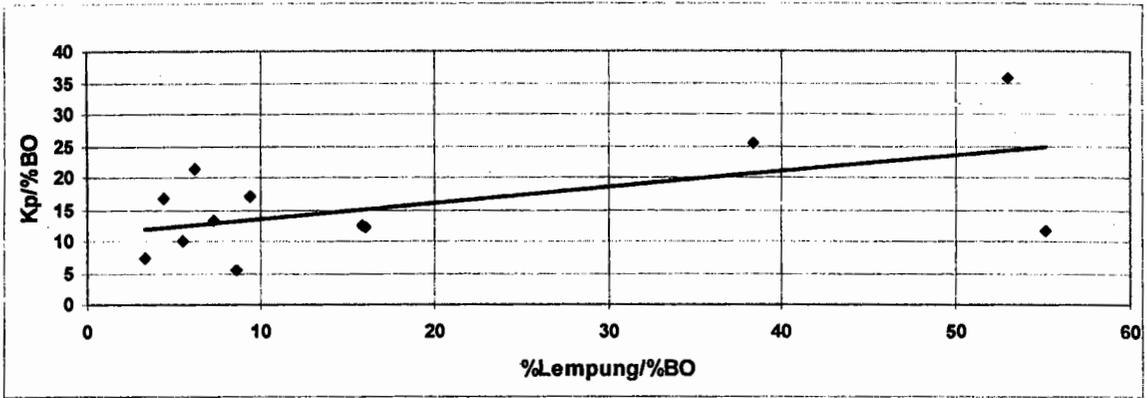
Nilai konstanta laju reaksi hidrolisis ( $k_h$ ) dapat ditentukan dengan menggunakan cara pencocokan kurva (*curve fitting*) antara konsentrasi herbisida glifosat sebagai fungsi waktu hasil perhitungan dengan menggunakan Persamaan (3) dan data pengamatan pada kisaran waktu 50 jam sampai 400 jam. Contoh hasil pencocokan kurva untuk 4 lapisan tanah dari Desa Sidoarum, Kecamatan Godean, Kabupaten Sleman disajikan pada Gambar 6.

Tabel 2. Hasil perhitungan nilai  $K_p$  pada berbagai variasi jenis tanah.

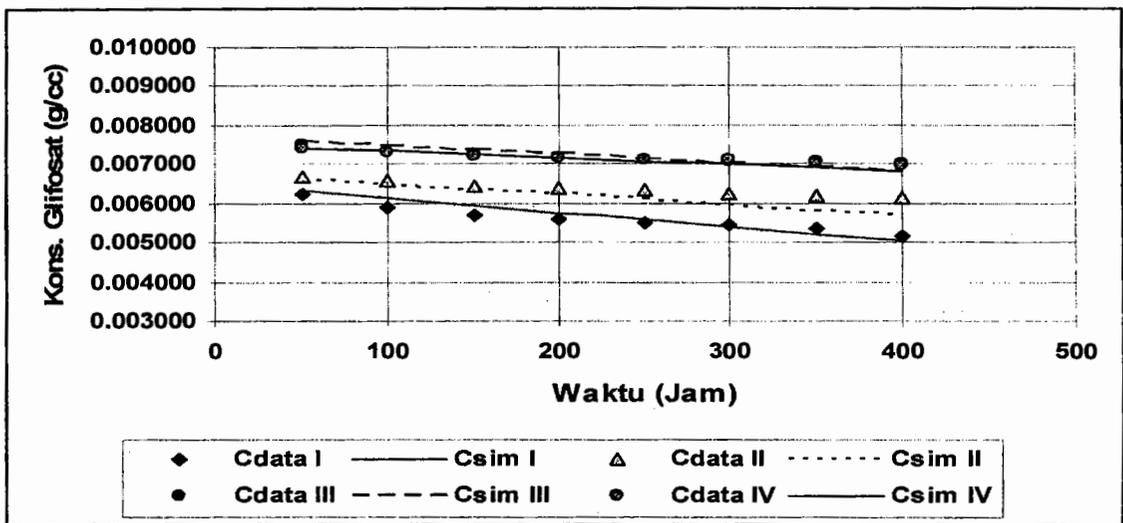
Tanah	Kandungan bahan organik (% berat)	Kandungan lempung (%berat)	$K_p$	$k_h$
Sukoharjo I	2,572	11,44	42,86	$6,18 \cdot 10^{-4}$
Sukoharjo II	1,456	9,133	30,91	$4,41 \cdot 10^{-4}$
Sukoharjo III	1,18	8,6233	15,51	$5,03 \cdot 10^{-4}$
Sukoharjo IV	0,724	6,82	12,28	$5,95 \cdot 10^{-4}$
Godean I	4,066	13,76	30,12	$5,91 \cdot 10^{-4}$
Godean II	2,282	12,68	22,61	$3,16 \cdot 10^{-4}$
Godean III	1,274	10,94	6,91	$2,36 \cdot 10^{-4}$
Godean IV	0,668	10,67	8,06	$1,71 \cdot 10^{-4}$
Kretek I	1,852	29,32	23,08	$5,85 \cdot 10^{-4}$
Kretek II	0,984	37,86	25,00	$7,54 \cdot 10^{-4}$
Kretek III	0,724	39,9	8,47	$6,84 \cdot 10^{-4}$
Kretek IV	0,752	39,85	26,89	$6,92 \cdot 10^{-4}$



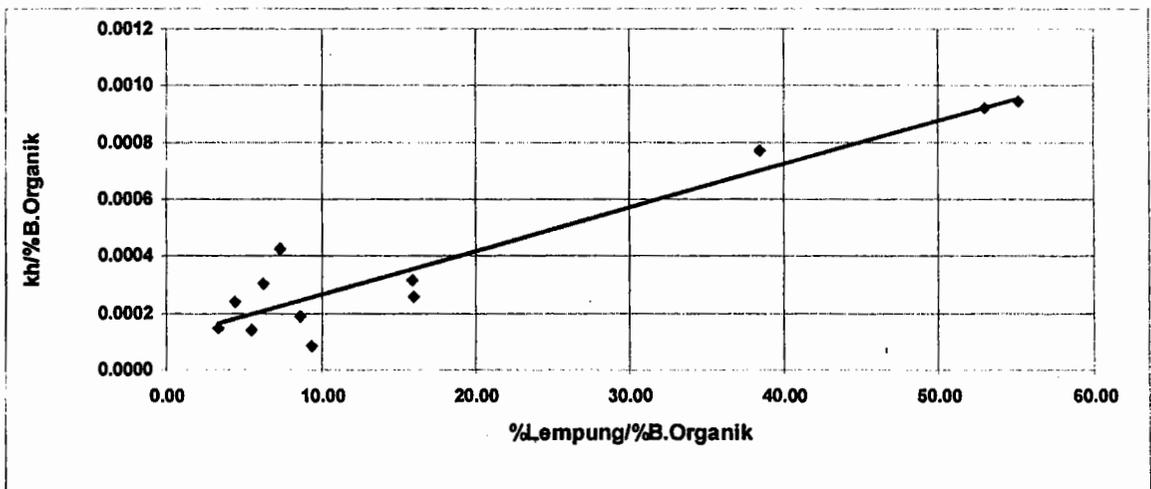
Gambar 4. Hubungan antara  $\frac{K_p}{\%Lempung}$  dan  $\frac{\%B.Organik}{\%Lempung}$



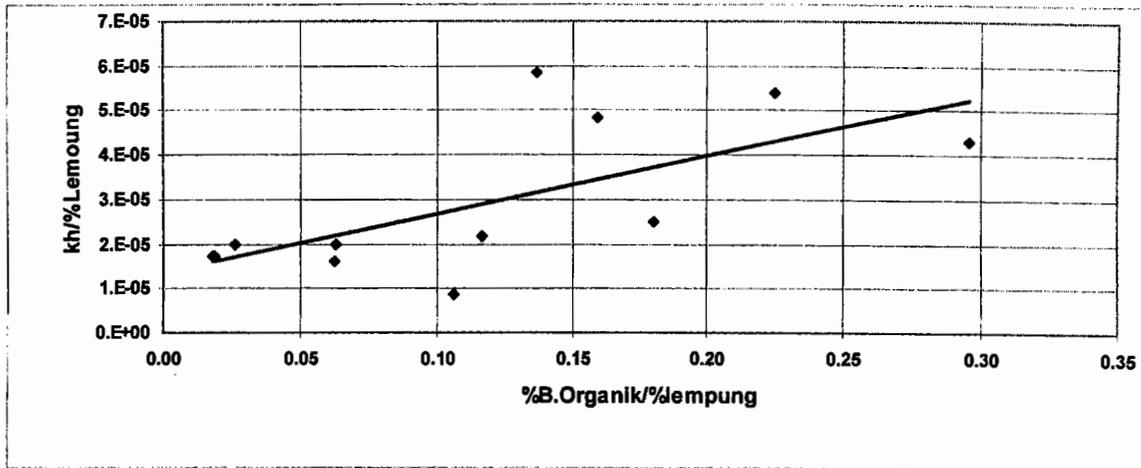
Gambar 5. Hubungan antara  $\frac{K_p}{\%B.Organik}$  dan  $\frac{\%Lempung}{\%B.Organik}$



Gambar 6. Hasil pencocokan kurva penentuan nilai kh untuk 4 lapisan tanah dari Desa Sidoarum, Kecamatan Godean, Kabupaten Sleman



Gambar 7. Hubungan antara  $\frac{K_h}{\%B.Organik}$  dan  $\frac{\%Lempung}{\%B.Organik}$



Gambar 8. Hubungan antara  $\frac{K_h}{\%Lempung}$  dan  $\frac{\%B.Organik}{\%Lempung}$

Berdasarkan hasil perhitungan untuk berbagai variasi jenis tanah, yang disajikan pada Tabel 2, Gambar 7, dan Gambar 8, terlihat nilai  $k_h$  sangat dipengaruhi oleh kandungan lempung dan kandungan bahan organik dalam tanah. Persamaan empiris yang menyatakan hubungan antara nilai  $k_h$  dengan kandungan bahan organik dan kandungan lempung tanah dapat dinyatakan dengan Persamaan (6).

$$k_h = 1,08 \cdot 10^{-4} (\%B.Organik) + 1,53 \cdot 10^{-5} (\%lempung) \quad (6)$$

dengan ralat rerata = 19,8%.

Berdasarkan Persamaan (6) terlihat bahwa tetapan kandungan bahan organik sekitar 6 kali lebih besar dari tetapan kandungan lempung, tetapi kandungan lempung dalam tanah umumnya jauh lebih tinggi dari pada kandungan bahan organik dalam tanah. Oleh sebab itu, dapat dikatakan bahwa pengaruh kandungan lempung tanah terhadap nilai  $k_h$  relatif lebih dominan dari pada kandungan bahan organik tanah. Berdasarkan hasil perhitungan nilai  $k_h$  tersebut dapat ditentukan nilai waktu paruh reaksi hidrolisisnya, yaitu berkisar antara nilai 38,3 hari sampai 485 hari. Nilai ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang menyatakan bahwa reaksi hidrolisis glifosat di lingkungan berjalan lambat, waktu paruh hidrolisis glifosat dalam air berkisar antara beberapa hari sampai dengan 91

hari, dan di tanah berkisar antara 3 hari sampai dengan 174 hari (EHC 159, 1994). Bila dibandingkan dengan laju hidrolisis jenis pestisida organofosor yang lain laju hidrolisis herbisida glifosat berlangsung relatif lambat. Takimoto dan Miyamoto (1976), dan Miyamoto (1977) menyatakan bahwa waktu paruh hidrolisis fenitrothion pada tanah lapisan atas berkisar antara 12 sampai 28 hari dan pada tanah lapisan bawah berkisar antara 4 sampai 20 hari.

## 5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Persamaan empiris yang menyatakan hubungan antara nilai parameter  $K_p$  dengan kandungan lempung dan bahan organik tanah adalah:

$$K_p = 11,035 (\%B.Organik) + 0,25 (\%Lempung) \frac{mL}{gram}$$

dengan ralat rerata sebesar 22%. Terhadap nilai  $K_p$  pengaruh kandungan bahan organik 44,2 kali lebih besar bila dibandingkan dengan pengaruh kandungan lempung.

2. Persamaan empiris yang menyatakan hubungan nilai  $k_h$  dengan kandungan lempung dan kandungan bahan organik tanah dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$k_h = 1,08.10^{-4} (\%B.Organik) + 1,53.10^{-5} (\%Lempung) \text{ menit}^{-1}$$

dengan ralat rerata sebesar 19,8%.

3. Persamaan-persamaan empiris yang dihasilkan pada penelitian ini dapat digunakan untuk memperkirakan nilai parameter  $K_p$  dan  $k_h$  herbisida glifosat pada berbagai tanah jenuh air, bila diketahui nilai kandungan bahan organik dan kandungan lempung.

### Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Pimpinan Proyek Pengkajian dan Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, DP4M-DIKTI atas dana yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana. Juga kepada berbagai pihak, yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, yang telah membantu sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

### Daftar dan Arti Lambang

- C = konsentrasi herbisida glifosat dalam larutan tanah, (ppm atau  $\text{mg.L}^{-1}$ ).  
 $C_{\text{equi}}$  = konsentrasi glifosat dalam fase larutan tanah yang dalam keadaan berkeselimbangan dengan konsentrasi pestisida dalam fase padatan tanah, (ppm atau  $\text{mg.L}^{-1}$ ).  
 $C_o$  = konsentrasi herbisida glifosat dalam larutan tanah saat awal, (ppm atau  $\text{mg.L}^{-1}$ ).  
 $k_h$  = konstante kecepatan reaksi hidrolisis glifosat, ( $\text{menit}^{-1}$ ).  
 $K_p$  = koefisien partisi herbisida glifosat dalam tanah jenuh air, ( $\text{mL/g}$ )  
m = berat padatan tanah dalam larutan, (g)  
 $X_{\text{equi}}$  = konsentrasi glifosat dalam fase padatan tanah yang dalam keadaan berkeselimbangan dengan konsentrasi pestisida dalam fase larutan tanah, (ppm).  
t = waktu, (menit atau jam atau hari)  
V = volum larutan tanah, (mL)

### Daftar Pustaka

Ahmed, S., 1995, *Overview of the Current Status and Future Prospects of Botanical Pesticides in Asia and the Pacific*, Report of the FAO

Expert Consultation on Regional Perspectives for Use of Botanical Pesticides in Asia and the Pacific, Bangkok, 28 Oct. 1994, p. 13-17.

Cheng, H.H., 1990, *Pesticides in the Soil Environment: Processes, Impacts, and Modeling*, 2 ed., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA. Environmental Health Criteria (EHC) 159, 1994, WHO Library Cataloguing in Publication Data Glyphosate Kharickoff

Karickhoff, S.W., 1981, Semi-Empirical Estimation of Sorption of Hydrophobic Pollutants on Natural Sediments and Soils, *Chemosphere 10: 833-846*.

Khan, S.U., 1978, Kinetics of Hydrolysis of Atrazine in Aqueous Fulvic Acid Solution, *Pestic. Sci.*, 9, 39-43.

Laba, W.I., Kilin, D., dan Soetopo, D., 1998, Dampak Penggunaan Insektisida dalam Pengendalian Hama, *Jurnal Litbang Pertanian*, XVII (3), 99-107.

Mingelgrin, U. and Yaron, B., 1974, The Effect of Calcium Salts on the Degradation of Parathion in Sand and Soil, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38, 914-917

Miyamoto, J., 1977, Degradation of Fenitrothion in Terrestrial and Aquatic Environments including Photolytic and Microbial Reactions, *Proceedings of a Symposium on Fenitrothion*, Ottawa, National Research Council of Canada.

Rahayuningsih, E., 2001, Analisis Perpindahan Massa Pestisida Organofosfor Disertai Tinjauan Peruraiannya dalam Tanah Sawah, *Disertasi S3*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Sekizawa, J. and Eto, M., 1992, *Environmental Health Criteria 133: Fenitrothion*, pp. 2858, World Health Organization, Geneva.

Stevenson, F.J., 1985, *Geochemistry of Soil Humic Substances*, In Aiken R.G. (ed.), *Humic Substances in Soil, Sediment, and Water*, John Wiley and Sons, New York.  
Takimoto, Y. and Miyamoto, J., 1976, Residu

Analysis of Sumithion, *Residual Rev.*, 60, 83-101.

Wolfe, N.L., Paris, D.F., Steen, W.C., and Baughman, G.L., 1980, Correlation of Microbial Degradation Rate with Chemical Structure, *J. Environ. Sci.*, 14:1143-1144.

William, W.M., Holden, P.W., Parsons, D.W., and Lorber, M.N., 1988, *Pesticides in Ground Water Data Base*, Interim Report, US EPA, December.